

Gebäudeanalyse Käte-Lassen-Schule



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

WERK
STATT  PROJEKT
2013
Ausgezeichnet durch den NACHHALTIGKEITSRAT



Lokales Bildungs- und
Kompetenznetzwerk Flensburg:

**Planungsbüro nachhaltige
Gebäudesystemtechnik**

Fachschule für Technik und Gestaltung

Gebäudeanalyse Käte-Lassen-Schule

Teil 1

Analyse der Gebäudehülle
bearbeitet von der Klasse GST12

Teil 2

Analyse der Haustechnik
bearbeitet von der Klasse GST11

Februar 2013

Fachschule für Technik und Gestaltung
Schützenkuhle 20-24
24937 Flensburg
0461 . 85 25 34

Ulf Hansen	Ansprechpartner
ulf.hansen@esfl.de	Dr. Susanne Krosse
	susanne.krosse@esfl.de



R
B
Z
Lokales Bildungs- und
Kompetenznetzwerk Flensburg:
**Planungsbüro nachhaltige
Gebäudesystemtechnik**
Fachschule für Technik und Gestaltung

Gebäudeanalyse Käte-Lassen-Schule

Teil 1

Analyse der Gebäudehülle
bearbeitet von der Klasse GST12

Projekt Käte-Lassen-Schule

Analyse und Bewertung der Gebäudehülle



GST12

25.01.2013

Fachschule für Technik und Gestaltung, Flensburg

Fortbildung zum Staatlich geprüften Gebäudesystemtechniker
Fachschule für Technik und Gestaltung, Eckener Schule Flensburg, Klasse GST 12

Nils Ahrendt, Christian Böckmann, Roland Diercks, Jens Ehnes, Oleg Funk, Markus Görlich,
Tobias Habermann, Daniel Kemerer, Björn Müller, Farzin Oberg, Jens Partzsch, Andre
Röschmann, Sven Schefer, Marco Schneider

Betreuung durch das GST-Lehrerteam,
Ansprechpartnerin: Dr. Susanne Krosse, susanne.krosse@esfl.de

Flensburg, Januar 2013

Inhalt

1. Zusammenfassung	5
1.1 Fazit Hauptgebäude	5
1.2. Fazit Container	7
1.3 Fazit „Gartenhaus“	8
2. Einführung	9
2.1 Aufgabenstellung	9
2.2 Lage	9
2.3 Berechnungsgrundlagen	10
2.4 Wärmebrücken	11
2.5 Taupunkt	13
2.6 U-Wert Berechnung	14
2.7 Sommerlicher Wärmeschutz	15
2.8 Ökobilanz	15
3 Hauptgebäude	17
3.1 Gebäudedaten	17
3.2 Ansichten	18
3.3 Grundrisse	19
3.4 Baulicher Zustand und Analyse der Gebäudehülle	20
3.5 Tabelle U-Werte	26
3.6 Wärmebrücken	27
3.7 Sanierungsvorschläge	29
3.8 Ökobilanz	35
3.9 Sommerlicher Wärmeschutz	36
4. Containergebäude(Trakt E)	39
4.1 Baulicher Zustand und Analyse der Gebäudehülle	41
4.2 Tabelle U-Werte	43
4.4 Sommerlicher Wärmeschutz	47
5. Anbau „Gartenhaus“ (Trakt G)	48
5.1 Baulicher Zustand und Analyse der Gebäudehülle	50
5.2 Tabelle U-Werte	53
5.3 Wärmebrücken	54
5.4 Sanierungsvorschläge	56
5.5 Ökobilanz	59
5.6 Sommerlicher Wärmeschutz	60
5. Nutzerverhalten	63

6. Anhang	64
6.1 Hauptgebäude - Tabelle U-Werte Fenster und Türen im Detail	64
6.2 Gartenhaus - Tabelle U-Werte Fenster im Detail	68
6.3.1 Hauptgebäude Screenshots, Varianten und Ökobilanz.....	
6.3.2 Container Screenshots und Varianten	
6.3.3 Anbau Screenshots, Varianten und Ökobilanz.....	

1. Zusammenfassung

Die Zusammenfassung gibt einen ersten Überblick über die wichtigsten Modernisierungsvorschläge und deren Einsparpotenzial. Detaillierte Konstruktionen und Berechnungen sind in den einzelnen Abschnitten nachzulesen.

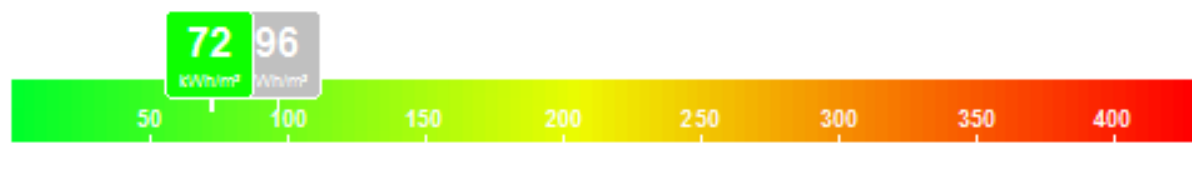
1.1 Fazit Hauptgebäude

Modernisierungsvorschlag Innendämmung

Für die Außenwände des Hauptgebäudes ist nur eine Innendämmung möglich, da das Straßenbild nicht verändert werden sollte. Diese umfangreichen Arbeiten zum Beispiel die Demontage der Küchenzeile an der Außenwand der Schulküche beziehungsweise die Umsetzung der Heizkörper vor die Nischen, machen diese Variante der Modernisierung sehr aufwendig. Hier lässt sich rechnerisch eine Gesamtersparnis beim Primärenergiebedarf von 28 kWh/m²a bei der Gebäudenutzfläche von 3670 m² verzeichnen. Auch haben wir deutliche Verbesserungen beim CO₂-Emissions Ausstoß.

Gesamtbewertung

Primärenergiebedarf
72 kWh/m²a (vorher 96)



Gebäudehülle

Heizwärmebedarf
69 kWh/m²a (vorher 104)



Anlagentechnik

Anlagenverluste *
1 kWh/m²a



Umweltwirkung

CO₂-Emission
22 kg/m²a (vorher 30)



* inkl. Primärenergie-Verluste

Quelle: Screenshot Hottgenroth-Software

Ein Vorteil der Innendämmung ist, dass die Fassade von außen erhalten bleibt, was visuell dem Alter dem historischen Gebäude zu Gute kommt. Die Innendämmung birgt hinsichtlich der Verschiebung des Taupunktes aber auch einen Nachteil.

Modernisierungsvorschlag Dämmung des Dachbodens

Für nicht begehbare Dachböden bietet sich auf der Bodenfläche die Dämmung durch das Ausrollen von Steinwolle oder Einblasdämmverfahren mit Zelluloseflocken an. Der Dachraum wird damit vom beheizten Gebäudeteil getrennt. Zelluloseflocken können auch aufgeschüttet werden und bilden eine überall gut anliegende Dämmschicht. Dadurch werden beachtliche Energieeinsparungen erzielt.

Gesamtbewertung

Primärenergiebedarf
79 kWh/m²a (vorher 96)



Gebäudehülle

Heizwärmebedarf
80 kWh/m²a (vorher 104)



Anlagentechnik

Anlagenverluste *
-2 kWh/m²a



Umweltwirkung

CO₂-Emission
25 kg/m²a (vorher 30)



* inkl. Primärenergie-Verluste

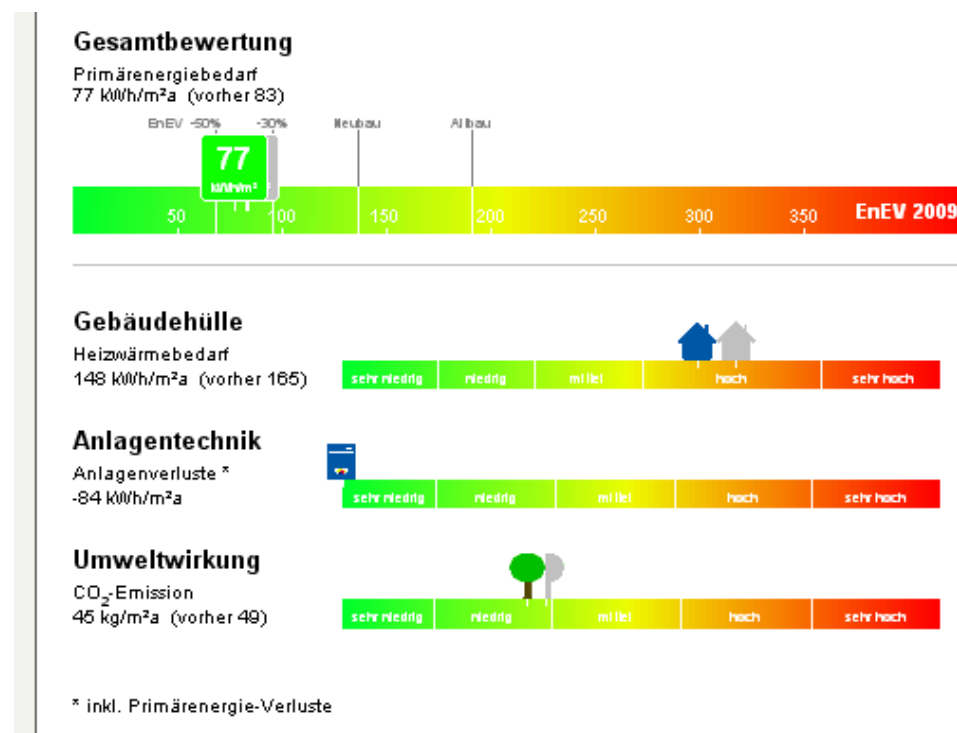
Quelle: Screenshot Hottgenrothsoftware

Auch durch diese einfache Variante erreichen wir gute Ersparnisse in den Bereichen. Bei dem Primärenergiebedarf sparen wir 17 kWh/m²a und auch die Verbesserung der Gebäudehülle ist deutlich, für den kleinen Aufwand. Auch der CO₂-Emmissionsausstoß ist nahezu mit der Wandalternative vergleichbar.

Ein wichtiger und günstiger Wärmeschutz ist das Versehen der Schulräume mit Jalousien. Sie sind ein wirksames Mittel, um den sommerlichen Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung zu begrenzen und für behagliche Raumtemperaturen im Sommer zu sorgen.

1.2. Fazit Container

Zu Beginn der Containergebäudeanalyse, gab es keine Möglichkeit, Informationen von dem Hersteller zu erhalten. Das Gebäude wurde laut Aussage der Schulverwaltung 1980 gemietet und aufgestellt. Auf Grund der Anmietung macht eine Sanierung des Containergebäudes nicht viel Sinn, da nicht sicher ist, wie lange dieser noch benötigt wird. Die Analyse wurde durch Recherchen an Hand von anderen Containergebäuden dieses Baujahres und mit Hilfe einer Wärmebildkamera erstellt. Die Ergebnisse zeigen auf, dass die Werte von 1980 wie erwartet nicht den aktuellen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV 09) entsprechen. Sollte dennoch entschieden werden, dass der Containertrakt saniert werden soll, wäre es möglich, die aktuellen Werte und Bestimmungen der Energieeinsparverordnung zu erreichen. Dazu wird empfohlen, eine Sanierung mit Innendämmung durchzuführen.



Quelle: Screenshot Hottgenrothsoftware

1.3 Fazit „Gartenhaus“

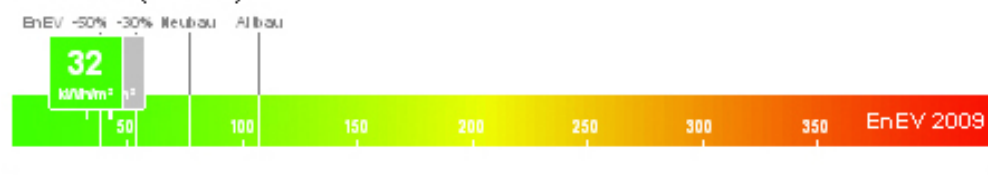
Das Gebäude entspricht den üblichen Richtwerten des Baujahres 2000. Die aktuellen Grenzwerte der Energieeinsparverordnung EnEV 09 für Wohngebäude werden aber mit dem IST-Zustand des Gebäudes nicht erreicht. Aufgrund des noch geringen Alters des Gebäudes ist eine grundlegende Sanierung nach diesem Standard nicht wirtschaftlich und nicht zu empfehlen.

Soll eine Sanierung erfolgen, ist der *"Passivhausstandard"* zu empfehlen. Die Baukonstruktion bietet hierfür gute Voraussetzungen. Die bereits vorhandenen Dämmwerte des Daches sind diesem Standard schon nahe. Die Sanierung der Außenwand ist mit überschaubarem Aufwand möglich. Um den Passivhausstandard jedoch vollkommen zu erreichen ist hier zusätzlich der Tausch aller Fenster und Türen nötig. Zusätzlich ist der Einbau einer kontrollierten Wohnraumlüftung erforderlich. Die U-Werte von 0,15 W/(m²K) für Außenwand und Dach stellen nur die Minimumanforderung an den Passivhausstandard da und können durch dickere Dämmschichten noch verbessert werden.

Nach den Berechnungen mit der Hottgenroth-Energieberater-Software ist durch die Sanierung ein Energieeinsparpotenzial von etwa 23 % möglich. Die Sanierung zum Passivhaus lohnt sich zum einen aufgrund der steigenden Energiekosten, zum anderen würde damit schon jetzt der Standard der absehbaren Zukunft erfüllt. Es ist auch hervorzuheben, dass aufgrund einer solchen Maßnahme als Projekt mit Symbolcharakter, ein großer Imagegewinn erzielt wird. Hier kann die Stadt Flensburg und die Käte-Lassen-Schule eine Vorbildstellung bei Energieeffizienz und CO₂-Einsparung einnehmen.

Gesamtbewertung

Primärenergiebedarf
32 kWh/m²a (vorher 42)



Gebäudehülle

Heizwärmebedarf
53 kWh/m²a (vorher 80)



Anlagentechnik

Anlagenverluste *
-33 kWh/m²a



Umweltwirkung

CO₂-Emission
19 kg/m²a (vorher 25)



Quelle: Screenshot Hottgenrothsoftware

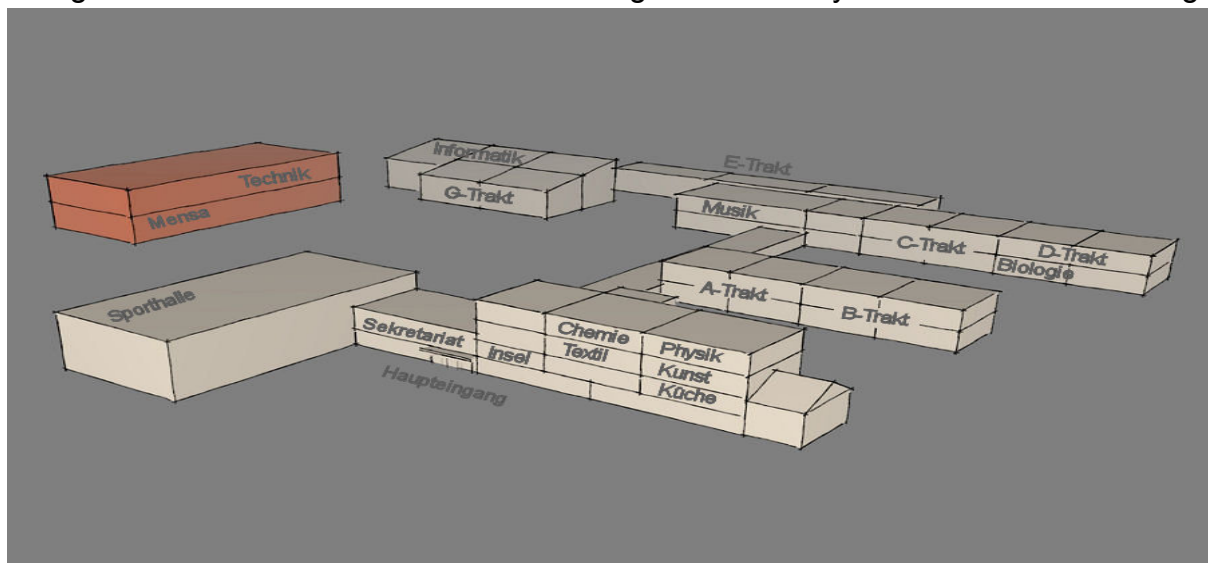
2. Einführung

2.1 Aufgabenstellung

Die Schulklassen GST 11 und GST 12 (GST = Gebäudesystemtechnik) der Fachschule für Technik und Gestaltung des regionalen Berufsbildungszentrums Flensburg Eckener-Schule haben den Auftrag, im Rahmen eines Projektes eine Bestandsaufnahme der Gebäude der Käte-Lassen-Schule durchzuführen, um darauf ein Konzept für die energetische und technische Sanierung zu erarbeiten. Im ersten Projektabschnitt untersuchen die Schüler der GST 12 den IST-Zustand der Gebäudehüllen der Trakte „A“ bis „G“ sowie der Sporthalle. Dazu gehören die Bestandsaufnahme und Konstruktionsbeschreibung der Außenwände, Fenster, Außentüren, Bodenplatten und Dächer, um die vorhandenen U-Werte zu errechnen. Eine Gruppe von Schülern der Käte-Lassen-Schule hat im Vorfeld bereits Recherchen über das energetische Nutzerverhalten und den Zustand der Anlagentechnik durchgeführt. Diese Hinweise sollen in das Projekt einfließen. Im zweiten Projektabschnitt wurden auf Basis dieser Bestandsanalyse Sanierungsvorschläge erarbeitet.

2.2 Lage

Die „Kommunale Immobilien Stadt Flensburg“ sind Eigentümer der „Käte-Lassen-Schule“. Die Schule unterteilt sich in 4 verschiedene Gebäudeabschnitte. Das Hauptgebäude, die Sporthalle und die Trakte „A“ bis „D“ stellen den Altbau da. Der Trakt „E“ besteht aus Container-Klassenräumen und der Trakt „G“ ist ein Anbau und wird als Gartenhaus bezeichnet. Die Mensa ist ein separates Gebäude, das erst vor Kurzem errichtet wurde. Dieser Neubau wurde aufgrund der erst vor Kurzem erfolgten Inbetriebnahme in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt.



Übersichtsplan der Käte-Lassen-Schule

2.3 Berechnungsgrundlagen

Die dreistündige Besichtigung der Schule fand am 12.11.2012 nachmittags statt. Bei der Begutachtung der Gebäude waren einige Bereiche nicht zugänglich (Dachböden, Seitenbereich der Turnhalle). Die Erfassung der Gebäudedaten konnte vielfach nur nach Sicht und Daten der Gebäudetypologie des Institut Wohnen und Umwelt und den vorliegenden Bauzeichnungen erfolgen. Für die Berechnungen der U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) von Außenwänden, Fenstern, Türen, Bodenplatten und den Dächern wurde die Software Energieberater 18599 3D Plus der Firma „Hottgenroth“ verwendet.

Als Vergleichswert für die ermittelten Werte dient die Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009). Diese sind in der Tabelle 1 „Erneuerung von Bauteilen“ der Anlage 3 zu finden. Wir orientieren uns an den Daten für Wohngebäude, da die EnEV 2009 für Schulen eine vereinfachte Erfassung der Gebäudedaten gemäß §4 Absatz 3 (Ein-Zonen-Modell) ermöglicht. Für die Ergebnisse der Container sind ebenfalls diese Angaben zu verwenden, da gemäß §8 der EnEV 2009 die Nutzungsdauer der Container über 5 Jahre liegt und somit die Anlage 3 „Anforderungen bei Änderung von Außenbauteilen und bei Errichtung kleiner Gebäude“ hier keine Anwendung findet.

Im Jahr 2014 wird eine Novellierung der EnEV erwartet, die dann geltenden Werte sind aber derzeit noch nicht verlässlich abzusehen.

Zu den Containern fehlen größtenteils nähere Angaben, da die Unterlagen vom Hersteller nicht vorlagen. Aus diesem Grund wurden Vergleichsdaten von bauähnlichen Containern verwendet.

Die Thermografieaufnahmen wurden am 10.12.2012 in der Zeit von 8 Uhr bis 9 Uhr mit der Kamera Flir I7 bei einer Temperatur von -7°C aufgenommen. Über einen längeren Zeitraum lagen diese zuvor auch bereits unter null Grad, so dass sich ein gleichmäßiger Wärmestrom durch die Bauteile entwickeln konnte und die Aufnahmen aussagekräftig sind.

Gemäß der Aussage der Stadtwerke Flensburg, wurde zur Berechnung der Anlagentechnik in Hottgenroth der Primärenergiefaktor von 0,7 für die Fernwärme eingesetzt.

2.4 Wärmebrücken

Wärmebrücken entstehen wenn Bauteile wie z.B. Stahlträger oder Balkonplatten, die Dämmschicht eines Gebäudes durchbrechen. Bauteile, die durch die Dämmschicht konstruiert wurden, führen die Heizenergie im Verhältnis ihrer Wärmeleitfähigkeit nach außen ab. Es entsteht ein Wärmestrom dadurch, dass unterschiedliche Temperaturen zwischen Innen- und Außenoberflächen aufeinander einwirken. Bei den Temperaturunterschieden ist zu beachten, dass Feuchtigkeit entsteht, sobald die warme Innentemperatur durch die kalte Außentemperatur, heruntergekühlt wird. Dann ist der Taupunkt erreicht und Feuchtigkeit wird abgegeben. Dadurch entsteht die Gefahr, dass bei ungenügender Belüftung die Feuchtigkeit in den Bauteilen bleibt und nicht mehr verdunstet.

Eine negative Auswirkung ist, dass der Wärmefluss, der durch die Wärmebrücken entsteht, zu einem stärkeren Heizbedarf führt und somit die Heizkosten erhöht. Ein weiterer Aspekt ist die Feuchtigkeit in den Bauteilen, die über einen längeren Zeitraum zu einer dauerhaften Beschädigung von Bauteilen oder zur Schimmelbildung führen kann. Beide Situationen beeinträchtigen das Gebäude und die Gesundheit der Bewohner. Wärmebrücken können vermieden werden, indem die Dämmschicht nicht durch Bauteile unterbrochen wird. Dies kann bei der Bauplanung bereits berücksichtigt werden. Sollte es doch dazu kommen, dass Bauteile die Dämmschicht unterbrechen, müssen diese Schwachstellen am Gebäude nachgebessert werden.

Wärmebrücken sind mit dem bloßen Auge selten zu erkennen. Diese Schwachstellen sind besonders bei Schnee gut auf Dächern und Vorbauten sichtbar. Ein konkreter Nachweis von Wärmebrücken ist aber nur über Infrarot-Thermografie möglich. Bewohner oder Eigentümer eines Gebäudes, die sich über den Zustand ihres Gebäudes bzw. über das Ausmaß vorhandener Wärmebrücken und feuchter Flächen unschlüssig sind, sollten immer fachliches Personal zum Beurteilen und Bewerten beauftragen.

Im nachfolgenden Teil werden exemplarisch für jedes Gebäudeteil einige Wärmebrücken innerhalb der Käte-Lassen-Schule erläutert.

Materialbedingte Wärmebrücken

Unterschiedliche Materialien in einer oder mehrerer Schichten eines Bauteils, bringen automatisch Wärmeleitfähigkeiten mit sich und es könnten Wärmebrücken entstehen. Diverse materialbedingte Wärmebrücken entstehen durch:

- Stahlbetonstürze, Fensterstürze oder Ringanker im Mauerwerk
- Mörtelfugen im Mauerwerk
- Stahlbetondeckenaufleger

- Holzsparren in der Dämmebene einer Dachkonstruktion
- dämmschichtunterbrechende Innenwände

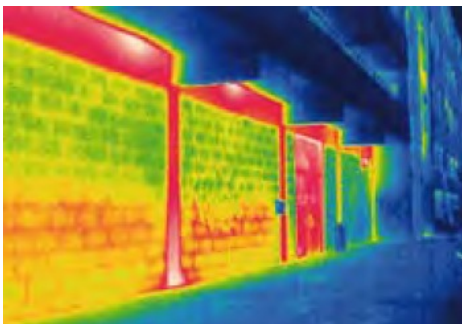


Visualisierung von Wärmebrücken durch
Betonträger Quelle:www.dena.de

Geometrische Wärmebrücken

Die geometrischen Wärmebrücken entstehen dann, wenn Temperaturunterschiede zwischen der Innenfläche und der Außenfläche aufeinander treffen. Ein Beispiel für diese Wärmebrücken sind Gebäudekanten. Das Problem ist, dass geometrische Wärmebrücken nicht ganz vermieden werden können. Mit einer gut gedämmten Außenwand können die Wärmebrücken verringert werden.

Ein gutes Beispiel, bei dem materialbedingte und geometrische Wärmebrücken aufeinander treffen, ist die Balkonplatte, die Mauerwerk und Dämmung durchstößt.



Visualisierung von Wärmebrücken
durch Betonaußentreppe Quelle:www.dena.de

Konstruktive Wärmebrücken

Es gibt keine großen Unterschiede zwischen materialbedingten und konstruktiven Wärmebrücken. Jedoch treten konstruktive Wärmebrücken durch planerische Zwänge oder bauliche Notwendigkeiten auf.



Dieses Bild zeigt zwei konstruktive Wärmebrücken:

Temperaturfeld eines Fenstersturzdetails mit Geschossdecke und einem gering gedämmten Rollladenkasten. Die Innen-Oberflächentemperatur beträgt unter der Stahlbetondecke lediglich 12,2°C

www.dena.de

2.5 Taupunkt

Durch das Einwirken unterschiedlicher Temperaturen, die auf der Innen- und Außenfläche eines Gebäudes aufeinandertreffen, kann bei ungenügender Belüftung Tauwasser entstehen. Trifft die warme Luft auf eine kalte Oberfläche, entsteht Kondensat. Das passiert dann, wenn sich der Wasserdampf vom gasförmigen Zustand in den flüssigen Zustand umwandelt. Dadurch, dass die Luft nur einen gewissen Teil an Wasserdampf aufnehmen kann, wird der Überschuss abgegeben. Dies ist besonders bei 0° C problematisch. Hier kann sich dann durch Frost und Feuchte Eis bilden. Durch die auftretende Volumenausdehnung kann das Material Schaden durch abplatzen nehmen.

2.6 U-Wert Berechnung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 schreibt die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten = U bei Gebäuden vor.

Zur Berechnung des U- Wertes wird die Formel

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + R_{si}}$$

verwendet.

U = Wärmedurchgangskoeffizient (W/m²K)

R_{se} = Wärmeübergangswiderstand (außen) nach DIN 6946

R_{si} = Wärmeübergangswiderstand (innen) nach DIN 6946

d = Bauteildicke (m)

λ = Wärmeleitfähigkeit der Materialien nach DIN 4108-2 (W/mK)

2.7 Sommerlicher Wärmeschutz

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erfolgt nach DIN 4108-2:2003-07 und der EnEV09. Im Sommer kann durch Sonneneinstrahlung die Raumtemperatur zu hoch werden. Es ist eine Berechnung für den sommerlichen Wärmeschutz raumbezogen durchzuführen, wenn der Fensterflächenanteil im Verhältnis zum Gebäudehüllenanteil über 30% liegt. Dazu wird der zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} berechnet und mit dem vorhandenen Wert S verglichen. Ist er höher, müssen Maßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz getroffen werden.

Im vorliegenden Bericht wurde für folgende Räume der sommerliche Wärmeschutznachweis geführt:

Hauptgebäude: Chemie- und Biologieraum

Anbau/Gartenhaus: Klassenraum 1

Beschreibung der Abkürzungen

- g Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
- A_w Fensterfläche in m^2
- AG Nettogrundfläche des Raumes in m^2
- F_c Abminderungsfaktor für Sonnenschutzeinrichtungen

$g_{total} = g \cdot F_c$ einschließlich Sonnenschutz

- AG Nettogrundfläche des betrachteten Raumes
- AAW Außenwandfläche des betrachteten Raumes (Außenmaße)
- AD Wärmeübertragende Dach- oder Deckenfläche des betrachteten Raumes
- f_{gew} Gewichtete Außenflächen, bezogen auf die Nettogrundfläche

2.8 Ökobilanz

Die Ökobilanz ist eine Zusammenfassung und Bewertung der ökologisch relevanten Zusammensetzung von Baustoffen. In dieser Bilanz werden die Energieverbräuche für die Erkundung und Förderung der Rohstoffe und für die Produktion des Baustoffs mit einberechnet. Die Auswertung der Bilanz gibt Auskunft darüber, wie ökologisch jeder einzelne Baustoff ist. In diesem Bericht wurden die entsprechenden Werte der Ökobau.dat_2011 entnommen und eingepflegt.

Primärenergiegehalt PEI

Der Primärenergiegehalt (PEI) beinhaltet sämtliche energetischen Aufwendungen, die zur Herstellung eines Produktes erforderlich sind, beginnend bei der Rohstoffgewinnung bis zum Endprodukt. Er wird in Megajoule pro Kilogramm (MJ/kg) gemessen. Beim Primärenergiegehalt wird zwischen erneuerbaren Energieträgern (z.B. Strom aus Windkraft) und nicht erneuerbaren Energieträgern (Erdöl, Erdgas, Uran) unterschieden.

Treibhauspotenzial GWP 100

Das Treibhauspotenzial (**G**lobal **W**arming **P**otential) beschreibt den Beitrag eines Produktes oder Materials zur Klimaerwärmung. Alle Emissionen werden bezüglich ihres potenziellen Treibhauseffektes zu CO₂ ins Verhältnis gesetzt und in kg Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂-Äquivalent) angegeben. Die mittlere Erwärmungswirkung wird über einen bestimmten Zeitraum, in unserem Fall 100 Jahre, betrachtet.

Versauerungspotenzial AP

Das Versauerungspotenzial (AP-acidification potential) beschreibt den Beitrag eines Produktes oder Materials zur Entstehung von saurem Regen. Durch den sauren Regen kommt es zu Waldschäden und Versauerung von Böden. Der saure Regen zersetzt Naturstein und die Korrosion von Metallen wird gefördert. Verantwortlich hierfür sind schwefelhaltige fossile Brennstoffe wie Öl und Kohle, da bei der Verbrennung Emissionen freigesetzt werden. Das Versauerungspotenzial wird in kg Schwefeldioxid- Äquivalent (SO₂- Äquivalent) angegeben.

Ozonabbaupotenzial ODP

Das Ozonabbaupotenzial (**O**zone **D**epletion **P**otential) definiert den Beitrag einer Substanz zur Verringerung der Ozonschicht in der Stratosphäre. Sie wird in Kilogramm Trichlorfluormethan-Äquivalent (CCl₃F - Äquivalent) aufgeführt. Die Ozonschicht ist ein Schirm und hat große Bedeutung für das Leben auf der Erde. Sie ist in der Lage, kurzwellige UV-Strahlen zu absorbieren und richtungsunabhängig die großen Wellenlängen auszustrahlen. Außerdem wird eine verstärkte Erderwärmung verhindert.

2. Erfassung des Hauptgebäudes

3 Hauptgebäude



3.1 Gebäudedaten

Gebäudetyp	Schulgebäude in Massivbauweise	
Baujahr	1957	
Standort	Mommsenstr.45 24943 Flensburg	
Bauweise	Massivbauweise mit Flachdach 12% Neigung	
Geschossanzahl	Hauptgebäude: 4 ;Trakte A bis D: 2 bis 3 , Sporthalle	
Grundfläche	3.666,52 m ²	
A _N	4.681,92 m ²	A _N = 0,32 m ⁻¹ * V _e
Nutzung	Hauptgebäude und die Trakte A bis D werden überwiegend als Unterrichtsgebäude genutzt und einem Nebengebäude das ursprünglich von Hausmeister genutzt wurde.	

3.2 Ansichten

Hauptgebäude



Ostansicht Sporthalle



Nordansicht Hauptgebäude

Trakt A – D



Nordansicht Trakt A - B



Südansicht Trakt A - B

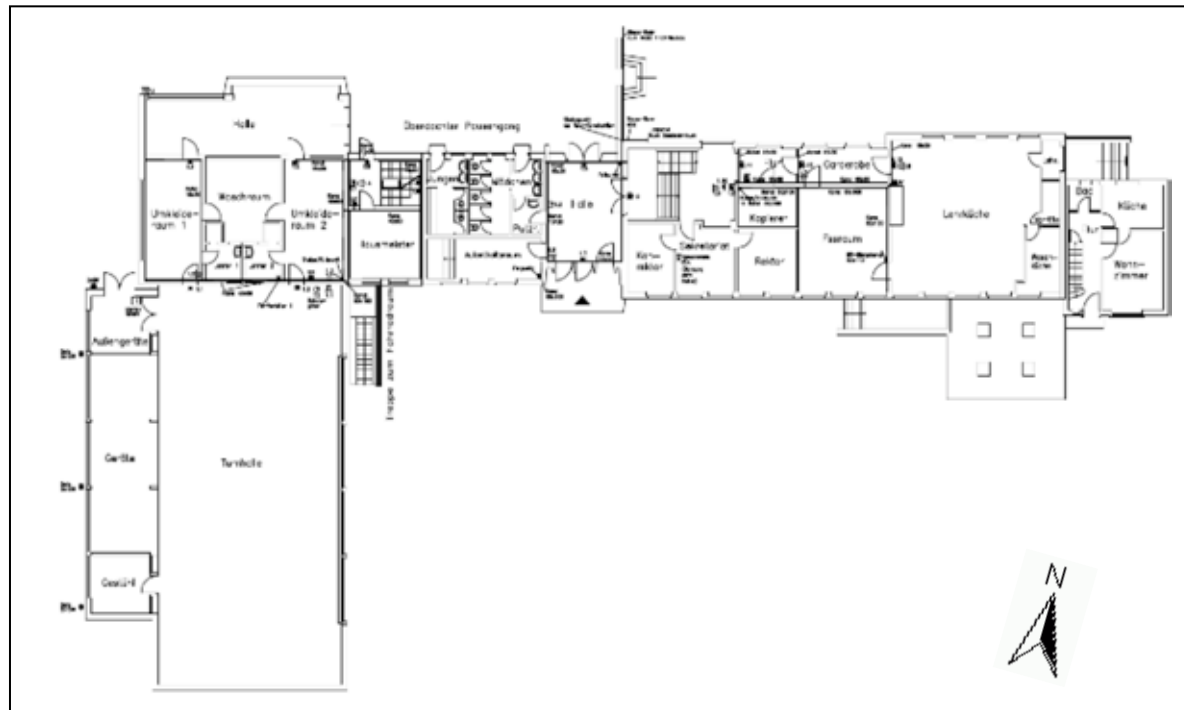


Nordansicht Trakt C - D



Südansicht Trakt C - D

3.3



Ausschnitt Hauptgebäude EG

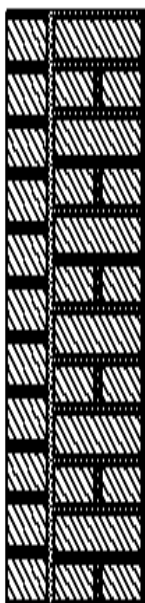


3.4 Baulicher Zustand und Analyse der Gebäudehülle

Das Hauptgebäude und die Trakte A bis D sind in mehrere Unterrichtsgebäude mit Klassenzimmern, Werkstätten, Verwaltungsräumen und in eine Sporthalle unterteilt. An den östlichen Teil des Gebäudes grenzt eine Anliegerwohnung. Das Gebäude ist komplett beheizt, bis auf wenige Ausnahmen wie der Abstellraum im Keller Trakt 2 und der Außengeräteschuppen an der Sporthalle. Der Bereich um die Lehrerzimmer wurde teilsaniert (Fenster, Türen), die Außenwände sind im Originalzustand.

Außenwand

Die Außenhülle des Gebäudes ist in einem guten Zustand. Es sind keine baulichen Mängel oder wesentliche Schäden zu erkennen. Die Außenwände sind zweischalig aufgebaut und ca. 38 cm breit. Unter den meisten Fenstern auf der Südseite befinden sich Heizkörpernischen. Das bedeutet, dass an diesen Bereichen das Mauerwerk schmäler ist. Die Außenwand ist dort nur einschalig gemauert und von außen befindet sich lediglich eine Faserzementplatte. Die Wand besteht aus einer Leichtputzschicht innen und es folgt ein doppelt gemauertes Vollklinkerziegel, der versetzt gemauert ist. Darauf folgt eine 15mm starke Luftschicht. Ob diese durchgängig ist, konnte nicht festgestellt werden. Diese Schicht wird eventuell an manchen Stellen mit überschüssigem Mörtel verschmiert sein.



Von außen nach innen

U-Wert = 1,4 W/m²K

- | | |
|------------------------------|----------|
| 1. Verblend Klinkermauerwerk | = 115 mm |
| 2. Ruhende Luftschicht | = 15 mm |
| 3. Klinkermauerwerk | = 240 mm |
| 4. Innenputz | = 15 mm |

Gesamtstärke = 385 mm

Heizkörpernischen

Die Heizkörpernischen sind wie folgt aufgebaut: eine Schicht Leichtputz, eine einfachgemauerter Vollklinkerziegel und außen ist eine gewellte Faserzementplatte.



Von außen nach innen

1. Eternitplatte
2. Klinkermauerwerk
3. Innenputz

Gesamtstärke

U-Wert = 3,14 W/m²K

= 50 mm

= 115 mm

= 15 mm

= 180 mm

Fenster

Das Hauptgebäude sowie in den Trakten A bis D sind verschiedene Arten von Fensterelemente verbaut. Einige der alten Fenster weisen Mängel auf, wie defekte Dichtungen. Viele Fensterelemente sind schon durch Kunststoff-Aluminiumfenster mit doppelter Wärmeschutzverglasung ausgetauscht worden insbesondere im Sanierten Verwaltungsteil. Unter anderem sind auch Holz-Aluminiumfenster mit doppelter Verglasung verbaut. In Einzelfällen findet man noch Holz-Aluminiumfenster mit Einfachverglasung und Steinzeugrahmen-fenster mit Einfachverglasung.



Kunststoff-Aluminiumfenster mit doppelter Wärmeschutzverglasung



Holz-Aluminiumfenster mit Einfachverglasung



Kunststoff-Aluminiumfenster mit doppelter Wärmeschutzverglasung



Steinzeugrahmen-fenster mit Einfachverglasung

Türen

Der Großteil der Türen im Hauptgebäude besteht aus Holz-Doppelflügeltüren mit einer Einfachverglasung. Weiter sind auch Metalltüren und Kunststofftüren verbaut.



Holztür mit einer Einfachverglasung



Holz-Doppelflügeltüren mit einer Einfachverglasung



Holztür mit Einfachverglasung Kellerzugang



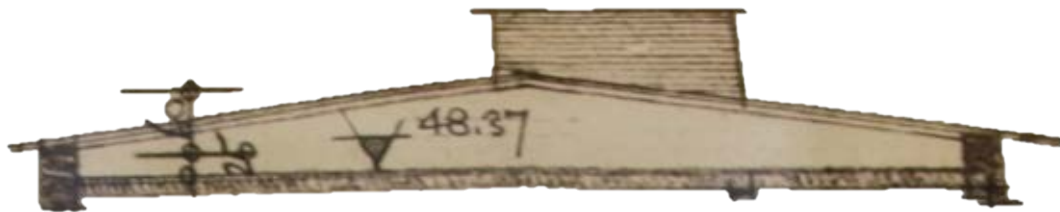
Holztür mit Oberlicht



Kunststofftür Keller

Dach

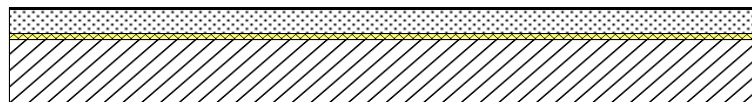
Bei der Begutachtung des Hauptgebäudes sowie den Trakten A bis D konnte der Dachaufbau nicht genau erfasst werden, da kein Zugang zum Dachboden möglich war.



Ausschnitt Dach

Fußboden

Wir nehmen an, dass der Fußboden wie folgt aufgebaut ist: Als unterste Schicht kommt eine ca. 160 mm starke Stahlbetonschicht, es folgt eine ca. 15 mm starke Trittschalldämmung worauf ca. 60 mm Estrichbeton verbaut ist und darauf folgend der Bodenbelag aus Linoleum. Eine Sanierung der Bodenplatte ist nicht möglich, mit einer Ausnahme, dort wo unbeheizte Räume unterhalb der Decke angrenzen. Wie die Abstellkammer im Keller Trakt 2 mit 67m³ Fläche hier könnte man die Kellerdecke Dämmen aber der aufwand wurde sich nicht rentieren für 1% Verbesserung.



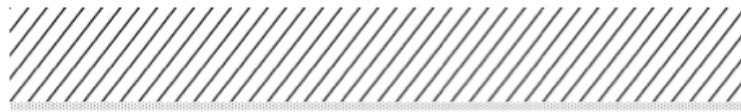
Aufbau von oben nach unten

U-Wert: 1,34 W/m²K

1. Linoleum	= 5 mm
2. Estrichbeton	= 60 mm
3. Trittschalldämmung	= 15 mm
4. Stahlbeton	= 160 mm
Gesamtstärke	= 240 mm

Oberster Geschossdecke

Der Deckenaufbau der obersten Geschossdecke ist wie folgt aufgebaut, eine ca. 160 mm dicke Stahlbetonschicht und es folgt ein Innenputz der ca. 15mm dick ist. Hier besteht die Möglichkeit mit einfachen Mitteln den Dachboden energetisch zu verbessern.



Aufbau von oben nach unten

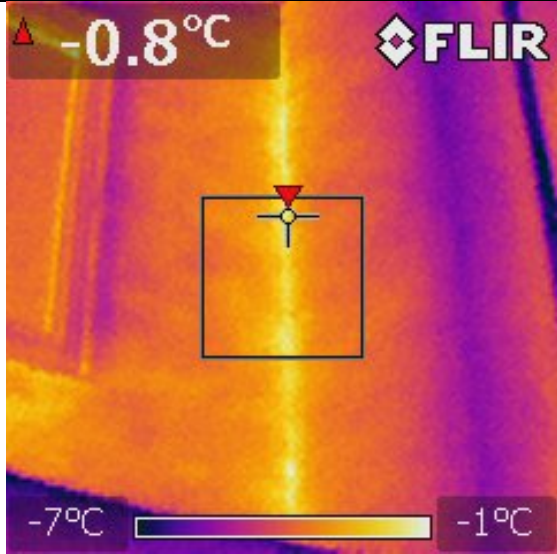
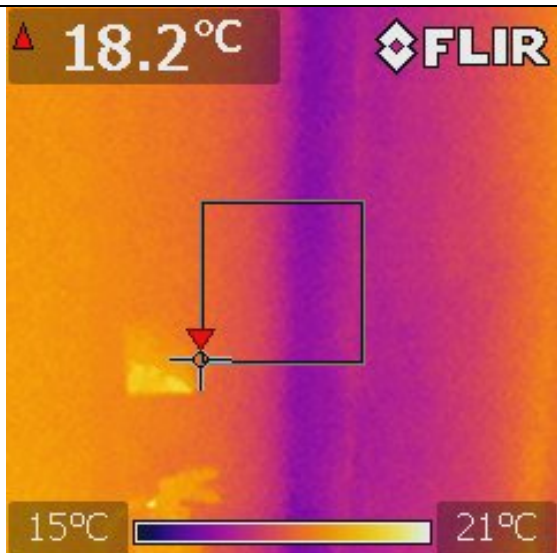
- | | |
|---------------------|-----------------|
| 1. Stahlbeton | = 160 mm |
| 2. Innenputz | = 15 mm |
| Gesamtstärke | = 175 mm |

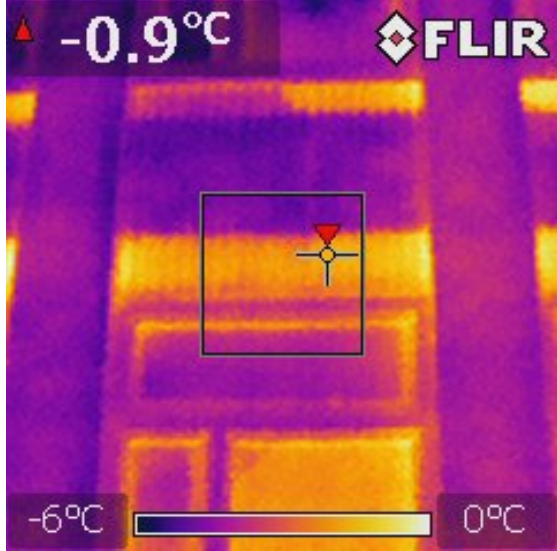
U-Wert = 2,26 W/ m²K

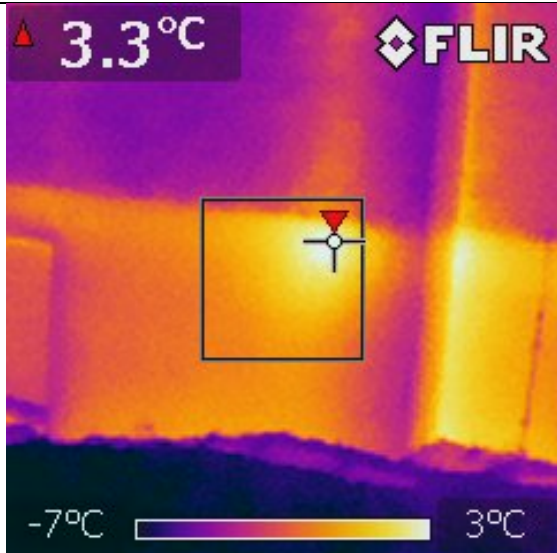
3.5 Tabelle U-Werte

Bauteile	IST-Zustand	EnEV 09
Oberste Geschossdecke	2,26 W/(m ² *K)	0,30 W/(m ² *K)
Außenwand	1,40 W/(m ² *K)	0,24 W/(m ² *K)
Dach	2,10 W/(m ² *K)	0,24 W/(m ² *K)
Bodenplatte	1,34 W/(m ² *K)	0,50 W/(m ² *K)
Fenster* (Inklusive Wärmeschutzglas, Rahmen)	5,12 W/(m ² *K) – 1,65 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)
Nebeneingangstür (Inklusive Rahmen)	3,50 W/(m ² *K) – 2,80 W/(m ² *K)	2,9 W/(m ² *K)
Eingangstür (Inklusive Wärmeschutzglas, Rahmen)	3,50 W/(m ² *K) – 2,60 W/(m ² *K)	2,9 W/(m ² *K)
Nebeneingangstür mit Glas (Inklusive Wärmeschutzglas, Rahmen)	3,50 W/(m ² *K) – 2,80 W/(m ² *K)	2,9 W/(m ² *K)

3.6 Wärmebrücken

	
Bauteil: Bemerkungen:	Nord-Seite Haupteingang In der Ecke ist der Temperatur unterschied von 6 Grad zu erkennen. Es handelt sich um eine geometrische Wärmebrücke an der Innenecke.
	
Bauteil: Bemerkungen:	Flur Verwaltung und Lehrerzimmer Hier die kalte Ecke zu erkennen, Wärme geht verloren.

	
Bauteil: Bemerkungen:	Fensterfront Südseite Hier sieht man die Bodenplatte, die wärmer ist als die darüber liegende Fensterbrüstung

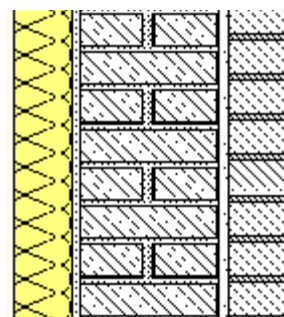
	
Bauteil: Bemerkungen:	Fensterfront Nordseite Auf diesem Bild sind 2 Schwachstellen zu sehen 1) eine geometrische Wärmebrücke durch den Versprung im Mauerwerk 2) unterschiedliche Aufbau des Sockels zur darüber liegenden Wand

3.7 Sanierungsvorschläge

Außenwand Hauptgebäude Alternative 1

Die Alternative beinhaltet das Hauptgebäude sowohl die Turnhalle als auch die Trakte 1 und 2. In unseren Sanierungsvorschlägen, gehen wir auf die Innendämmung ein. Bei der Innendämmung ist zu beachten das laut der EnEV2009: „Beim Einbau von innenraumseitigen Dämmschichten gemäß Buchstabe c, gelten die Anforderungen des Satzes 1 als erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus 0,35 W/(m²·K) nicht überschreitet.“¹

Im ersten Vorschlag wird eine Perlit-Platten verwendet. Diese Platten sind leicht, nichtbrennbar, widerstandsfähig, ungezieferbeständig und verrotten nicht. Perlit ist baubiologisch unbedenklich. Um den bestehenden Wert von 1,4 W/(m²·K) der Außenwand zu reduzieren, muss eine Stärke von 100 mm der Perlit-Platten verwendet werden. Mit diesen Platten wird ein Wert von 0,34 W/(m²·K) erreicht und erfüllt somit die Grenzwerte der EnEV2009. Dadurch reduziert sich der Energieverbrauch um 33% auf. Bei diesem Zwischenergebnis wurden die Heizkörpernischen noch nicht berücksichtigt!



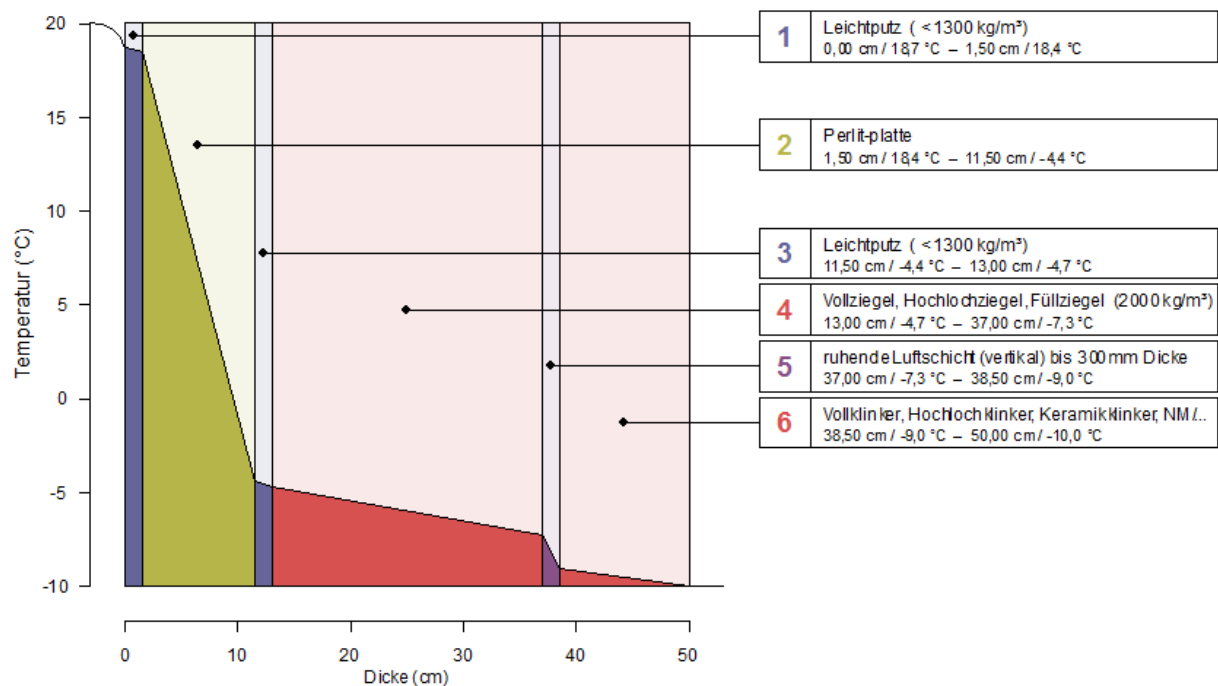
Unsere neue Außenwand baut sich wie folgt auf:

U-Wert = 0,34 W/m²K		
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
1 Gipsputz (DIN 12524 - 1300 kg/m ³)	1,50	0,570
2 Perlit-platte	10,00	0,045
3 Gipsputz (DIN 12524 - 1300 kg/m ³)	1,50	0,570
4 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (2000 kg/m ³)	24,00	0,960
5 ruhende Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke	1,50	0,170
6 Vollklinker, Hochlochklinker, Keramiklinker, NM/DM (2200kg/m ³)	11,50	1,200
Gesamtdicke : 50,00 cm		

qh - Ist	103,8 kWh/m ²	Variante	69,2 kWh/m ²	-33 %
----------	--------------------------	----------	-------------------------	-------

Bei der Innendämmung, muss ein besonderes Augenmerk auf den Taupunkt gelegt werden. Durch die Innendämmung verschiebt sich dieser von der ruhenden Luftschicht in die Perlit-Innendämmung. Wenn Wasser oder Feuchtigkeit in das Mauerwerk gelangt und es dann gefriert, kann dieses zu Rissen im Mauerwerk führen. Das Gebäude weist aber bisher keine offensichtlichen Beschädigungen auf.

¹EnEV2009, S.42, Anlage 3 (zu den §§ 8 und 9), 1 Außenwände

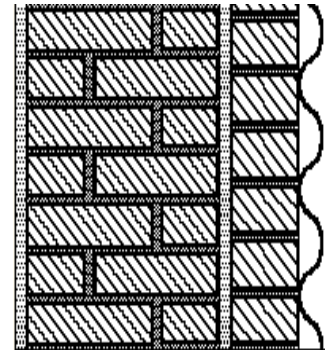


[Temperaturverteilung Außenwand]

Heizkörpernischen:

Die Wände in den Heizkörpernischen weisen bisher einen U-Wert von $3,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ auf. Der abweichende Wert, im Vergleich zur übrigen Wand, resultiert aus der geringeren Wandstärke. Bei einer Innendämmung müssen die Heizkörper demontiert werden. Durch die Veränderung der Wandstärke nach innen sind daher umfangreiche Umbaumaßnahmen an den Heizkörperanschlüssen nötig.

Als Alternative zur Perlit-Innendämmung in den Heizkörpernischen können hier auch Porenbetonsteine verwendet werden. Durch diese Maßnahme werden die Heizkörpernischen vollständig geschlossen. Mit dieser Variante würde der derzeitige bestehende U-Wert von $3,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ auf $0,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ reduziert und erreicht somit die Anforderungen der EnEV2009.



U-Wert = $0,32 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

	s (cm)	λ (W/mK)
Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	2,00	0,700
Porenbeton-Plansteine ($400 \text{ kg}/\text{m}^3$ - Brl.PD1-9/94)	33,00	0,120
Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	2,00	0,700
Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker, NM/DM ($2000 \text{ kg}/\text{m}^3$)	11,50	0,960
Deckung: Faserzementwellplatten ohne Lattung	5,00	

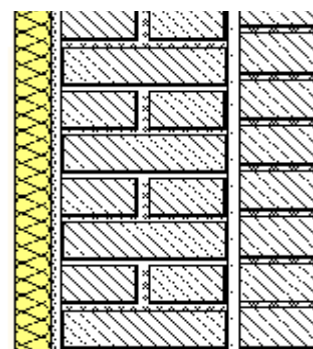
Gesamtdicke : 53,50 cm

Durch die Sanierung der Heizkörpernischen würde der Energieverbrauch nochmals um 4% gesenkt werden, was eine Gesamtersparnis von 22% ergibt.

qh - Ist	174,2 kWh/m ²	Variante	136,7 kWh/m ²	-22 %
----------	--------------------------	----------	--------------------------	-------

Außenwand Hauptgebäude Alternative 2

In dem zweiten Vorschlag wurde eine Sanierung durch Mineralwolle mit Nanotechnologie in Betracht gezogen. Durch die Dämmung mit einer 50 mm starken Dämmplatte erreichen wir einen Wert von $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Dieser Wert liegt unterhalb des vorgegebenen Wertes aus der EnEV2009. Durch die Sanierung wird der Energieverbrauch um etwa 22% reduziert. In diesem Endwert wurden alle Außenwände vom Hauptgebäude und der Turnhalle berücksichtigt.



Materialeigenschaften der Nanodämmung:

Die Mineralwolle mit Nanotechnologie ist eine Verbundplatte aus Aerowolle und einer Gipsfaserplatte mit integrierter Dampfbremse. Die Aerowolle ist eine Kombination aus Steinwolle und einem Aerogel. Diese Kombination aus den unterschiedlichen Materialien ermöglicht eine Wärmeleitfähigkeit von $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Die Dämmplatten eignen sich für die nachträgliche Wärmedämmung von Außenwänden auf der Innenseite. Die Wärmedämmung bietet eine stoß- und kratzfeste Oberfläche, die sich im Bereich der Schule gut eignet. Die Montage der Platten ist in wenigen Schritten durchzuführen. Durch auftragen von Mörtel auf der Rückseite können die Platten an die Innenseite der Außenwand gedrückt werden. Die Stoßfugen der Platten werden verspachtelt und geschliffen. Nach den Arbeitsschritten und den Trocknungszeiten kann die Wand mit einem Farbanstrich oder einer Tapete versehen werden.

Die sanierte Außenwand baut sich wie folgt auf:

U-Wert = $0,30 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$		Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda \text{ (W/mK)}$
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen			
1 Gipsputz (DIN 12 524 - $1300 \text{ kg}/\text{m}^3$)		1,50	0,570
2 Nanodämmung		5,00	0,019
3 Gipsputz (DIN 12 524 - $1300 \text{ kg}/\text{m}^3$)		1,50	0,570
4 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel ($2000 \text{ kg}/\text{m}^3$)		24,00	0,960
5 ruhende Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke		1,50	0,170
6 Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker, NM/DM ($2200 \text{ kg}/\text{m}^3$)		11,50	1,200
Gesamtdicke :		45,00 cm	

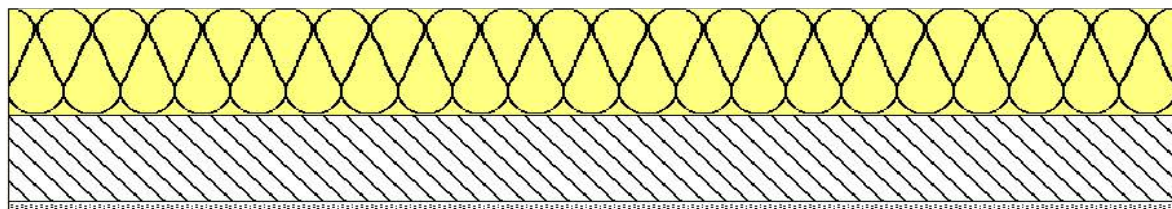
qh - Ist	103,8 kWh/m ²	Variante	68,4 kWh/m ² -34 %
----------	--------------------------	----------	-------------------------------

Bei der Mineralwolle mit Nanotechnologie gelten die selben bauphysikalischen Besonderheiten wie bei dem Taupunkti der Alternative 1 auf Seite 24.

Oberste Geschossdecke Variante 1

Die oberste Geschossdecke im Hauptgebäude ist stark verbesserungsbedürftig. Der aktuell bestehende Wärmedurchgangskoeffizient beträgt $2,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Nicht genutzte Dachräume sind direkt auf Bodenfläche zu dämmen. Die EnEV schreibt, seit 2011 für Bestandsgebäude eine Nachrüstpflicht vor. Der Dachraum wird damit von dem beheizten Gebäudeteil getrennt. Die Dämmverfahren sind problemlos und kostengünstig. Der Wärmedurchgangskoeffizient nach EnEV09 darf nach der Sanierung einen Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nicht überschreiten. Als erster Sanierungsvorschlag wird Steinwolle angenommen. Die Steinwolle ist leicht zu verarbeiten, nicht brennbar und widerstandsfähig gegen Feuchte und Ungeziefer. Steinwolle ist ein Granulat der nachträglich mit Kunstharzgebunden wird. Bei einer Stärke von 200 mm wird ein Wert von $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ erreicht. Aufgrund dessen wird der Stand der aktuellen EnEV2009 bewirkt. Allein in dem Haupt und beiden Trakten wird Heizenergieverbrauch um ca. 23 % reduziert.

Nach der Sanierung sieht der Dachaufbau wie folgt aus:



U-Wert = $0,18 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

Leichtputz ($< 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)
 Leichtbeton / Stahlleichtbeton ($1400 \text{ kg}/\text{m}^3$)
 Steinwolle (Sillanplatten, Wärmedämmung) (ISOVER, H.Thorsen)

Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
1,50	0,380
16,00	0,790
20,00	0,040

Gesamtdicke : 37,50 cm

qh - Ist 103,8 kWh/m² | Variante 79,5 kWh/m² -23 %

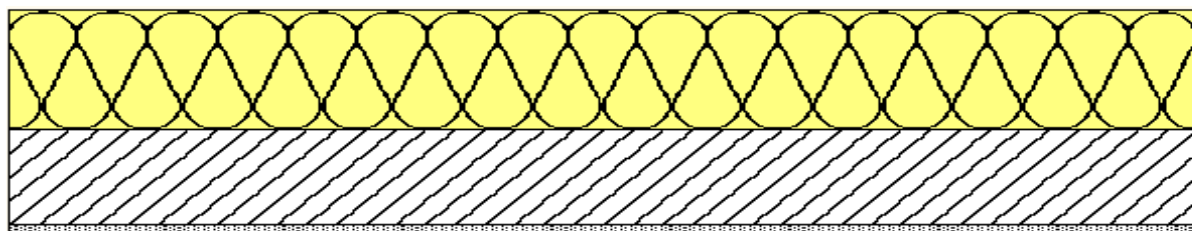
Oberste Geschossdecke Variante 2

Im zweiten Sanierungsvorschlag wurden die ökologischen Aspekte des Werkstoffes berücksichtigt. Hierbei handelt es sich um Zellulosefaserdämmung. Bei der Herstellung dieser Dämmung wird die Umwelt um 2,385 kg CO² weniger belastet als bei der Steinwolle.

Zellulosefaserdämmung ist ein, im Recyclingverfahren aus Tageszeitungen hergestellter, Wärmedämmstoff. Zellulosefaserdämmung ist zum Einblasen in Hohlräumen von Dächern, Wänden und Decken verwendet wird. Die so verarbeiteten Fasern bilden eine fugenlose, setzungssichere Schicht mit sehr guten Dämmeigenschaften und hoher Atmungsaktivität.

Um den Referenzwert der EnEV 2009 zu erreichen, wird bei einem Lambda- Wert von 0,040 W/(m²*k)eine Stärke von 200 mm der Zellulosefaserdämmstoff erforderlich. Mit dieser Stärke wird ein Wert von 0,18W/(m²*K) erreicht und ist somit auf dem Stand der aktuellen EnEV2009. Hierbei reduziert sich der Energieverbrauch um ca. 16 % bei dem Hauptgebäude so wie bei den Trakten A- D und dem Musikgebäude.

Nach der Sanierung sieht der Dachaufbau wie folgt aus:



U-Wert = 0,18 W/m²K

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
1 Leichtputz (< 1000 kg/m ³)	1,50	0,380
2 Leichtbeton / Stahlleichtbeton (1400 kg/m ³)	16,00	0,790
3 Zellulosefaserdämmstoff (WLG 040)	20,00	0,040

Gesamtdicke : 37,50 cm

qh - Ist	333,0 kWh/m ²	Variante	281,3 kWh/m ²	-16 %
----------	--------------------------	----------	--------------------------	-------

3.8 Ökobilanz

Die Ökobilanzierung liefert ein Verständnis über die Umweltrelevanz eines Produkt. Auswertung übernimmt für den ökologischen Teil im Wesentlichen die oben behandelten Ökobilanzen für den Wandaufbau. Die quantitativen Ergebnisse der Bilanz werden nach dem Ansatz der Ökobau.dat ausgewertet, daher werden die Tabelle und Ergebnisse von Baustoffen für die einzelnen ökologischen Kategorien jeweils mit dem Alternativwerkstoff verglichen.

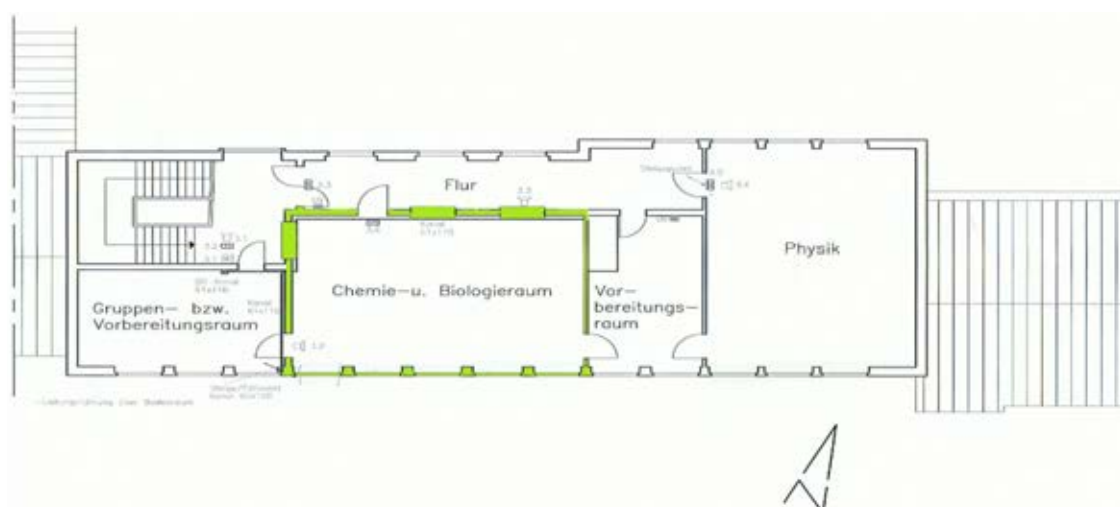
Beispiel für die ökologische Bewertung von Baustoffen: Hauptgebäude – Außenwand

Für das Hauptgebäude wird eine Innendämmung der Wände vorgeschlagen. Dies kann mit unterschiedlichen Materialien ausgeführt werden. In den Ökobilanzen werden die Materialien „Perlite“ und „Aerorock“ gegenüber gestellt.

Die Verbundplatte „Aerorock“ besteht aus Aerowolle (Nanomaterial aus Mineralfaserdämmung) mit Gipsfaserplatte und integrierter Dampfbremse. Der Primärenergiebedarf zur Herstellung dieses Baustoffs ist um 35% größer als Energiebedarf zur Herstellung einer Perlite Dämmung, mit dem gleichen Dämmwert. Das Treibhausgaspotential CO_2 liegt auch um 45% höher. Das Versauerungspotenzial der beiden Bauteile im Vergleich zueinander zeigt, dass die Perlite Dämmung auch bei diesem Umweltfaktor kleinere Werte als „Aerorock“ hat. Nur beim Ozonabbaupotential steht Sanierungsvorschlag 1 um 0,000001kg CCl₃F-äquivalente, als Variante 2. Die Ökobilanzierung für Innen Dämmung zeigt das die Nano-Mineralwolle gegenüber der Perlite Dämmung ökologisch gesehen schlechter ist. Dafür muss die Perliteplatte mit dickerer Materialstärke aufgetragen werden, um den erforderlichen Dämmwert zu erhalten.

3.9 Sommerlicher Wärmeschutz

Vorhandener Sonneneintragskennwert S			
Objekt: KTS		Raum: Chemie u. Biologieraum	
Geschoss: 2			
Fensterflächenanteil Fünf Fenster	Länge =	2,00 m	
	Breite =	1,05 m	
	Fläche = l * b =	x 5	15,00 m ²
Grundfläche	Länge =	9,60 m	
	Breite =	6,45 m	
	Fläche = l * b =		61,92 m ²
Deckenfläche	= Grundfläche =		61,92 m ²
Außenwandfläche	Länge	9,60 m ²	
	Breite	2,3 m ²	
	Fläche = l * b =		22,08 m ²



Quelle: Stadt Flensburg- Der Oberbürgermeister- Kommunale Immobilien- Baumanagment

In dem Chemie und Biologie Raum sind viele Fenster verbaut daher eignet sich der raum gut um ein Beispiel darzustellen.

Vorhandener Sonneneintragskennwert S		
Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche		
Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs	$A_w =$	15,00 m ²
Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs	$A_G =$	61,92 m ²
Summe der wärmeübertragenden Dach- und Deckenfläche	$A_D =$	61,92 m ²
Fassaden- und Verglasungswerte		
Fassade / Außenwandfläche	$A_{AW} =$	22,08 m ²
Fensterfläche der betrachteten Außenwandfläche	$A_w =$	15,00 m ²
Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 4102 /Herstellerangabe	$g =$	0,78 m
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	$F_c =$	1,0
g-Wert der 2- Fach Verglasung ohne Wärmeschutz		
$g_{total} = g * F_c = 0,78 * 1,0$	$g_{total} =$	0,78
Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S		
$S = \frac{\sum_i (A_i * g_i)}{A_g} \quad S = \sum_j \frac{(15m^2 \times 0,78)}{61,92m^2} =$		0,188

Zulässiger Sonneneintragskennwert Szul	
Anteilige Sonneneintragskennwerte Sx	Wert Sx
Gebäudelage, Bauart	
Klimaregion	siehe Tab 6 DIN4108-2
Gebäude in Klimaregion A	+ 0,040
Bauart	siehe Tab 9 DIN4108-2
Gewählt: schwere Bauart $C_{wirk} / AG > 130 \text{ Wh}/(m^2K)$ $+0,115 \times f_{gew}$ $f_{gew} = \frac{(A_w + 0,3 \times A_{AW} + 0,1 \times A_D)}{A_G}$ $\frac{(15m^2 + 0,3 \times 22,08m^2 + 0,1 \times 61,92m^2)}{61,92m^2} = 0,45$	+ 0,052

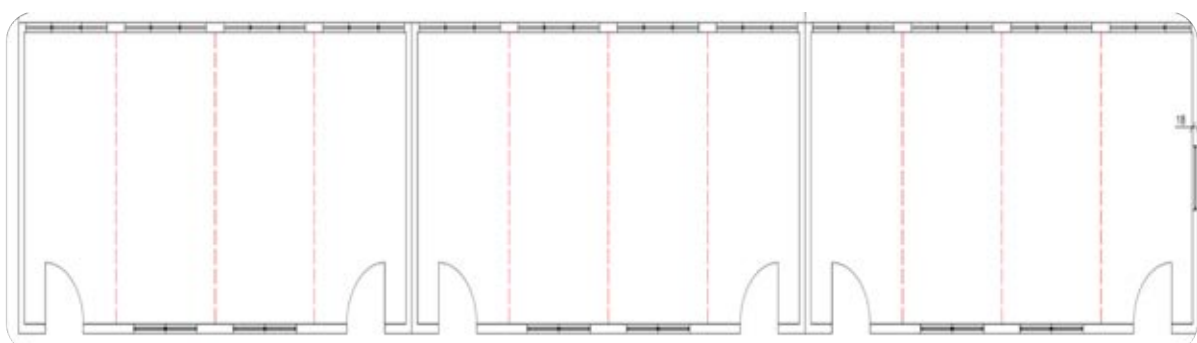
Berechnung des zulässigen Höchstwertes Szul		
$S_{zul} = \sum S_x = 0,040 + 0,052$	$S_{zul} =$	0,092
Anforderung		
Der vorhandene Sonneneintragskennwert S darf den zulässigen Höchstwert Szul nicht überschreiten.		
Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes		
Ergebnis: $S = 0,188 > 0,092 = S_{zul}$		
Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz ist nicht erbracht.		

Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutz		
Sonnenschutzvorrichtung		Siehe Tab 8 DIN4108-2
Gewählt: Außenliegende Jalousien allgemein	$F_c =$	0,40
g- Wert der 2- Fach Verglasung ohne Wärmeschutz		
$g_{total} = g * F_c = 0,78 * 0,40$	$g_{total} =$	0,31
Berechnung nach Verbesserung Sonneneintragskennwertes S		
Ergebnis: $S = 0,075 > 0,092 = S_{zul}$		
Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht.		
Mit Außenliegenden Jalousien ist der maximal zulässige Sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 erreicht.		

4. Containergebäude(Trakt E)



Standort	Flensburg
Gebäudetyp	Schulcontainer (Trakt E)
Baujahr	1980
Nutzung	Unterrichtsräume
Bauweise	Modulbauweise
BGF	215,91m ²
Bauliche Besonderheiten	Mehrere Container in Modulbauweise miteinander verbunden



Schematische Grundrissdarstellung

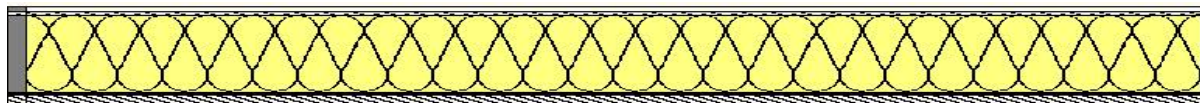


4.1 Baulicher Zustand und Analyse der Gebäudehülle

Das Containergebäude (Trakt E) der Käte- Lassen- Schule ist ein Komplex, der aus 12 Containermodulen besteht. Vier Module ergeben ein Klassenzimmer, was bedeutet, dass der gesamte Komplex drei Klassenräume beinhaltet. Jedes Klassenzimmer besitzt auf der Nordseite vier Fenster, welche im Einzelnen aus drei Elementen bestehen. Auf der Südseite sind zwei Eingangstüren pro Zimmer und zwei Oberlichter verbaut. Dort wurde eine Aluminium-Verkleidung zum Schutz vor Witterung angebracht, an der Nord- Ost und Westseite wurde Kalk-Zementputz verarbeitet. Das Containergebäude steht auf einem Drei-Streifen-Fundament.

Da eine Anfrage an den Hersteller erfolglos blieb, sind die Aufbauten der Decke, Wände und des Bodens wurden von einem vergleichbaren Container angenommen und können unter Umständen abweichen. Die aufgenommenen Wärmebilder bestätigen, dass die Werte in etwa mit dem Containergebäude, welches als Vorlage zur Verfügung stand, übereinstimmen.

außen



innen

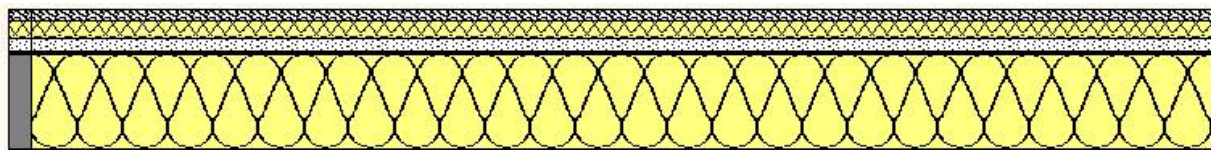
Das Dach des Containergebäudes ist von außen mit Stahlblech verkleidet. Darunter befindet sich eine Konstruktion aus Konstruktionsstahl. Zwischen den Sparren befindet sich Mineralwolle als Dämmung. Eine PA-Folie bildet die Dampfbremse, damit die Feuchtigkeit der Raumluft das Dämmmaterial nicht mehr erreichen kann. Die Innenkonstruktion wurde mit Gipskartonplatten verkleidet. Unter der Decke wurde zusätzlich, eine Kassettendecke montiert.

Bodenaufbau

Der Boden des Containergebäudes ist im Aufbau der Decke ähnlich. Von außen ist das Gebäude mit Stahlblech verkleidet und darüber befindet sich eine ruhende Luftschicht von ca. einem Zentimeter. Über der Luftschicht befinden sich Rahmen aus Konstruktionsstahl. Der Raum zwischen den Sperren, ist mit Mineralwolle gedämmt. Eine PA-Folie bildet die Dampfbremse, damit die Feuchtigkeit der Raumluft das Dämmmaterial nicht mehr erreichen kann. Es folgt eine Schicht von OSB Platten, worüber eine Schicht aus Polystyrol PS-Partikelschaum den Trittschallschutz bildet. Den Abschluss der Konstruktion bilden OSB Platten, auf denen ein Filzteppich verlegt wurde.

Aufbau von innen nach außen
U-Wert: 0,29 W/m²K

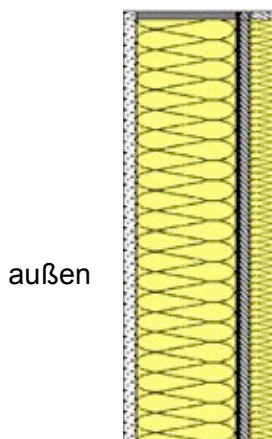
- | | |
|----------------------------------|-----------|
| • Filzteppich | = 0,4 cm |
| • OSB Platten | = 2 cm |
| • Polystyrol PS - Partikelschaum | = 3 cm |
| • OSB Platten | = 2 cm |
| • PA Folie | = 0,06 cm |
| • a) Konstruktionsstahl | = 16 cm |
| • b) Mineralwolle | |
| • Stahlblech | = 0,5 cm |

Gesamtstärke innen **= 24,56 cm**


außen

Wandaufbau

Außen befinden sich zementgebundene Spanplatten mit einer Stärke von 2,2 cm, welche mit einer Schicht Kalkzement- Putzmörtel versehen sind. Der Kern der Wand bildet ein Gefach aus Konstruktionsstahl und Mineralwolle. Als Dampfbremse dient eine PA- Folie. Die Innenverkleidung besteht aus Gipskartonplatten. Dadurch ergibt sich laut unserer Berechnungssoftware (Hottgenroth) ein U-Wert von 0,51W/m²*K. Das entspricht nicht der gültigen EnEV 2009.


Aufbau von außen nach innen
U-Wert: 0,29 W/m²K

- | | |
|------------------------------|-----------|
| • Putzmörtel aus Kalkzement | = 0,5 cm |
| • Zementgebundene Spanplatte | = 2,2 cm |
| • a) Konstruktionsstahl | = 14 cm |
| • b) Mineralwolle | |
| • PA Folie | = 0,06 cm |
| • Gipskartonplatten | = 1,5 cm |

Gesamtstärke **= 18,26 cm**

Fenster

Auf der Nordseite sind 12 Fensterelemente mit zweifacher Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen. Die Südseite besitzt 6 Oberlichter aus zweifacher Isolierverglasung in Kunststoffrahmen und auf der Ostseite gibt es ein Rundfenster aus zweifacher Isolierverglasung in Kunststoffrahmen. Alle Fenster sind mit elektrischen Jalousien versehen. Auf den nachfolgenden IR- Bildern ist zu erkennen, dass beim Randverbund deutliche Wärmeleitstellen vorhanden sind.

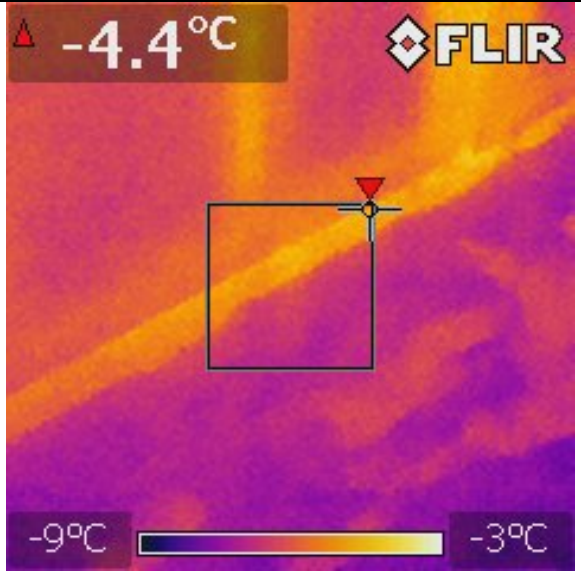
Türen

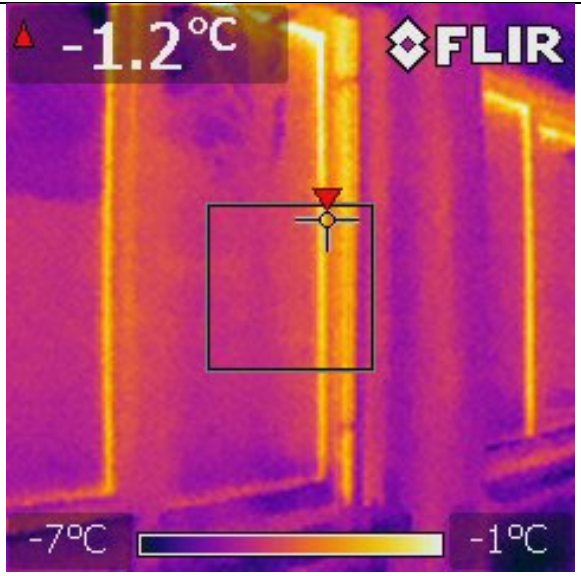
Jedes Klassenzimmer besitzt 2 Außentüren in Leichtmetallausführung mit einem Sichtfenster aus Einfach-Verglasung. Insgesamt befinden sich also 6 Außentüren auf der Südseite.

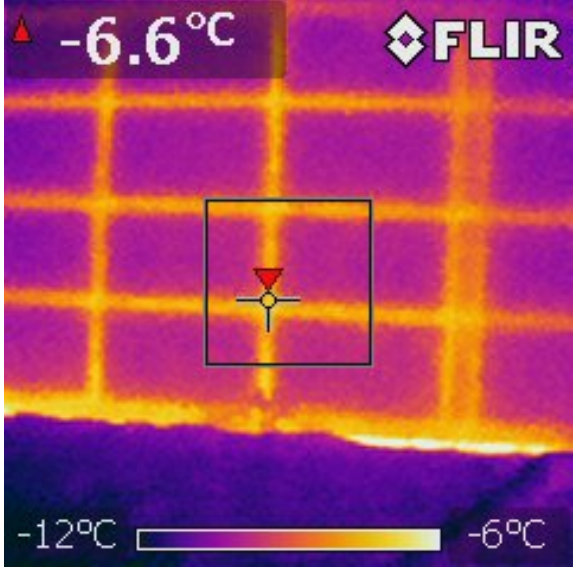
4.2 Tabelle U-Werte

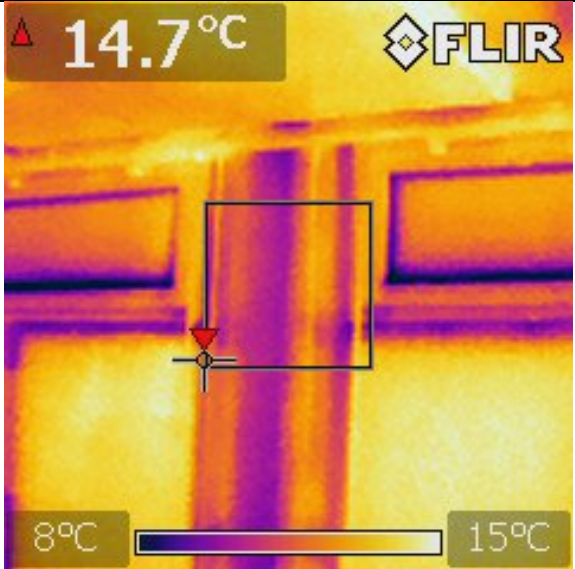
Bauteile	IST-Zustand	EnEV 09
Außenwand	0,51 W/(m ² *K)	0,28 W/(m ² *K)
Dach	0,55 W/(m ² *K)	0,20 W/(m ² *K)
Bodenplatte	0,29 W/(m ² *K)	0,35 W/(m ² *K)
Außenfenster Nord 12x	2,01 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)
Außenfenster Ost 1x	2,91 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)
Außenfenster Süd 6x	2,97 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)
Eingangstüren Süd 6x	3,50 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)

4.3 Wärmebrücken

	
Bauteil:	Drei-Streifen-Fundament
Bemerkungen:	Hoher Wärmeverlust durch eine materialbedingte Wärmebrücke, ist hier im Sockelbereich sehr gut zu erkennen.

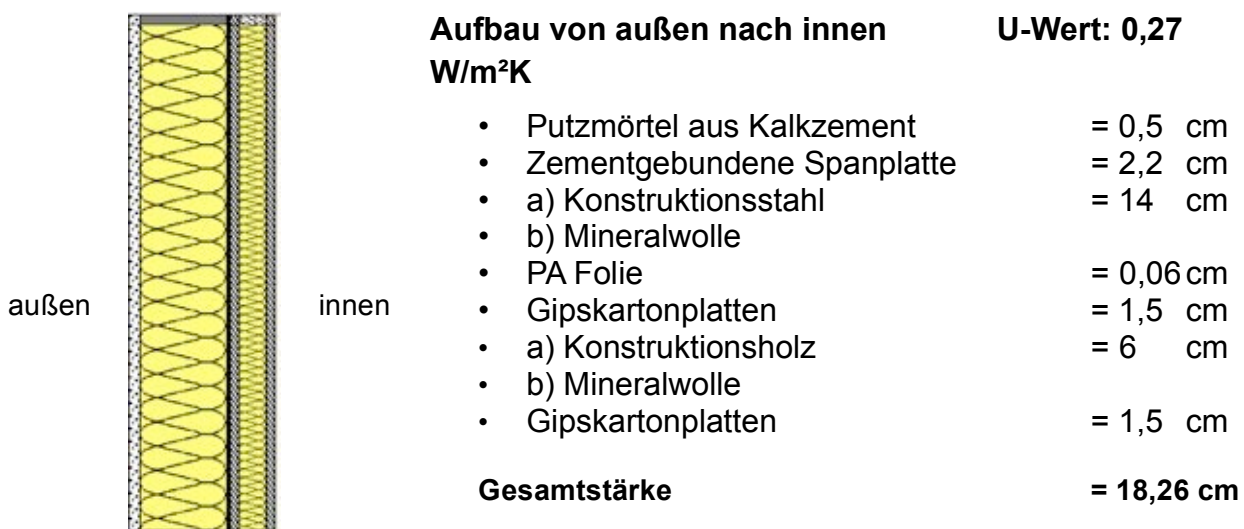
	
Bauteil:	Nordfassade Außenfenster
Bemerkungen:	Der Randverbund im Fensterrahmen, weist hohe Wärmeverluste durch eine materialbedingte Wärmebrücke auf

	
Bauteil: Bemerkungen:	Westfassade Außenwand Durch Unterbrechung der Dämmschicht entstehen hohe Wärmeverluste, die sich auf Grund der Konstruktion nicht vermieden werden können (Konstruktive Wärmebrücke).

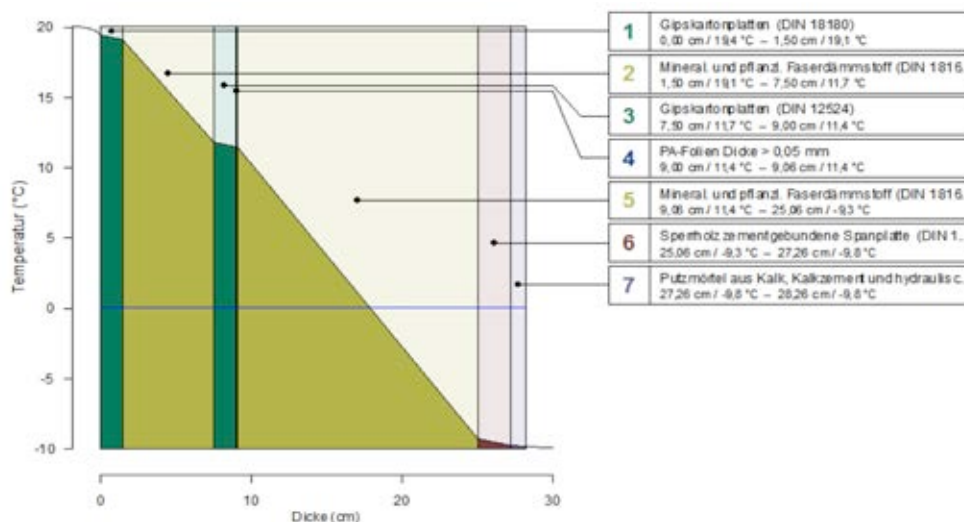
	
Bauteil: Bemerkungen:	Container Übergang Auch in diesem Bild, wird durch die Stahlrahmenkonstruktion Wärme verstärkt nach außen geleitet (Konstruktive Wärmebrücke).

Modernisierungsvorschlag Wandaufbau

Anhand des Konstruktionsaufbaus kann durch eine zusätzliche Innendämmung der Außenwände ein besserer Wert erreicht werden (siehe Bild unten). Bei der Modernisierung wird auf die Innenwand eine Unterkonstruktion aus Holz angebracht und die Zwischenräume mit Mineralwolle versehen. Verkleidet wurde die Innenkonstruktion zusätzlich mit Gipskartonplatten. Durch diese Maßnahme mit geringem Aufwand würde der U-Wert von **0,51 W/m²*K** auf **0,27 W/m²*K** gesenkt, was der gültigen EnEV entspricht. Durch die Modernisierung entsteht ein zusätzlicher Aufwand für die Heizkörper und Fensterbänke.



Da nach einer Sanierung die Frostgrenze in der Außendämmung liegt, kann keine Beschädigung an der Bausubstanz entstehen, wenn die Feucht der Dämmung geschätzt wird.



4.4 Sommerlicher Wärmeschutz

Gemäß den Anforderungen der EnEV 2009 Paragraph 3, Abschnitt 4 für Gebäude nach DIN 4108-2 wird für den Containertrakt E der Käte-Lassen-Schule kein Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz benötigt, da der Gesamtfensterflächenanteil der Südfassade unter 30% liegt.



Fenster Nordfassade

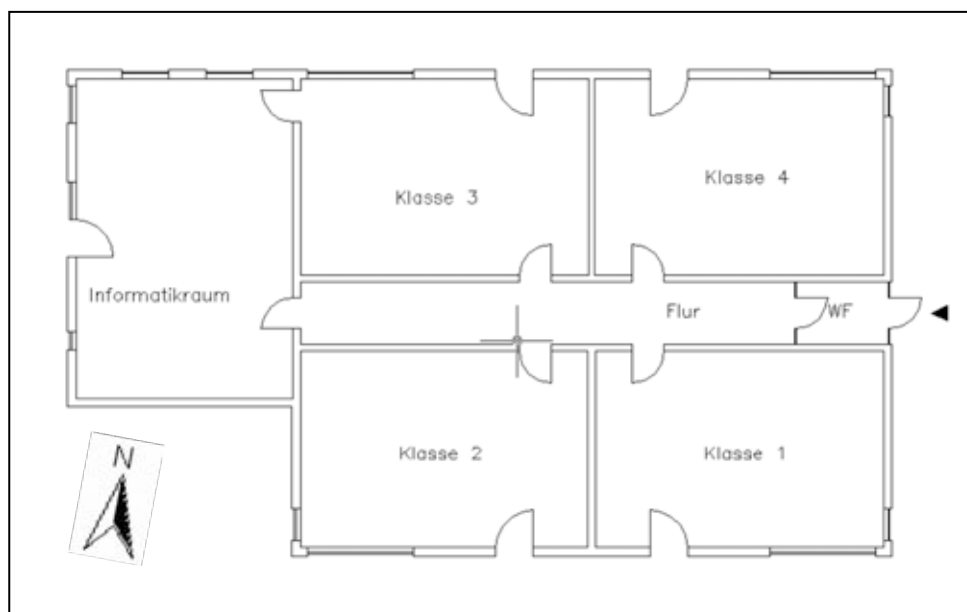


Oberlichter Südfassade

5. Anbau „Gartenhaus“ (Trakt G)



Standort	Mommsenstr. 45 24943 Flensburg
Gebäudetyp	Betonfertigteile mit Dämmung und hinterlüfteter Vorhangsfassade
Baujahr	2000
Anzahl der Räume	5
Vollgeschosse	1
Bezugsgrundfläche	382,93 m ²
Nutzung	Unterrichtsgebäude

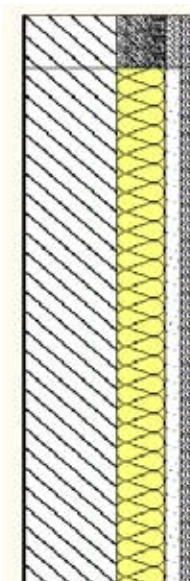


5.1 Baulicher Zustand und Analyse der Gebäudehülle

Bei der Begehung fielen keine erheblichen Mängel an der Bausubstanz auf. Die detaillierte Aufnahme und Erfassung der Daten konnte nur von der Außenwand erfolgen, da an einer Stelle die Fassadenverkleidung abnehmbar war. Fenster und Türen wurden nur nach Sicht und Schätzung erfasst. Das Dach konnte von unten begutachtet werden.

Außenwand

Der tragende Teil der Außenwände besteht aus vorgefertigten innen verspachtelten Betonelementen mit einer Stärke von 17,5 cm. Als Dämmung dient eine 9 cm dicke Schicht Mineralwolle, die zwischen einer Holzkonstruktion angebracht wurde. Daraus ergibt sich für die U-Wert-Berechnung der Wand ein inhomogenes Bauteil. Die verwendeten Holzlatten haben einen Überstand über die Dämmung von ca. 3 cm, die daraus entstehende Luftschicht dient als Hinterlüftung. Auf dieser Konstruktion wurde als Wetterschutz entweder eine Holzschalung mit einer Stärke von 2 cm oder beschichtete Zementfaserplatten mit einer Stärke von 0,5 cm angebracht. Im Sockelbereich der Wand wurde zum Schutz der Mineralwolle vor aufsteigender Bodenfeuchte ein 20 cm hoher Dämmstreifen aus PU angebracht. Er ersetzt an dieser Stelle die Mineralwolle und ist ebenfalls 9 cm stark. Im Bereich der Bodenplatte ist die Dämmschicht dünner, vermutlich ca. 8 cm, da davor eine Verblendung angebracht wurde. U-Werte sind in der Tabelle unter 4.5 aufgeführt.



Schichtaufbau

- 17,5 cm Betonelement
- 9 cm Holzkonstruktion mit Mineralfaserdämmung
- 3cm Luftschicht, Hinterlüftung
- 2 cm Holzbretter oder 0,5 cm Faserzementplatten

Fenster

Die verbauten Fenster befinden sich in gutem Zustand. Es wurden ausschließlich Holz-Aluminiumfenster mit zweifacher Wärmeschutzverglasung verbaut. Das Aluminium auf der Außenseite der Fenster dient als Witterungsschutz. Das Glas hat einen U-Wert von $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, welcher auf dem Randprofil des Fensters abzulesen war. Bei den Fenstern im Südbereich ist jeweils ein Sonnenschutz angebracht. Der U-Wert der Fenster ist der Tabelle unter 4.5 zu entnehmen.



Foto eines Fensters

Türen

In dem Gebäude sind 3 unterschiedliche Türen verbaut, die in einem guten Zustand sind. Die Glasflächen der Eingangstür bestehen aus doppelter Wärmeschutzverglasung, der Rahmen ist aus Aluminium. Die Nebeneingangstüren auf der Süd- und Westseite haben keine Glasflächen. Das Türblatt hier ist aus Holz konstruiert und zum Wetterschutz befindet sich außen eine Aluminiumschicht. Die Nebeneingangstüren auf der Nordseite haben Glasflächen und einen Holz-Aluminiumrahmen. U-Werte sind in der Tabelle unter 4.5 aufgeführt.

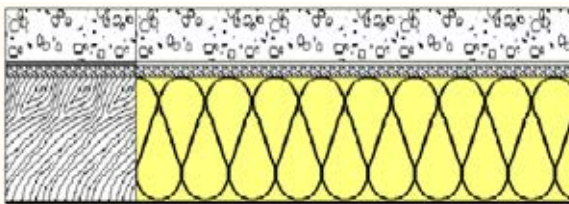
Dach

Bei dem Dach handelt es sich um ein extensives Flachdach mit einer Neigung von 5% nach Süden. Die erkennbaren Merkmale lassen auf ein Warmdach schließen. Als tragendes Element wurden hier Holzbalken verwendet. Die Stärke sowie der weitere Dachaufbau konnte nach Augenscheinnahme nur geschätzt werden. Unterhalb der tragenden Konstruktion ist eine Folie als Dampfsperre angebracht. Die Holzbalken sind 12 cm breit und haben einen Abstand von ca. 60 cm. Die Zwischenräume sind mit Mineralwolle gedämmt. Hieraus ergibt sich ein inhomogenes Bauteil.



Innenansicht Dach vom Gartenhaus

Die Dämmung hat die gleiche Dicke wie die Holzbalken. Aufgrund der zu erwartenden Last auf dem Dach ist hier von einer Stärke von 24 cm auszugehen, um den Anforderungen an die Statik gerecht zu werden. Auf den tragenden Holzbalken muss eine Konstruktion gebaut sein, worauf die Dachabdichtung aufgetragen werden kann. Hierzu eignen sich Platten aus Sperrholz oder Holzbretter mit Nut und Feder, die dann eine nahezu ebene Fläche für die Dachabdichtung ergeben. Als Stärke sind 2 cm für die Holzschicht und 1 cm für die Abdichtbahn realistisch und praxisnah. Oberhalb der Abdichtung folgt der extensive Dachaufbau, in dem vermutlich zur Dachentwässerung eine Drainageschicht verbaut ist. U-Werte sind in der Tabelle unter 4.5 aufgeführt.



Schichtaufbau

- Extensive Begrünung
- Abdichtbahn
- 2 cm Holzplatte
- 24 cm Holzkonstruktion mit Dämmung
- Dampfsperre

Bodenplatte

Die Bodenplatte besteht aus bewehrtem Beton. Als Maß sind hier Werte aus der Praxis zu nehmen, da die Baupläne nichts angeben und eine genaue Erfassung vor Ort nicht möglich war. Die Schichtdicke des Betons beträgt ca. 20 cm, worauf sich ca. 10 cm Polystyrol als Dämmung befinden. Der weitere Aufbau des Bodens besteht aus Zementestrich und Linoleum. U-Werte sind in der Tabelle unter 4.5 aufgeführt.

5.2 Tabelle U-Werte

Bauteile	IST-Zustand	EnEV 09	Passivhaus
Sockelbereich Außenwand	0,35 W/(m ² *K)	0,28 W/(m ² *K)	0,15 W/(m ² *K)
Außenwand	0,40 W/(m ² *K)	0,28 W/(m ² *K)	0,15 W/(m ² *K)
Dach	0,24 W/(m ² *K)	0,20 W/(m ² *K)	0,15 W/(m ² *K)
Bodenplatte	0,35 W/(m ² *K)	0,35 W/(m ² *K)	0,15 W/(m ² *K)
Fenster* (inklusive Wärmeschutzglas, Rahmen)	1,50 W/(m ² *K) – 1,88 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)	0,08 W/(m ² *K)
Nebeneingangstür	2,23 W/(m ² *K)	2,00 W/(m ² *K)	2,00 W/(m ² *K)
Eingangstür (inklusive Wärmeschutzglas und Rahmen)	2,70 W/(m ² *K)	2,00 W/(m ² *K)	2,00 W/(m ² *K)
Nebeneingangstür mit Glas (inklusive Wärmeschutzglas und Rahmen)	2,40 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)	1,30 W/(m ² *K)

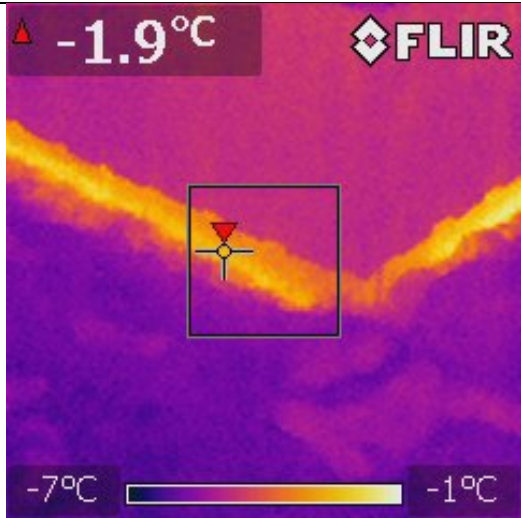
(* Fensterdetails in Tabelle 6.2)

5.3 Wärmebrücken

Dach

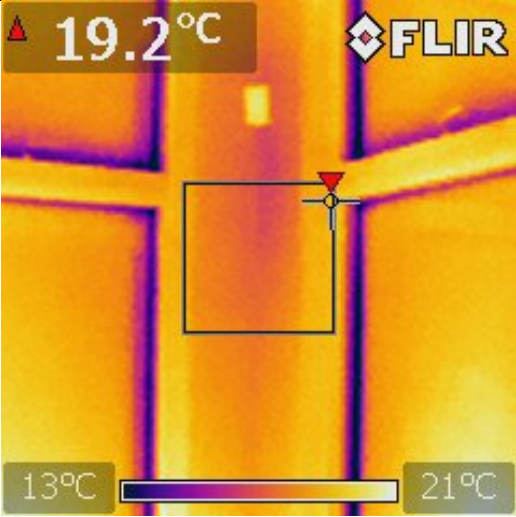
Bei der Ortsbegehung konnten keine Hinweise auf wesentlichen Wärmebrücken festgehalten werden. Die Erstellung von verwertbaren Thermographiaufnahmen des Daches war aus mehreren Gründen nicht möglich. Zum einen liegt es daran, dass die Dachneigung so gering ist und daher eine ganzheitliche Betrachtung der Dachaußenfläche, durch eine Thermographiaufnahme nicht möglich war. Zum anderen schließt die abgehängte Rasterdecke Thermographiaufnahmen im Innenbereich aus. Da diese nicht separat vom Innenraum gedämmt ist, ergibt sich in der Zwischendecke ein beheizter Raum und Kältebrücken können daher nicht visuell erfasst werden.

Außenwand

	
Bauteil: Bemerkungen:	Bodenplatte Konstruktive Wärmebrücke

Die Bilder zeigen eine Aufnahme von außen, wo der Bereich der Bodenplatte deutlich wärmer ist (siehe IR-Bild) als der Wandaufbau oberhalb. Diese Wärmebrücke würde bei Sanierung mit einer Außenwanddämmung auf ein Minimum reduziert werden. Die Minimierung würde durch das zusätzliche Anbringen einer Dämmschicht in diesem Bereich erzielt.

Die Fenster und Türen zeigen im Bereich des Randverbunds eine Schwachstelle

	
Bauteil:	Fenster / Randverbund
Bemerkungen:	Materialbedingte Wärmebrücke

Die Bilder zeigen Aufnahmen der Fensterrahmen von innen.

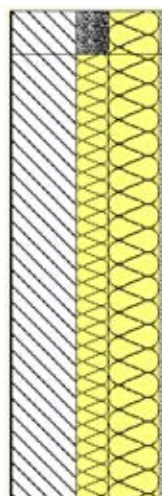
5.4 Sanierungsvorschläge

Eine Sanierung auf den Passivhausstandard ist zu empfehlen, da die Werte des Ist-Zustands zu nah an den Werten der EnEV 09 liegen. Dadurch wäre gemessen am Aufwand der Sanierung der Einspareffekt zu gering. Das Passivhaus ist vom Sanierungsaufwand nur unwesentlich höher und die Werte der neuen noch nicht veröffentlichten EnEV 14 werden übertroffen.

Mindestanforderungen für ein Passivhaus sein U-Werte der Gebäudehülle (Außenwände und Dach) unter $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und ein Primärenergieverbrauch unter $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Außenwand

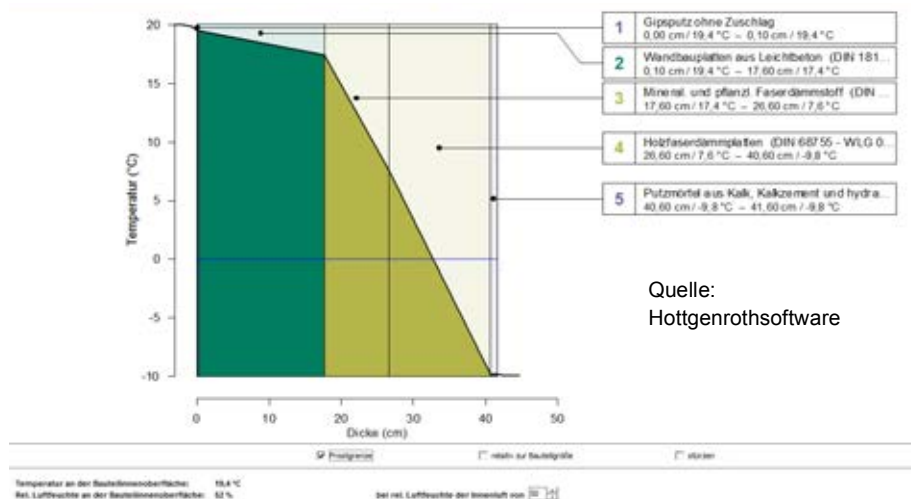
Die Sanierung der Außenwände durch Verbesserung der Außenwanddämmung bietet großes Einsparpotential. Hierfür ist, im Hinblick auf eine ressourcenschonende Wahl der Dämmung, die Verwendung von Holzfaserdämmplatten zu empfehlen. Die vorhandene Konstruktion wird zunächst bis auf die Schicht der Mineralwolldämmung zurückgebaut. Auf die vorhandene Unterkonstruktion wird daraufhin eine neue Dämmschicht aus Holzfaserdämmplatten in einer Stärke von 14 cm aufgebracht. Aus Gründen des Witterungsschutzes wird ein Putz aus Kalkzementmörtel aufgetragen. Dieser ist, im Hinblick auf den Schulbetrieb, aufgrund seiner Robustheit einem Wärmedämmputz vorzuziehen. Durch diese Art der Konstruktion entsteht auch kein inhomogenes Bauteil und die Anzahl der Wärmebrücken wird reduziert. In Bodennähe muss die vorhandene Dämmschicht aus Polystyrol mit selbigem Dämmstoff verstärkt werden, um die Holzfaserdämmplatten vor aufsteigender Bodenfeuchte zu schützen. Der Dachüberstand, muss der neuen Dicke, der Außenwand angepasst werden.



Schichtaufbau

- 17,5 cm Betonelement
- 9 cm Konstruktionsholz mit Mineralfaserdämmung
- 14 cm Holzfaserdämmplatten
- 1 cm Putz

Alternativ kann auch statt des Putzes die Holzschalung wieder angebracht werden.



Quelle: Hottgenrothsoftware

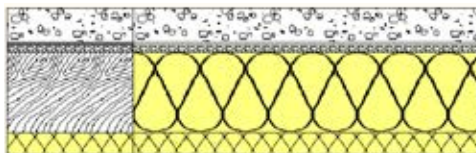
Die Sanierung verbessert den U-Wert der Wand von 0,4 W/(m²K) auf 0,15 W/(m²K). Dadurch wird der Passivhausstandard erreicht. Die Frostgrenze liegt im Bereich der Außenwanddämmung, somit wird die Bausubstanz des Gebäudes nicht beschädigt, wenn die Dämmung vor Feuchte geschützt wird. Daher ist der Anteil an Konstruktionsholz nicht berücksichtigt. Dieser kann vernachlässigt werden, da die Frostgrenze weit in der Dämmschicht liegt.

Dach

Bei dem Sanierungsvorschlag für das Dach handelt es sich um eine Ausführung als Innendämmung. Als Werkstoff wurden, wie bei der Außenwanddämmung

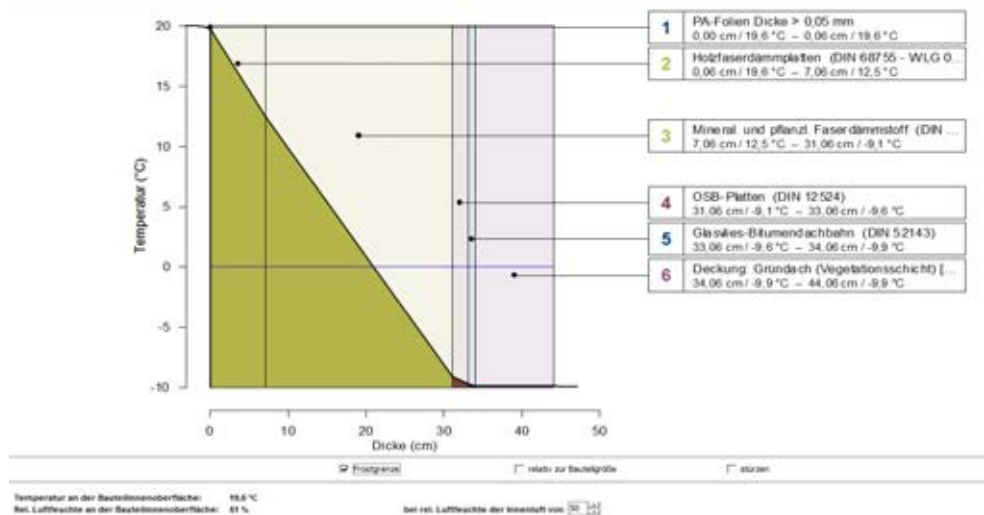
Schichtaufbau

- Extensive Begrünung
- Dachabdichtung
- 2 cm Holzplatte
- 24 cm Holzkonstruktion mit Mineralfaserdämmung
- 7 cm Holzfaserdämmplatte
- Dampfsperre
- Abgehängte Decke



Dämmplatten aus Holzfaserdämmstoff, einem nachwachsenden Rohstoff, gewählt.

Ein positiver Aspekt ist hier der Zeit- und Kostenaufwand, da es nicht erforderlich ist, die extensive Dachbegrünung zu entfernen, um eine nachträgliche Dämmung von außen zu realisieren.



Quelle:
Hottgenrothsoftware

Die Sanierung durch die zusätzliche Wärmedämmung ergibt eine Verbesserung des Dämmwertes von derzeit 0,24 W/(m²K) auf 0,15 W/(m²K). Mit dieser Verbesserung des Dämmwertes wird, neben dem Erreichen der Grenzwerte des Passivhausstandards für Dachkonstruktionen, zusätzlich der ökologische Fußabdruck verbessert.

Fenster und Türen

Um einen Passivhaus-Standard zu erreichen, bedarf es auch eines Austausches der Vorhandenen Fenster und Türen inklusive Rahmen. Die Verbauten, 2-fach wärmeschutzverglasten Fenster, müssten durch 3-fach Wärmeschutzverglaste Fenster ersetzt werden. Als Rahmen sind Passivhausrahmen anzunehmen, statt der eingebauten Kunststoffrahmen. Diese Maßnahme würde den vorhandenen U-Wert von 1,5 W/(m²K) auf unter 0,8 W/(m²K) je Fenster senken. Denselben Wert von 0,8 W/(m²K) erreicht man auch beim Austausch der Türen.

5.5 Ökobilanz

Für die Sanierung des Gartenhauses werden 2 Varianten vorgeschlagen. Beide Varianten erzielen die gleiche energetische Qualität, nur gibt es zwischen beiden ökologische und bauliche Unterschiede. Für die ökologische Betrachtung werden Holzfaserdämmplatten und PIR/PUR Hartschaumplatten (Polyisocyanurate/Polyurethan) verglichen. Ökologische Vorteile liegen bei den Holzfaserdämmplatten, da diese aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigt werden und nur einen geringen Wasserverbrauch bei der Fertigung haben. PIR/PUR Hartschaumplatten werden chemisch mit einem höheren Aufwand hergestellt und verbrauchen das 160-fache an Wasser als Holzfaserdämmplatten. Nachteilig an den Holzfaserdämmplatten wirkt sich die höhere Wärmeleitfähigkeit aus. Eine Holzfaserdämmung muss daher dicker aufgetragen werden als eine Hartschaumdämmung. Die Werte sind im Anhang unter 6.3.3 aufgeführt.

Sanierungsbeispiel bei einem U-Wert von 0,15 W/m²k

	Holzfaserdämmplatte	PIR/PUR Hartschaumplatte
Lambda-Wert	0,035 W/m*K	0,024 W/m*K
Dämmstoff-Dicke	14 cm	10 cm
Wand-Dicke	41,60 cm	37,60 cm

5.6 Sommerlicher Wärmeschutz

Für diese Berechnung ist es notwendig, für den jeweiligen Raum die Flächen zu ermitteln.

Klasse 1 Anbau	Flächenermittlung		Fläche
Fensterflächenanteil	Länge =	3,4 m	
	Breite =	1,92 m	
	Fläche = Länge × Breite =	×1	6,528 m ²
	Länge =	3,5 m	
	Breite =	0,48 m	
	Fläche = Länge × Breite =	×1	1,68 m ²
	Gesamt= Fläche 1 + Fläche 2		8,208 m ²
Grundfläche	Länge =	9,24 m	
	Breite =	6,32 m	
	Fläche = Länge × Breite =		58,4 m ²
Deckenfläche	Deckenfläche= Grundfläche		58,4 m ²
Außenwandfläche	Länge=	9,24 m	
	Breite=	3,05 m	
	Fläche = Länge × Breite =		28,182 m ²
	Länge=	6,32 m	
	Breite=	3,05	
	Fläche = Länge × Breite =		19,276 m ²
	Gesamt= Fläche 1 + Fläche 2		47,458 m ²

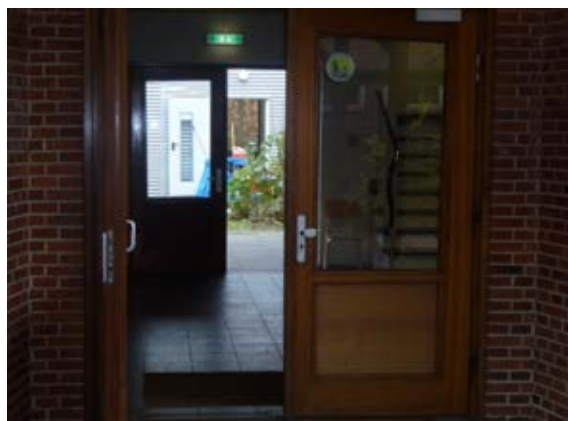
Vorhandener Sonneneintragskennwert S		
Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche		
Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs	$A_W =$	8,208 m ²
Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs	$A_G =$	58,4 m ²
Summe der wärmeübertragenden Dach- und Deckenfläche	$A_D =$	58,4 m ²
Fassaden- und Verglasungswerte		
Fassade 1: Außenwandfläche:	$A_{AW} =$	47,458m ²
Fensterfläche der betrachteten Außenwandfläche e:	$A_W =$	8,208 m ²
Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 4102 oder Herstellerangabe	$g =$	0,65 m ²
Markise	$F_c =$	0,5
g-Wert der 2- Fach Verglasung ohne Wärmeschutz		
$g_{total} = g * F_c = 0,5 * 1,0$	$g_{total} =$	0,5
Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S		
$S = \frac{\sum_i (A_i * g_i)}{A_g} \quad S = \sum_j \frac{(8,208m^2 \times 0,5)}{58,4m^2} = S =$		0,07

Zulässiger Sonneneintragskennwert Szul	
Anteilige Sonneneintragskennwerte Sx	
Gebäudelage, Bauart	Wert Sx
Klimaregion	siehe Tabelle 6
Gebäude in Klimaregion A	+ 0,040
Bauart	siehe Tabelle 9
Gewählt: schwere Bauart $C_{\text{Wirk}} / AG > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ $+0,115 \times f_{\text{gew}}$ $f_{\text{gew}} = \frac{(A_{\text{w}} + 0,3 \times A_{\text{Aw}} + 0,1 \times A_{\text{D}})}{AG}$ $\frac{(8,208\text{m}^2 + 0,3 \times 47,458\text{m}^2 + 0,1 \times 58,4\text{m}^2)}{58,4\text{m}^2} = 0,48$	+ 0,0552
Berechnung des zulässigen Höchstwertes Szul	
$S_{\text{zul}} = \sum S_{\text{x}} = 0,040 + 0,0552$ $S_{\text{zul}} =$	0,0952
Anforderung	
Der vorhandene Sonneneintragskennwert S darf den zulässigen Höchstwert Szul nicht überschreiten.	
Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes	
Ergebnis: $S = 0,07 < 0,092 = S_{\text{zul}}$ Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht.	

5. Nutzerverhalten

Vor Beginn der Projektwoche haben die Schüler und Schülerinnen des Wahlpflichtkurses "Grüne Käte" bereits das Nutzerverhalten der Schüler und Schülerinnen der Käte-Lassen-Schule untersucht. Das Ergebnis dieser Recherche deckt sich mit dem, was während der Gebäudebestandsaufnahme an der Schule anzutreffen war.

Ein Hauptbereich des zu hohen Energiebedarfs der Schule ist das ineffiziente Heizverhalten. Zum Zeitpunkt der Bestandsaufnahme und Gebäudeanalyse waren trotz mäßiger Außentemperaturen sämtliche Heizkörperthermostate auf die höchste Heizstufe eingestellt. Durch ständig geöffnete Eingangstüren und Fenster wird der Heizenergieverlust zusätzlich vergrößert. In wenig genutzten Unterrichtsräumen sowie den Fluren wird ebenfalls auf höchster Stufe geheizt, obwohl dies nicht notwendig ist. Den Schülern des Wahlpflichtkurses ist zudem aufgefallen, dass Fenster oftmals nach Schulschluss nicht verschlossen werden.



Bilder nach Schulschluss

Ein weiterer Punkt des hohen Energiebedarfs der Käte-Lassen-Schule ist u.a. der Stromverbrauch. In vielen Räumen wird nach Verlassen des Raumes die Beleuchtung nicht abgeschaltet, so dass ein unnötiger Stromverbrauch von teilweise mehreren Stunden entsteht. Auf den Fluren ist während des gesamten Schulbetriebes die Beleuchtung dauerhaft eingeschaltet. Die Außenbeleuchtung an den überdachten Zwischengängen zum Trakt 1 und 2 ist ebenfalls dauerhaft eingeschaltet und die Nachtabstaltung der Außenbeleuchtung setzt erst um 1:00 Uhr ein.

6. Anhang

6.1 Hauptgebäude - Tabelle U-Werte Fenster und Türen im Detail

Fenster	U-Wert
Hauptgebäude Kellergeschoss Nord x4	2,9 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Nord x4	2,67 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Nord x1	5,08 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellertür Nord x1	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x7	2,96 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x1	2,74 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x2	2,71 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x3	5,12 W/(m ² *k)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x2	1,65 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x1	4,45 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x1	4,45W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x1	2,60W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x2	3,50W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x2	3,50W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x3	3,50W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x1	3,50W/(m ² *K)
Hauptgebäude Dach Hausmeisterwohnung Nord x2	1,90 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Dach Hausmeisterwohnung Nord x1	2,77 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1+2 Obergeschoss Nord x14	3,02 W/(m ² *K)

Fenster	<u>U-Wert</u>
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Nord x1	2,51 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Nord x4	1,93 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Nord x3	1,82 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Nord x2	1,84 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Nord x4	2,67 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Nord x1	5,08 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellertür Nord x1	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x7	2,96 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x1	2,74 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x2	2,71 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x3	5,12 W/(m ² *k)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x2	1,65 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x1	4,45 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Nord x1	4,45 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x1	2,60 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x2	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x2	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x3	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Nord x1	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Dach Hausmeisterwohnung Nord x2	1,90 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Dach Hausmeisterwohnung Nord x1	2,77 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1+2 Obergeschoss Nord x14	3,02 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Nord x1	2,51 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Nord x4	1,93 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Ost x1	2,92 W/(m ² *K)

Fenster	U-Wert
Hauptgebäude Erdgeschoss Ost x4	1,82 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Hausmeisterwohnung Ost x1	2,76 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Ost x2	1,88 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Süd x1	2,49 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Süd x3	4,72 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Süd x1	2,95 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellergeschoss Süd x8	4,72 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellertür Süd x1	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Kellertür Süd x1	2,80 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Süd x2	2,69 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Süd x3	2,67 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Süd x13	2,92 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Süd x1	2,39 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss Süd x1	4,72 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Süd x3	2,60 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Tür Süd x1	3,50 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1 Obergeschoss Süd x7	2,67 W/(m ² *K)
Hauptgebäude 1+2 Obergeschoss Süd x26	2,98 W/(m ² *K)
Hauptgebäude Erdgeschoss West x8	5,08 W/(m ² *K)
Trakt 1	
Trakt 1 Erdgeschoss Nord x16	1,68 W/(m ² *K)
Trakt 1 Tür Nord x2	3,50 W/(m ² *K)
Trakt 1 Obergeschoss Nord x16	1,68 W/(m ² *K)
Trakt 1 Obergeschoss Nord x2	3,08 W/(m ² *K)

Fenster	U-Wert
Trakt 1 Erdgeschoss Süd x16	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 1 Erdgeschoss Süd x2	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 1 Obergeschoss Süd x16	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 1 Obergeschoss Süd x2	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 2	
Trakt 2 Kellergeschoss Nord x3	4,48 W/(m ² *K)
Trakt 2 Erdgeschoss Nord x6	4,48 W/(m ² *K)
Trakt 2 Erdgeschoss Nord x18	1,73 W/(m ² *K)
Trakt 2 Tür Nord x1	3,50 W/(m ² *K)
Trakt 2 Tür Nord x2	3,50 W/(m ² *K)
Trakt 2 Obergeschoss Nord x3	3,07 W/(m ² *K)
Trakt 2 Obergeschoss Nord x18	1,73 W/(m ² *K)
Trakt 2 Obergeschoss Nord x5	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 2 Erdgeschoss Süd x18	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 2 Erdgeschoss Süd x3	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 2 Erdgeschoss Süd x7	4,48 W/(m ² *K)
Trakt 2 Obergeschoss Süd x23	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 2 Obergeschoss Süd x3	3,00 W/(m ² *K)
Trakt 2 Kellergeschoss West x2	4,48 W/(m ² *K)
Trakt 2 Kellertür West x1	3,50W/(m ² *K)
Trakt 2 Erdgeschoss West x3	4,48W/(m ² *K)

6.2 Gartenhaus - Tabelle U-Werte Fenster im Detail

Fenster	U-Wert
Außenfenster Nord 1	1,86 W/(m ² *K)
Außenfenster Nord 2	1,86 W/(m ² *K)
Außenfenster Nord 3	1,76 W/(m ² *K)
Außenfenster Nord 4	1,76 W/(m ² *K)
Außenfenster Nord 5	1,51 W/(m ² *K)
Außenfenster Nord 6	1,51 W/(m ² *K)
Außenfenster Ost 1	1,54 W/(m ² *K)
Außenfenster Ost 2	1,60 W/(m ² *K)
Außenfenster Süd 2	1,88 W/(m ² *K)
Außenfenster Süd 3	2,24 W/(m ² *K)
Außenfenster Süd 4	2,24 W/(m ² *K)
Außenfenster West 1	1,52 W/(m ² *K)
Außenfenster West 2	1,82 W/(m ² *K)
Außenfenster West 3	1,63 W/(m ² *K)
Außenfenster West 4	1,50 W/(m ² *K)
Außenfenster West 5	1,71 W/(m ² *K)

Die Zuordnung der Fenster erfolgt von der jeweiligen Wand von links nach rechts.

Alle Tabellen, Zeichnungen und Fotos vom Anbau wurden selbst erstellt.

*Quelle: <http://www.k-lassen.flensburg.de/>, 16.11.2012, 10:04 Uhr

http://bbs-international.com/webfm_send/442

Bine-Fachbuch, Burkhard Schulze Darup, Energieeffiziente Wohngebäude, 3. Vollständige überarbeitete Auflage, 2012

Bine-Fachbuch, Doris Haas-Arndt, Fred Ranft, Altbau sanieren-Energie sparen, 3. Aktualisierte Auflage

Franz Wosnitza, Hans Gerd Hilgers, Energieeffizienz und Energiemanagement, 2012

6.3.1 Hauptgebäude Screenshots, Varianten und Ökobilanz

6.3.2 Container Screenshots und Varianten

6.3.3 Anbau Screenshots, Varianten und Ökobilanz



R
B
Z

Lokales Bildungs- und
Kompetenznetzwerk Flensburg:

**Planungsbüro nachhaltige
Gebäudesystemtechnik**

Fachschule für Technik und Gestaltung

Gebäudeanalyse Käte-Lassen-Schule

Teil 2

Analyse der Haustechnik
bearbeitet von der Klasse GST11

Käte-Lassen- Schule



Bearbeitet von:

Malte Anderson	Einzelraumregelung, Projektleitung
Stefan Beckmann	Beleuchtung
Sven Dammmüller	Heizlastberechnung
Dennis Drews	Lüftung
Andrej Heidle	KNX
Matthias Speck	Brandschutz
Lukas Reppel	Archibus, PM-Handbuch

In Zusammenarbeit mit: Team GST, Schüler der Käte-Lassen-Schule

Gefördert durch:



Lokales Bildungs- und Kompetenznetzwerk Flensburg:
Planungsbüro nachhaltige Gebäudesystemtechnik
der Fachschule für Technik und Gestaltung



Nachhaltigkeit vordenken

Eine Kooperation der Fachschule für Technik und Gestaltung
mit der Käte-Lassen-Schule Flensburg



Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

in Ihren Händen halten Sie die Ergebnisse der Projektarbeit der Klasse GST11 der Fachschule für Technik und Gestaltung aus Flensburg. Ziel der Aufbaufortbildung für Elektriker und Anlagenmechaniker ist der staatlich geprüfte Techniker, Fachrichtung Gebäudesystemtechnik. Einen hohen Stellenwert im Rahmen der Fortbildung haben Projektwochen, in denen die Schüler, losgelöst von Stundenplan, ein vorformuliertes Themengebiet erschließen und selbstständig ausarbeiten.

In Zusammenarbeit mit der Unterstufe (GST12) wurde die Käte-Lassen-Schule in Flensburg für die Projektarbeit ausgewählt. Die Gebäude der KLS bieten fast alle Facetten der in der Technikerfortbildung vorkommenden fachlichen Inhalte und bietet so beiden Klassenstufen ein umfangreiches Betätigungsfeld. Die Themenschwerpunkte der GST11 liegen in der Ausarbeitung von Einsatzmöglichkeiten diverser Gebäudeautomationssysteme, die ihrerseits eine Energieeinsparung mit der einhergehenden Kostenreduktion bieten. Am Anfang stand die Datenaufnahme der bestehenden Liegenschaft und die Berechnung der Normheizlast im Fokus unserer Arbeit. Ein weiterer Aspekt einer Automation liegt in der Steigerung des Nutzerkomforts. So sind einige unserer Vorschläge nicht nur rein aus ökonomischer Sicht zu betrachten, sondern auch aus ökologischen und soziokulturellen Gesichtspunkten zu bewerten.

In Anlehnung an das Projekt „Grüne Käte“, welches an der KLS im Rahmen eines Wahlpflichtkurses mit breitem Zuspruch angeboten wird, wurden die Ideen und Vorschläge der Schüler aufgegriffen und im Rahmen unserer Möglichkeiten weiter ausgebaut und vertieft. Hervorzuheben sei hier der bereits gänzlich ausgearbeitete Vorschlag der Projektgruppe zur Installation einer Fotovoltaikanlage zur CO₂-neutralen Energiegewinnung. Dieser Beitrag unterstützt das Ziel, die CO₂-Neutralität der Stadt Flensburg bis 2050 zu erreichen, und sollte bei zukünftigen Modernisierungsmaßnahmen Berücksichtigung finden. Unter dem Hauptgesichtspunkt der Vermeidung von CO₂-Emissionen ist es unumgänglich mit der noch Großteils aus fossilen Energieträgern gewonnenen Energie so effizient und sparsam wie möglich umzugehen. Wenn neben den klassischen Modernisierungsmaßnahmen, wie verbesserte Gebäudedämmung und optimal gewählte Baukonstruktionen, der Einsatz von Automationssystemen integriert wird, dann ergibt sich ein selbstregelnder, effizienter und ressourcenschonender Betrieb der Immobilie.

Bereits während der Fortbildung setzt die Fachschule für Technik und Gestaltung mit Erfolg dafür ein, für ihre Schüler ein Projektobjekt im greifbaren Umfeld zu finden. Die Verknüpfung der Auswahl mit anderen Ausbildungsschwerpunkten und auch anderen Ausbildungsteilnehmern besitzen einen großen Stellenwert. Diese Netzwerkarbeit wurde im Jahre 2012 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung ausgezeichnet und gefördert. Anfang 2013 wurde dieses Konzept zusätzlich durch den Rat für Nachhaltige Entwicklung mit dem Qualitätslabel „Werkstatt N“ ausgezeichnet.

Inhaltsverzeichnis

1.	Heizlastberechnung	1
2.	Heizungssteuerung	4
2.1.	Einleitung	4
2.2.	Handlungsfeld Einzelraumregelung	5
2.3.	Technische Ausrüstung	6
2.4.	Zeitmanagement	6
2.5.	Einsparpotentiale durch Einzelraumregelung	7
2.6.	Amortisationsrechnung der Einzelraumregelung	9
2.7.	Alternative Beheizungsmöglichkeiten	9
3.	KNX Gebäudeautomation	11
3.1.	Einleitung	12
3.2.	KNX-Gebäudeautomation der Käte-Lassen-Schule	12
3.3.	Bestandsaufnahme	12
3.3.1.	Trakt 1 und 2	12
3.3.2.	Hauptgebäude	13
3.4.	Empfehlung 1 (Lichtregelung über KNX)	13
3.4.1.	Berechnung der Energieeinsparung mit einer Konstantlichtregelung	15
3.5.	Empfehlung 2 (Visualisierung des Energieverbrauchs)	16
3.6.	Weitere Möglichkeiten, die mit KNX realisiert werden können	16
4.	Beleuchtung	21
4.1.	Einleitung	21
4.2.	Ist-Bestand	22
4.3.	Beispiel der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf	23
4.4.	Modernisierungsvorschlag	23
5.	Brandschutz	26
5.1.	Einleitung	26
5.2.	Zweiter Rettungsweg	27
5.3.	Erster Rettungsweg	29
5.4.	Brandmeldeanlagen	30
5.5.	Fazit	30
6.	CAFM-Software	31
6.1.	Aufgaben einer CAFM-Software	32
6.2.	Archibus an der Käte-Lassen-Schule	34

Inhaltsverzeichnis

7.	Lüftung	38
7.1.	Raumklima und Luftqualität	38
7.2.	Normen und Richtlinien	39
7.3.	Lüftungsarten für Schulen.....	40
7.4.	Lüftung an der Käte-Lassen-Schule	42
7.4.1.	Bauliche Gegebenheiten und Belegung.....	42
7.4.2.	Nutzerverhalten	43
7.5.	IST-Zustände und Verbesserungsvorschläge	44
7.5.1.	Handarbeitsklasse	44
7.5.2.	Klassenraum B4	46
7.6.	Energieeinsparpotenziale	48
7.7.	Kostenbetrachtung	50
7.8.	Fazit	51
8.	Quellenverzeichnis	52
9.	Anhang	

1. Heizlastberechnung

Die Heizlastberechnung bildet die Basis für die wirtschaftliche Dimensionierung der Anlagenkomponenten und für einen optimalen Betrieb einer Heizungsanlage. Dabei wird die Heizlast ermittelt, die im ungünstigsten Fall benötigt wird, um die vom Nutzer gewünschte Raumtemperatur im Gebäude zu gewährleisten. Die Berechnung berücksichtigt hierbei die Lage des Gebäudes sowie die Eigenschaften der wärmeübertragenden Gebäudeumfassungsflächen.

Die computerunterstützte Berechnung¹ erfolgte raumweise nach DIN EN 12831. Die Informationen zur Berechnung der Transmissionswärmeverluste, d.h. Wärmeverluste durch die Bauteile der Gebäudehülle, beziehen sich auf Daten der Klasse GST12, die im Rahmen des gemeinsamen Projektes aufgenommen wurden.

Ergebnis der Heizlastberechnung war zum einen der gemeinsame Anschlusswert der betrachteten Gebäude und zum anderen die Wärmeverluste der einzelnen Räume, die sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten zusammensetzten.

Zur Verdeutlichung der Einsparpotentiale, bezogen auf heutige Anforderungen an die Gebäudehülle, wurden die vorhandenen Gebäude mit Referenzgebäuden nach Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) verglichen (siehe Abbildung 1 und 2).

Die größten Wärmeverluste resultieren aus Wärmeübergängen an den äußeren Bauteilen der Gebäude wie Außenwand, oberste Geschossdecke, Fenster bzw. Türen (blau dargestellt).

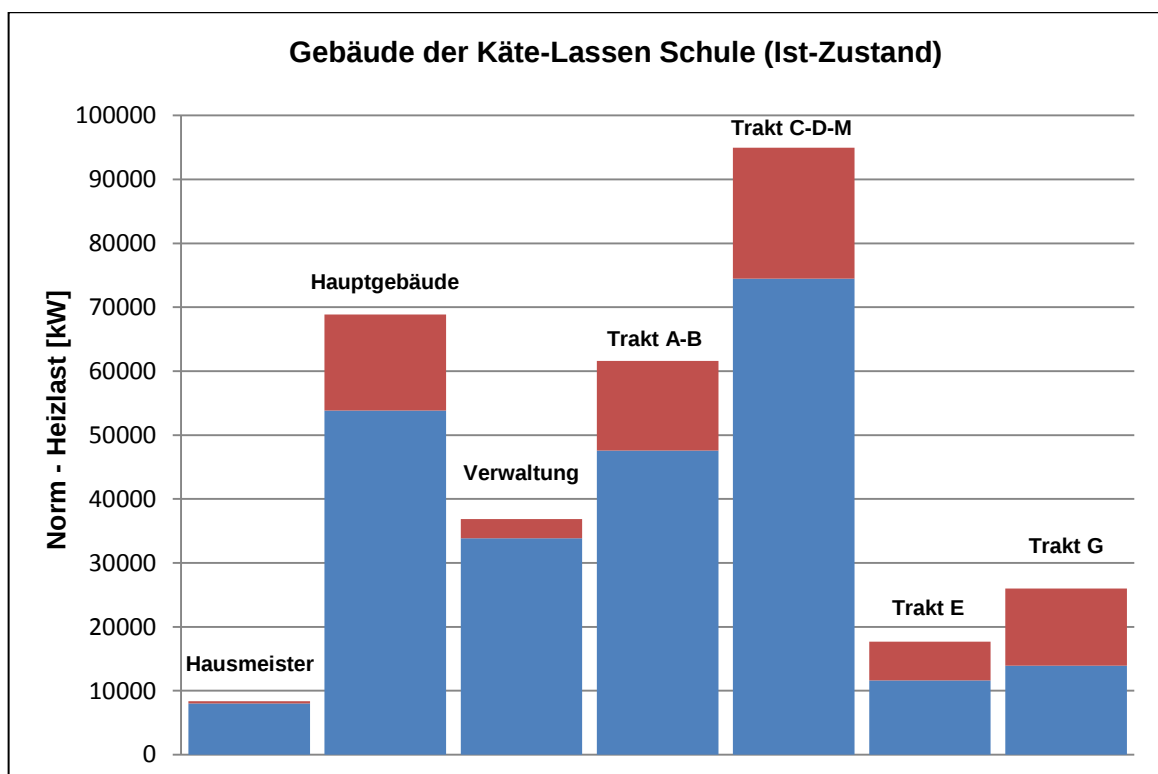


Abb. 1: Wärmeverluste durch ■ Transmission ■ Lüftung

¹ Hottgenroth, Heizlast

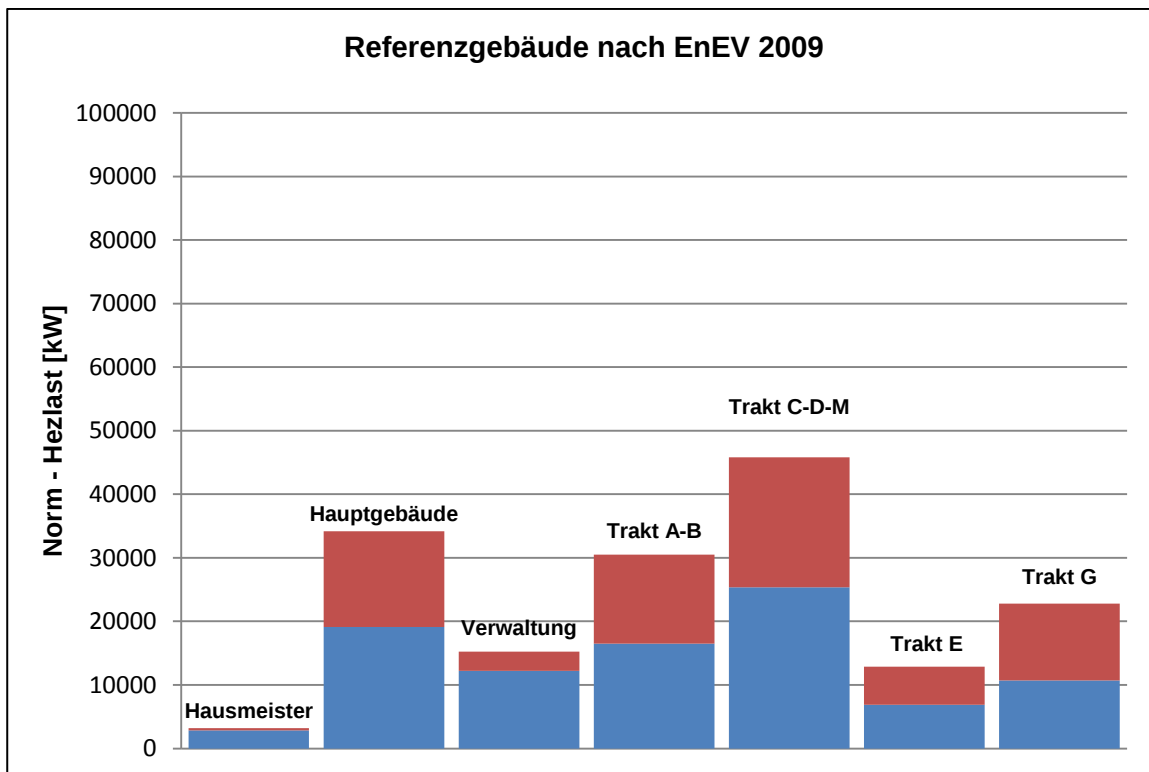


Abb. 2: Wärmeverluste durch ■ Transmission ■ Lüftung

Die Referenzgebäude der Käte-Lassen-Schule benötigen ca. die Hälfte an Wärmeleistung (siehe Abbildung 2). Dies bedeutet im Falle der KLS, dass der Anschlusswert der Schule von 314 kW auf 165 kW sinkt und sich somit die Kosten für den Verbrauch bzw. die Anschlusskosten der Fernwärme verringern.

Gebäude	Wärmeverluste [kW]			
	Bestandsgebäude		Referenzgebäude (EnEV 2009)	
	Transmission	Lüftung	Transmission	Lüftung
Gesamt	243 kW	71 kW	93 kW	71 kW
Norm-Heizlast	314 kW		165 kW	

Tab. 1: Gesamtwärmeverluste der betrachteten Gebäude / Referenzgebäude

Neben der Modernisierung der Gebäudehülle lassen sich auch die Lüftungswärmeverluste (rot dargestellt) durch den Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen im Zusammenhang mit einer Lüftungsanlage reduzieren. Diese Maßnahme würde bei den Bestandsgebäuden energetisch nur eine untergeordnete Rolle spielen, da die Lüftungswärmeverluste ungefähr ein Viertel der gesamten Heizlast ausmachen. Zudem müssen bei der Amortisationsrechnung die Wartung und der zusätzlicher Energieverbrauch berücksichtigt werden.

Die Raumluftqualität in Schulen spielt jedoch eine wichtige Rolle, um ein angemessenes Lernklima zu erreichen (siehe Kapitel 8, Lüftung). Auch die Standardisierung von Passiv- bzw. Niedrigst-Energiegebäuden wird dazu führen, dass sich der relative Anteil der Lüftungswärmeverluste maximieren wird. In diesem Zusammenhang würde sich auch ein

Synergieeffekt mit der bereits geplanten Photovoltaik-Anlage der Käte-Lassen-Schule ergeben, um mit dem eingespeisten Strom die Lüftungsanlage zu betreiben.

Reduzierung der Heizlast durch Modernisierungsmaßnahmen (Beispiel Trakt C-D-M)²

Am Trakt (C-D-M) lässt sich beispielhaft zeigen, wie sich die Heizlast reduziert, indem man z.B. sämtliche Außenfenster und -türen bzw. die oberste Geschossdecke wärmedämmtechnisch der EnEV 2009 anpasst. Der Austausch von Fenstern und Türen würde die Norm-Heizlast von 99,3 W/m² auf 86,9 W/m² senken. Eine Dämmung der obersten Geschossdecke führt zu einer Norm-Heizlast von 87,9 W/m² und beide Maßnahmen zusammen ergeben 75,6 W/m² für den Trakt (C-D-M).

Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Aufbau der Eingabemaske zum Aufnehmen der Maße und Zustandsgrößen eines Raumes.

The screenshot displays the Hottgenroth software interface for a project named 'Käte_Lassen_Schule'. The main window shows a table of building components (Bauteile) for 'Raum : 02 - Klasse 2 (20 °C)'. The table includes columns for component type, area, heat transfer coefficient, and heat loss. Below the table, there are input fields for general component data, geometry, and room results.

Gebäude		Geschosse		Räume		Bauteile													
Nr.	Abz. FL	BT Typ	e/g b/u	θ_u / θ_b °C	e_k / b_u f ₁ / f _{g2}	O	N	n	b	h/l	A	A _{Abzug}	A'	Bauteil-Kennung	U	ΔU_{WB}	U_o / U_{eq}	H _T	Φ_T
1		DA	e	1,00	N	5	1	9,63	6,74	64,9	64,9		64,9	Anbau DA	0,24	0,10	0,34	22,08	662
2		AW	e	1,00	W	90	1	9,63	6,74	18,4	2,0	16,5	Anbau AW	0,40	0,10	0,50	8,24	247	
3		AF	e	1,00	S	90	1	1,01	1,95	2,0	2,0	2,0	Anbau 1,6	1,60	0,10	1,70	3,35	100	
4		AW	e	1,00	S	90	1	9,24	3,52	32,5	10,7	21,8	Anbau AW	0,40	0,10	0,50	10,90	327	
5		AF	e	1,00	S	90	1	3,40	1,92	6,5	6,5	6,5	Anbau 1,88	1,88	0,10	1,98	12,93	388	
6		AF	e	1,00	S	90	1	3,50	0,48	1,7	1,7	1,7	Anbau 2,24	2,24	0,10	2,34	3,93	118	
7		AT	e	1,00	S	90	1	1,10	2,29	2,5	2,5	2,5	Anbau AT2	2,23	0,10	2,33	5,87	176	
8		FB	g	0,38	-	0	1	6,71	9,63	64,7	64,7	64,7	Anbau FB	0,35	0,10	0,21	7,65	230	
9		IW	b	15	N	90	1	9,48	4,11	38,9	2,0	36,9	Anbau IW	3,19		3,19	19,62	588	
10		IT	b	15	N	90	1	1,01	2,02	2,0	2,0	2,0	IT	2,00		2,00	0,68	20	

Allgemeine Bauteildaten

☐ Bauteil ist Abzugsfläche

Bauteil-Typ: **AW - Außenwand**

Angrenzart: **e - extern**

Orientierung (Himmelsrichtung): **W**

Neigung (90° = senkrecht): **90**

Geometrie

☐ Bauteil ist rechteckig (A = b · h)

Anzahl: **1**

Höhe bzw. Länge: **h/l** m

Breite: **b** m

Bruttofläche: **18,4** m²

U-Wert

Bauteil-Kennung: **Anbau AW**

Wärmedurchgangskoeffizient U: **0,40** W/m²K

Korrektur Wärmebrücken ΔU_{WB} : **0,10** W/m²K

Raum - Ergebnisse

02 / Klasse 2

Normintemperatur: **20** °C

Raumfläche: **58,40** m²

Raumvolumen: **201,47** m³

Transmissionswärmeverlust: **Φ_T 2857** W

Lüftungswärmeverlust: **Φ_V 4110** W

Norm-Heizlast: **Φ_{HL} 6967** W

Zusatz - Aufheizleistung: **Φ_{RH} 0** W

Auslegungs-Heizleistung: **Φ_{Ausl} 6967** W

Abb. 3: Screenshot der verwendeten Hottgenroth – Software

² Gebäudeplan siehe Anhang

2. Heizungssteuerung

2.1. Einleitung

Im Stadtgebiet Flensburg werden ca. 98% der Gebäude durch Fernwärme versorgt. Dieses Fernwärmenetz wird durch die Stadtwerke Flensburg betrieben. In dem Heizkraftwerk an der Förde wird durch die Verbrennung von überwiegend Kohle (fossiler Brennstoff) Dampf erzeugt, der Turbinen zur Stromerzeugung antreibt. Die dabei entstehende Wärme wird dem Fernwärmenetz zugeführt. In den Wintermonaten wird das Fernwärmenetz mit Vorlauftemperaturen von 90 °C bis 130 °C betrieben. Wie fast alle Gebäude der Stadt Flensburg (Kommunale Immobilien, kurz: KI) ist auch die Käte-Lassen-Schule an dieses Fernwärmenetz angeschlossen. In der Heizungszentrale, in welcher die Verteiler zu den einzelnen Gebäudetrakten untergebraucht sind, findet die zentrale Regelung der Vorlauftemperaturen statt. Hier wird durch den Einsatz von witterungsgeführten Regelungen eine außentemperaturabhängige Vorlauftemperatur errechnet und durch Mischorgane den Gebäudeteilen zugeführt. Die Vorlauftemperatur errechnet sich i.d.R. aus der aktuellen Außentemperatur. Unter Hinzuziehung einer Heizkurve wird die Vorlauftemperatur ermittelt. Das Ziel ist, die Vorlauftemperatur immer so niedrig wie möglich zu halten, um die Wärmeverluste der Rohrleitungen zu minimieren, die Verbrennungsgefahr an den Heizkörpern zu verhindern und letztendlich Heizkosten einzusparen. Bei dem Verfahren der witterungsgeführten Regelung wird die gemessene Außentemperatur über eine Funktion in eine benötigte Vorlauftemperatur umgerechnet. Je nach Steilheit und Krümmung der voreingestellten Heizkurve ergibt sich eine gleitende Vorlauftemperatur. Diese Art der Regelung ist weit verbreitet, da sie neben dem Mischorgan und dem Regelungsautomaten lediglich einen Außenfühler erfordert.

Um diese Regelungsvariante optimal nutzen zu können, ist allerdings ein gutes Verständnis der örtlichen Gegebenheiten vonnöten. Folgende Komponenten wirken sich erheblich auf die Wirksamkeit einer solchen Anlage aus. Im Einzelnen seien hier zu nennen:

- Außenfühler
- Bauzustand
- Nutzerverhalten
- Bedienfehler

Bei einem Außenfühler handelt es sich um einen temperaturabhängigen Widerstand, der an einer ganztags verschatteten Außenwand montiert sein sollte. Die Wahl des Montageortes ist von entscheidender Bedeutung für die Zuverlässigkeit der Regelung. Äußere Störeinflüsse wie Sonneneinstrahlung, Erwärmung bei Fensterlüftung und Zugluft können zu falschen Messwerten führen und somit eine optimale Regelung verhindern.

Der Bauzustand beeinflusst die Regelbarkeit dahingehend, dass der Wärmebedarf einer Liegenschaft stark von den äußeren Witterungseinflüssen abhängig ist. An Tagen mit stärkerem Wind kann der Wärmebedarf durch die ansteigende, natürliche Luftwechselrate stark ansteigen, was vom Außenfühler nicht erfasst werden kann. Hier entsteht an windigen Tagen eine Unterversorgung, welche über eine Anhebung der Heizkurve ausgeglichen wird. Lässt der Wind (Wärmebedarf) nach, stellt sich eine unnötig hohe Vorlauftemperatur ein. Auch unterschiedliche Dämmstandards innerhalb einer Liegenschaft führen zu einer Überversorgung der besser gedämmten Gebäudeteile.

Als Nutzerverhalten bezeichnet man das Verhalten des Personals, welches die Anlage in erster Instanz betreut. Im Falle der KLS ist ein Hausmeister vor Ort, der Einstellungen an der Heizungsanlage vornimmt. Initiiert werden diese durch eigene Beobachtungen bzw. durch Informationen, die ihm zugetragen werden.

Die Bedienung der Heizungsanlage wird durch eine Vielzahl von Nutzern getätigt. Es sind grobe Zeitfenster programmiert, die lediglich die Nutzungszeiten der KLS widerspiegeln. Auch hier ist die Nutzung zum Zeitpunkt der Programmierung zugrunde gelegt worden. Eine stetige Anpassung erfolgt vermutlich nicht.

Zusammengefasst sind bei der derzeit verwendeten Heizungsregelung diverse Fehlerquellen vorhanden, die in ihrer Summe einen ökologischen und ökonomischen Betrieb stark einschränken können. Um in dieser Konstellation einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen, könnte der Einsatz einer Einzelraumregelung zu einer niedrigeren Vorlauftemperatur führen und den Gesamtbedarf an Heizwärme verringern. Zeitgleich könnte auch das Nutzerempfinden erheblich verbessert werden. Im Folgenden werden die Vorzüge einer Einzelraumregelung hinsichtlich der Reduzierung des Heizwärmebedarf dargestellt. Zugleich steigt der Nutzerkomfort, wie diverse gleichartige Projekte³ an Schulgebäuden gezeigt haben.

2.2. Handlungsfeld Einzelraumregelung (ERR)

Als Beispielobjekt für die Einzelraumregelung wird das Hauptgebäude der Käte-Lassen-Schule herangezogen, da es eine Vielzahl unterschiedlicher Raumtypen bietet, die sich durch unterschiedlichste Nutzungsintensitäten ideal für eine Einzelraumregelung anbieten. Das größte Einsparpotenzial zeigt sich in der individuellen Heizzeiteinstellung der Räume.

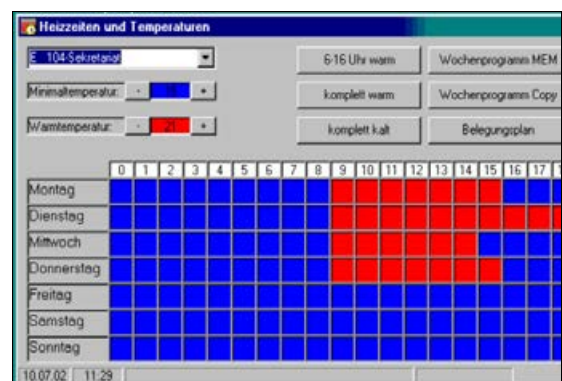


Abb. 4: Belegungsplan

³ <http://f2.hs-hannover.de/organisation/labore/energiesystemtechnik/forschung/projekte/energieeinsparung-mittels-einzelraumregelung/index.htm>

Damit wird sichergestellt, dass die Räumlichkeiten wirklich nur zu den Zeiten beheizt werden, in denen diese auch genutzt werden. Gerade in den unregelmäßig genutzten Unterrichtsräumen im Hauptgebäude (Physik- und Biologielabor) sehen wir erhebliches Einsparpotenzial. Ähnliche bereits realisierte Projekte⁴ zeigen, dass sich im Bereich der Schulgebäude bereits im unsanierten Zustand Heizenergieeinsparungen von 20 bis 30 % erreichen lassen.

Da bei Gebäuden mit Fernwärmebeheizung in den Lieferverträgen eine Anschlussleistung vereinbart ist, kann diese durch eine optimale Anpassung an die Erfordernisse gesenkt werden und somit Kosten eingespart werden. Durch das gleitende Aufheizen des Gebäudes werden Lastspitzen am Morgen reduziert und der Anschlusswert kann gesenkt werden.

2.3. Technische Ausrüstung

Für eine Einzelraumregelung ist ein Austausch der Bedienelemente der Heizkörper erforderlich. Dabei wird der Fühlerkopf gegen einen elektrothermischen oder elektromotorischen Stellantrieb getauscht. Diese Ventilantriebe versorgen sich über den verwendeten Bus mit Spannung und steuern so das Heizkörperventil. Die elektrischen Stellantriebe sind nicht manuell bedienbar und verhindern so den Eingriff durch Unbefugte. Im Hinblick auf den Schulbetrieb ist eine Einhausung dringend erforderlich, um Manipulationen durch Schüler zu verhindern. Im Falle der KLS ist es erforderlich, jeden Heizkörper mit einem Stellantrieb auszustatten. In Einzelfällen ist zu prüfen, ob der Einsatz eines Stellventils in der Strangzuleitung eines Raumes möglich ist. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass ein Eingriff in die Rohrleitung notwendig ist, welcher mit Mehraufwand bei der Installation verbunden ist. Zusätzlich wird je Raum ein Temperaturfühler in der Busleitung montiert. Es gibt bereits etablierte Anbieter, welche eine Einzelraumregelung für öffentliche Gebäude anbieten. In unserer Recherche fanden wir viele Anbieter, die den seriellen Bus RS485 zur Kommunikation nutzen.



Abb. 5: Thermoelektrischer Stellantrieb Fa. Danfoss



Abb. 6: Raumcontroller R44

⁴ <http://f2.hs-hannover.de/organisation/labore/energiesystemtechnik/forschung/projekte/energieeinsparung-mittels-einzelraumregelung/index.htm>

2.4. Zeitmanagement

Gerade im Hinblick auf die Integration in eine vorhandene Unterrichtsplanung bieten Anbieter von Einzelraumregelungen Schnittstellen an, die eine komfortable Integration in bestehende Raumplanungen bieten. Nur wenn eine kontinuierliche Pflege der Belegungspläne erfolgt, kann dieses System optimal zur Heizenergieeinsparung beitragen.

The screenshot shows the 'ETR50-Überblick' software interface. It features a table with columns for room number, room name, warm temperature, setpoint temperature, usage status, room temperature, valve position, module, Uref, and various control icons. The data is as follows:

Nr	Raumname	Warmtemperatur	Spartemperatur	Nutz.	Raumtemperatur	Ventil	Modul	Uref	Fen.	D1	D2
1	Sachkunde	18,0 °C	14,0 °C		18,2 °C			289			
2	Chemie	20,0 °C	13,0 °C		19,8 °C			2CF			
3	Lehrerzimmer	20,0 °C	14,0 °C		20,2 °C			290			
4	Sekretariat	21,0 °C	14,0 °C		21,3 °C			25D			

At the bottom of the interface, there is a status bar showing the date and time (19.04.00 11:56), a message (DFÜ(1:1): Empfang o.k.!), and the mode (Mode: ONLINE). Navigation buttons 'zurück' and 'laufend' are also present.

Abb. 7: Software, RIEcon ETR

Ein weiterer Synergieeffekt ist das Monitoring der Liegenschaft. Hierbei kann durch die Auswertung des Anlagenzustandes und der grafischen Darstellung der erfassten Daten ein guter Überblick gewonnen werden, der weitere Optimierungen erleichtert. So werden Bereiche des Gebäudes, in denen eine nicht notwendige Überversorgung besteht, schnell erkannt. Gerade der östliche Teil des Hauptgebäudes mit den Lehrräumen für Physik, Chemie, Handarbeiten und der Lehrküche werden nicht ganztags benötigt, sodass hier ein engeres Zeitfenster der Beheizung Energie und Kosten einsparen kann. Ebenso können Nutzerbeschwerden leichter nachvollzogen und entsprechend darauf reagiert werden, da jederzeit nachvollzogen werden kann, welche Temperatur in dem entsprechenden Raum vorherrschte. Eine berechtigte Veränderung der Heizzeiten kann dann sofort vorgenommen werden. Sei es für eine begrenzte Anzahl von Terminen oder dauerhaft in dem Raumnutzungsplan.

2.5. Einsparpotenziale durch Einzelraumregelung

Durch die zeitgesteuerte Raumbeheizung wird der entsprechende Raum nur zu Zeiten realer Benutzung beheizt. Die Regeleinheit beginnt rechtzeitig mit der Heizphase und passt sich selbstständig an die physikalischen Gegebenheiten des Gebäudeteils an. Diese sogenannte adaptive Heizzeitenanpassung sorgt so für den optimalen Ein- und Ausschaltzeitpunkt. Der Energieeinspareffekt ergibt sich durch die verringerte Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft. Je höher die Differenz ist, desto höher sind die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes. Wird die Wärmezufuhr in einem Raum, einem Gebäudeteil oder dem gesamten Gebäude in der Absenkezeit abgestellt, muss zu Beginn der nächsten Heizperiode zunächst der eingetretene Wärmeverlust wieder ausgeglichen werden. Da dieser Wärmeverlust im direkten Zusammenhang mit der Temperaturdifferenz (Raumtemperatur zu Außentempe-

ratur) steht, ergibt sich hier ein Teil des gesamten Energieeinsparpotentials. Des Weiteren reduzieren sich auf selbige Weise die Wärmeverluste durch die Rohrleitungen im Heizungsnetz.

Es lassen sich mit einer Einzelraumregelung auch die internen Wärmegewinne durch die Nutzer des Raumes integrieren. Schon eine Person trägt mit etwa 75 Watt Heizleistung zur Raumerwärmung bei. Bei ca. 25 Personen je Unterrichtsraum summiert sich diese auf rund 1,86 kW. Dieser interne Wärmegewinn reicht bei einem nach heutigem Standard gedämmten Gebäude aus, um die Wärmeverluste bis ca. 0 °C Außentemperatur zu kompensieren und die Raumtemperatur konstant zu halten. Auch dieser interne Wärmegewinn wird durch die Einzelraumregelung erfasst und die Wärmezufuhr dementsprechend automatisch angepasst.

Verlässliche Prognosen für die Käte-Lassen-Schule zu erstellen, ohne eingreifende Untersuchungen anzustellen, erwies sich als schwierig. Vergleichbar geartete Fälle von Schulgebäudesanierungen sind durchaus auffindbar, allerdings unterscheidet sich der Ausgangszustand der jeweiligen Gebäudesubstanz erheblich. Häufig werden im Zuge der Sanierungsmaßnahmen nicht nur Einzelraumregelungen installiert, sondern auch umfangreiche Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt. Dadurch lassen sich Einsparungen nur schwer ausschließlich einer Einzelraumregelung zuordnen. Anbieter von Einzelraumregelungen sprechen von Einsparungen von bis zu 30 %⁵ bei alleiniger Installation einer Einzelraumregelung. Unbeeinflusst davon ist der Komfortgewinn der Nutzer und die Vermeidung von Bedienfehlern zu sehen. Ein weiterer erheblicher Vorteil einer Einzelraumregelung ist die Analysemöglichkeiten der Liegenschaft. So kann sichtbar gemacht werden, wie hoch der Energieverbrauch in den einzelnen Gebäudeteilen (Räumen) ist.

Die Kosten für eine Einzelraumregelung werden bestimmt durch die Wahl der Systemkomponenten und den Installationskosten. Je nach örtlichen Gegebenheiten schwanken die Material- und Installationskosten zwischen ca. 400 € bis ca. 700 € je eingebundenem Raum. Im Hauptgebäude der KLS sind ca. 100 Heizkörper in 31 beheizten Räumen installiert, welches ein Investitionsvolumen von 12.400 € - 21.700 € bedeuten würde. Bei der weiteren Kostenrechnung gehen wir von einem Investitionsvolumen von ca. 20.000 € (ca. 650 € je Raum) für die Einzelraumregelung des Hauptgebäudes der Käte-Lassen-Schule aus. Der Trakt 1 beherbergt 8 Räume mit 32 Heizkörpern und der Trakt 2 bietet 14 Räume mit 46 Heizkörpern. Trakt G und E haben zusammen 8 Räume. Zusammengefasst würde sich das Investitionsvolumen der Käte-Lassen-Schule auf ca. 39.400 € belaufen.

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) fördert im Rahmen des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms die Optimierung der Wärmeverteilung im Rahmen bestehender Heizungsanlagen. Dazu zählen im Einzelnen die Analyse des Istzustandes inklusive hydraulischem

⁵ http://www.riedel-at.de//content/index_4.cfm?id_bereich=40&CFID=24758955&CFTOKEN=30511213

Abgleich nach DIN EN 14336, eine Verbesserung der Regelungstechnik sowie der Austausch von Heizungspumpen und Heizkörperventilen. Die Höhe der Förderung beträgt 25 %⁶ der Investitionssumme.

2.6. Amortisationsrechnung der Einzelraumregelung

Die Installation einer Einzelraumregelung entlastet die Umwelt durch eine Verringerung des Wärmeverbrauchs von ca. 30 %. Damit bleibt einerseits der Umwelt im Falle der Käte-Lassen-Schule der Ausstoß von ca. 175 t⁷ CO₂ erspart. Einhergehend mit der Umweltentlastung kommt eine Verringerung der Bezugskosten für Fernwärme gleicher Größenordnung. Eine Amortisation der Investition in eine Einzelraumregelung tritt in dem hier angenommenen Fall nach ca. 4,1 Jahren ein.

Zugrundeliegende Daten: Investitionsvolumen 39.650 €, 560 MWh/a | 3,25 % Preissteigerung p.a.

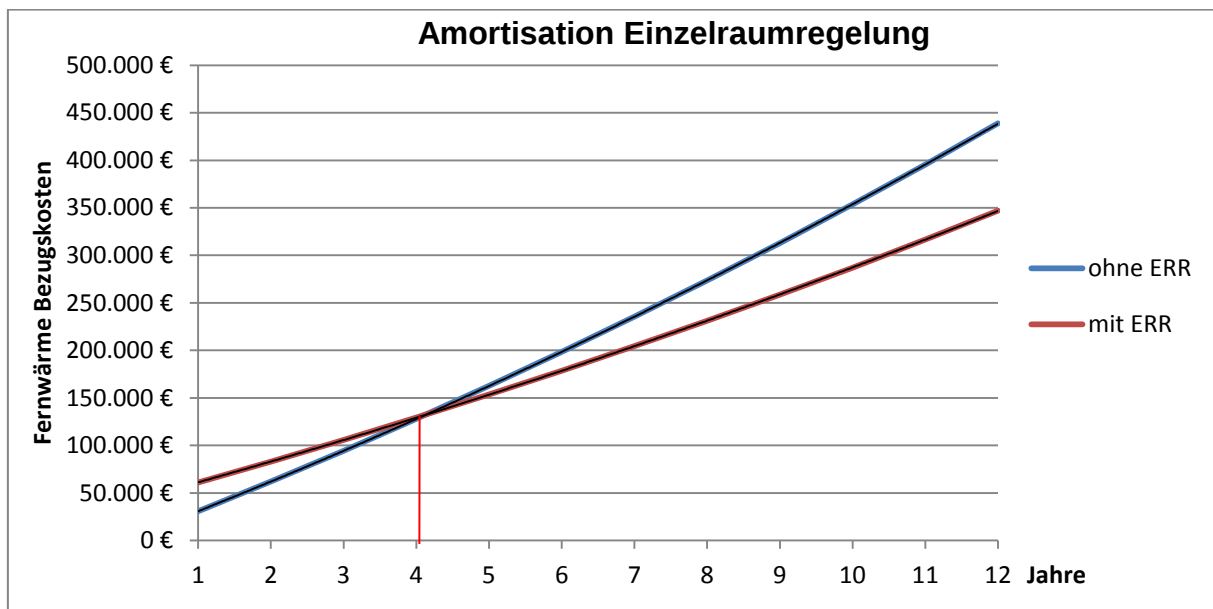


Abb. 8: Amortisationszeit Einzelraumregelung

2.7. Alternative Beheizungsmöglichkeit

Um das Ziel einer CO₂-neutralen Energieversorgung der Stadt Flensburg näher zu kommen, ist der Einsatz regenerativer Energieträger unumgänglich. Holz ist als Brennstoff CO₂-neutral und in Form von Holzpellets ein bequem einsetzbarer Brennstoff. Pellets sind ein heimisches Naturprodukt mit ausgezeichneter CO₂-Bilanz, welche in automatisch beschickten Kesselanlagen einen hohen Komfort bieten. Pelletkessel sind in Leistungsklassen bis 500 kW erhältlich und werden bereits mehrfach in Großobjekten wie Schulen und Verwaltungsgebäuden eingesetzt. Lediglich der Platzbedarf für die Technik ist ein im Vorfeld zu betrachtendes Kriterium. Im Falle der KLS würde sich der bisherige Raum der Übergabestation der Fernwärme als Stellplatz für den Kessel anbieten. Der leerstehende Nebenraum gleicher Größe

⁶ http://www.pfab24.de/files/referenzen/1281/kfw-merkblatt_431.pdf?wid=13

⁷ Q_h=560MWh/a, 313kg CO₂/MWh

könnte zum Lagerraum für die Pellets hergerichtet werden. Beide Räume liegen unterirdisch vor der Südfassade des Hauptgebäudes im Bereich des Parkplatzes. Zur Montage des Kessels ist es nötig, die Decke des Raumes zu öffnen, um die Anlage einzubringen. In Anlehnung an diese Baumaßnahme raten wir, die Decke zu erhöhen, um unter anderem im Bereich des nebenliegenden Pelletlagers eine größere Lagerkapazität zu schaffen.

Der Brennstoff Holz in Pellet-Form ist in 3 Güteklassen unterteilt. Seit 2010 gibt es eine einheitliche Norm für Holzpellets in ganz Europa, die EN 14961-2, die auch als neue DIN-Norm gilt und daher auch als DIN EN 14961-2 bezeichnet wird. Differenziert wird in der EN 14961-2 nur noch in die Klassen A1, A2 und B. Diese unterscheiden sich hauptsächlich durch die verwendeten Rohstoffe und die daraus folgenden Eigenschaften. Neben den sogenannten „DIN-Pellets“ (A1 und A2) gibt es auch „Industriepellets“ (B). Diese werden aus dem selben Rohstoff wie DIN-Pellets hergestellt. Durch größere Fertigungstoleranzen können diese günstiger hergestellt werden. Durch die größere und unterschiedliche Form der Pellets sind sie nicht für Kleinanlagen geeignet, da diese durch ihre kleinere Bauform Probleme bei der Förderung bekommen können.

Der durchschnittliche Heizwärmebedarf der KLS lag in den vergangenen Jahren bei durchschnittlich 130 kWh/m²a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf von durchschnittlich 561,85 MWh. Um diesen Wärmebedarf mit Pellets zu decken, sind ca. 125 t pro Jahr notwendig⁸. Aus logistischen Gründen wird zu einer Bunkergröße von 35 m³ geraten. Die Schüttdichte von Pellets beträgt ca. 0,65 t je m³. Eine Bunkergröße von 35 m³ würde so die gesamte Ladung eines Tanklastzuges aufnehmen können und bietet darüber hinaus noch Reserven.

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert Biomasseanlagen im Bereich von 5 - 100 kW. Eine Förderung der Kesselanlage ist seitens der BAFA nicht möglich⁹.

⁸ Q_h 561MWh/a, η_{Kessel} 93,5%, $Q_{Pellets}$ 4,8kWh/kg Schüttdichte Pellets 0,65t/m³

⁹ http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/biomasse/index.html

3. KNX Gebäudeautomation

3.1. Einleitung

Die Zeiten, in denen fossile Energie rücksichtslos verschwendet wurde, sind endgültig vorbei. Diese Erkenntnis wird uns durch die kontinuierlich steigenden Energiepreise immer bewusster. Das führt dazu, dass neue Wege mit guten Ideen und starken Konzepten beschritten sowie erneuerbare Energien genutzt werden. Einen Beitrag zur effizienten Energieverwendung ist Gebäudeautomation. Um zuverlässige Aussagen über die Verbrauchswerte und die Gesamteffizienz von Gebäuden treffen zu können, muss wissen, wo im Gebäude wie häufig und wie lange Energie genutzt wird. Gebäudeautomation wird somit für das Gebäudemangement zu einem unverzichtbaren Werkzeug.

Bei einer Gebäudeautomation die gewerksübergreifend funktionieren sollte, stehen nicht die Geräte im Mittelpunkt, sondern die Funktionen, die diese Geräte ermöglichen. In der Gebäudeautomation hat sich z. B. das KNX/EIB-System fest etabliert. KNX ist ein weltweiter Standard für Haus- und Gebäudesystemtechnik gemäß EN 50090 und ISO/IEC 14543, der sich bereits seit über 30 Jahren bewährt hat. Mit KNX kann man gewerksübergreifend und bedarfsgerecht Beleuchtung, Heizung, Jalousien, Belüftung und Sicherheitstechnik steuern und überwachen. KNX, ist für öffentliche Gebäude deshalb so interessant, weil es im Vergleich zu vielen anderen Gebäudesystemen relativ ausfallsicher ist. Die Ausfallsicherheit wird dadurch gewährleistet, dass jedes Bauteil eine gewisse „Intelligenz“ aufweist und nicht zentralisiert ist. Bei Ausfall eines KNX-Teilnehmers fällt somit nicht das ganze System aus, sondern nur die einzelne Funktion wodurch ein Totalausfall praktisch unmöglich ist.

Darüber hinaus ist der KNX-Bus so aufgebaut, dass bei Entstehung eines elektrischen Kurzschlusses nicht die komplette Bus-Leitung ausfällt, sondern nur die Linie, in der der Kurzschluss aufgetreten ist. Alle anderen Linien bleiben in ihrer Funktion unbeeinträchtigt. Ein weiterer Vorteil von KNX ist, dass es viele Produkthersteller gibt, die KNX-Systembauteile bauen und vertreiben, wodurch die Ersatzteilverfügbarkeit bei KNX steigt.

3.2. KNX-Gebäudeautomation der Käte-Lassen-Schule

In dem Projekt „Grüne Käte“, das in der KLS stattfindet, wurde von den Schülern bereits festgestellt, dass der größte Teil der elektrischen Energie auf die Beleuchtung der Schule zurückzuführen ist. Unter anderem stellten die Schüler fest, dass beispielsweise in den Pausengängen die Beleuchtung von morgens bis abends kontinuierlich eingeschaltet ist, auch wenn es draußen ausreichend hell ist oder sich niemand in den Pausengängen befindet. Dies gilt auch für die Flurbeleuchtung: Sie ist immer eingeschaltet, auch wenn die Schüler im Unterricht sind und sich niemand im Flur befindet. Auch während der Pausen, wenn sich keine Schüler im Klassenraum befinden, bleibt häufig das Licht eingeschaltet.

Während der Bestandsaufnahme fiel zudem auf, dass die Beleuchtung der Sport-halle eingeschaltet war, auch wenn die Halle nicht genutzt wurde. Ein anderes Beispiel das von der „Grüne Käte“ als Problem erkannt wurde, sind die Heizkörper, die trotz geöffneter Fenster über längere Zeit in Betrieb sind.

Das alles sind Beispiele dafür, wo in der KLS Energie ohne Nutzen verloren geht, die zudem noch Geld kostet und die Umwelt belastet.

Durch die Größe und die Aufteilung der KLS in verschiedene Gebäudeteile ist es schwer, die unbewusste Energieverschwendung zu kontrollieren.

Eine Gebäudeautomation der KLS könnte eine Möglichkeit darstellen, um das nicht energiebewusste Verhalten in den Griff zu bekommen. Der Energieverbrauch sowie die damit verbundenen Kosten könnten effizient reduziert werden.

3.3. Bestandsaufnahme

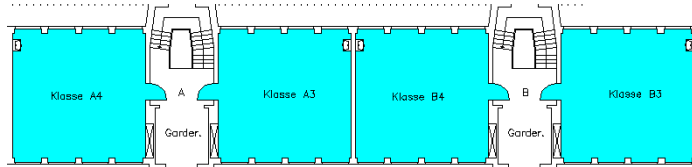
3.3.1. Trakt 1 und 2

Um sinnvolle Vorschläge für die Modernisierung der KLS mit einer KNX-Gebäudesystemtechnik abgeben zu können, wurde eine Bestandsanalyse durchgeführt. Die Bestandsanalyse ergab, dass die Trakte 1 und 2 zum großen Teil schon mit KNX- Gebäudesystemtechnik ausgestattet sind (Abb.8).

Die KNX-Gebäudesystemtechnik in den Trakten ist hauptsächlich auf die Steuerung der Beleuchtung in den Klassenräumen beschränkt. Die Steuerung der Beleuchtung ist in den Klassenräumen in drei Kreise aufgeteilt: Ein Kreis ist für die Tafelbeleuchtung zuständig, die anderen zwei Kreise teilen sich in drei Lichtbänder und stellen die Ausleuchtung des Raumes sicher. Alle drei Beleuchtungskreise sind dimmbar.

In den CAD-Zeichnungen der KLS sind zudem Dali-Module für die Beleuchtung eingezeichnet, was sich bei der Bestandsaufnahme jedoch nicht zweifelsfrei feststellen ließ. Die Komponenten, die der Steuerung der Klassenbeleuchtung über KNX dienen, werden in der abgehängten Decke vermutet.

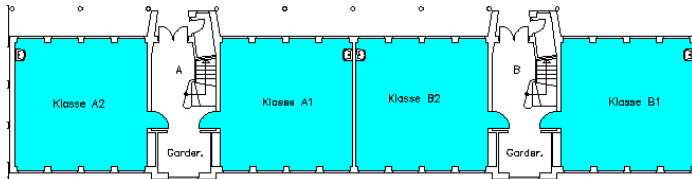
Trakt 1 EG



Ohne KNX-Ausstattung



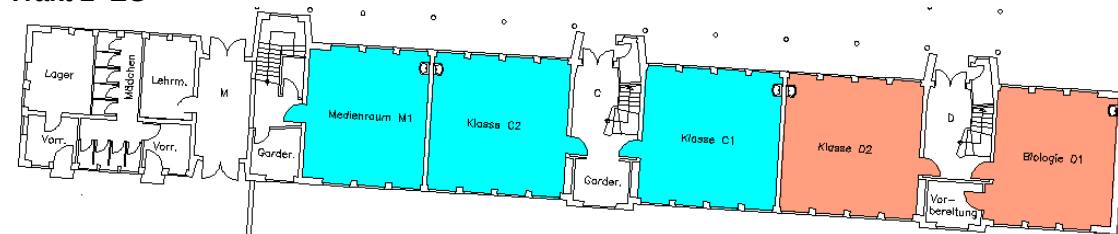
Trakt 1 OG



Mit KNX-Ausstattung



Trakt 2 EG



Trakt 2 OG

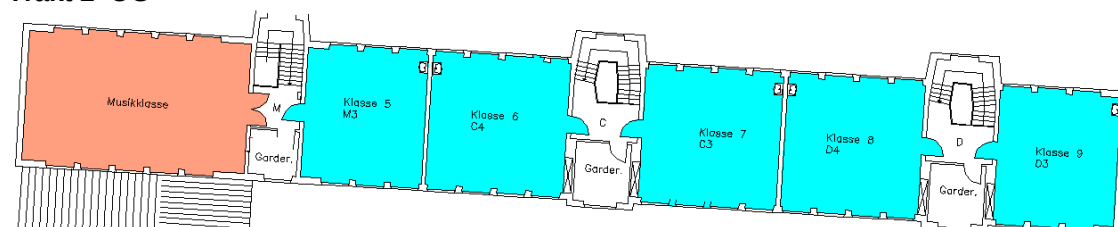


Abb. 9: Grundrisszeichnungen, KNX – Ausstattung der Gebäude

3.3.2. Hauptgebäude

Das Hauptgebäude ist ebenfalls zum Teil mit einer KNX-Gebäudesystemtechnik ausgestattet. Hierzu zählt der Verwaltungsteil, der vor wenigen Jahren modernisiert und deshalb nicht weiter betrachtet wurde. Ebenso wurde die Beleuchtung in der Lehrküche mit KNX realisiert.

3.4. Empfehlung 1 (Lichtregelung über KNX)

Die Lichtregelung sollte für alle Klassenräume sowie für alle Flure in der KLS angewendet werden, um eine Optimierung der Energieeffizienz zu erreichen. In den Trakten, in denen die Klassenraumbeleuchtung bereits mit KNX teilautomatisiert wurde, könnte die Lichtregelung mit nur wenigen zusätzlichen KNX-Systemkomponenten realisiert werden.

Für die Beleuchtung wird die Steuerung über einen Präsenzmelder in Kombination mit einem Tageslichtsensor empfohlen. Die Beleuchtungsregelung über einen Tageslichtsensor wird in Fachkreisen auch als Konstantlichtregelung bezeichnet. Der Vorteil einer Konstantlichtregelung ist, dass sie eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke des Raumes zu jedem Zeitpunkt des Tages realisieren kann.

Mit einer konventionellen Raumbeleuchtung kann man nur begrenzt auf einen sich verändernden Lichteinfall im Raum reagieren, z. B. in dem man manuell einen Teil der Beleuchtung dimmt, was jedoch voraussetzt, dass die Installation der Beleuchtung dies auch zulässt. Der Nachteil dieser Variante ist, dass ständig jemand daran denken muss, die Beleuchtung anzupassen. Wenn manuell eine Anpassung der Beleuchtung stattfindet, ist diese häufig ungleichmäßig und lenkt z. B. Schüler vom Unterricht ab.

Nachfolgend ein weiteres Beispiel, das gegen die manuelle Beleuchtungsregelung spricht. Die DIN EN 12464-1 legt die Anforderungen für die Beleuchtungsstärke von Räumen in Hinblick auf Sehleistung und Komfort fest. Für Unterrichtsräume in Schulen ist eine Beleuchtungsstärke von 300 lux vorgeschrieben. Eine manuelle Regelung auf die geforderte Beleuchtungsstärke ist ohne eine ständige Lux- Messung nicht möglich. Entweder wird die Beleuchtung zu hell eingestellt, wodurch Energie unnötig verschwendet wird, oder die Beleuchtung wird zu dunkel eingestellt, was für die Sehleistung nicht optimal ist. Bei der Konstantlichtregelung geschieht alles automatisch.

Der Lichtsensor an der Decke misst die reflektierte Leuchtdichte von z. B. Schreibtischen und regelt die Beleuchtung auf den eingestellten Wert ein. Der Vorteil einer Konstantlichtregelung ist, dass in Abhängigkeit vom Tageslicht nur so viel Kunstlicht nachgeregelt wird (Abb. 10), wie es erforderlich ist, um z. B. die 300 lux einzuhalten. Der KNX-Präsenzmelder erfasst Personen, die sich im Raum befinden. Erfasst der Präsenzmelder keine Bewegung im Raum, so schaltet er selbstständig die Beleuchtung aus. Der Vorteil von Präsenzmeldern gegenüber Bewegungsmeldern ist, dass der Präsenzmelder schon kleinste Bewegungen erfasst. Dies verringert die Wahrscheinlichkeit, dass die Beleuchtung ausgeht, obwohl sich noch Personen im Raum befinden.

Die Energieeinsparung mit einer KNX-gesteuerten Konstantlichtregelung in Kombination mit einem Präsenzmelder wird von ABB im Vergleich zu einem Referenzgebäude nach DIN V 18599 mit einer manuellen Ein- und Ausschaltung mit bis zu 50 % angegeben. Des Weiteren gibt es eine Studie der Hochschule Biberach, in der die Energieeinsparung einer Konstantlichtregelung mit 25 bis 58 % angegeben wird. Es muss jedoch beachtet werden, dass diese Energieeinsparung nur im optimalen Fall erreicht werden kann. Das Einsparpotenzial ist von vielen Faktoren wie z. B. Raumnutzung, Tageslichtertrag, Raumausrichtung, verwendeter Sonnenschutz usw. abhängig.

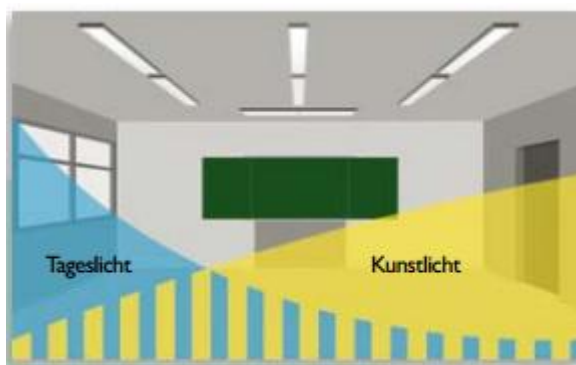


Abb. 10: Konstantlichtregelung

3.4.1. Berechnung der Energieeinsparung mit einer Konstantlichtregelung

Für die Berechnung der Energieeinsparung mit einer Konstantlichtregelung wurde ein Einsparpotenzial von 25 % angenommen. Dieser Wert wird in der Studie der Hochschule Biberach als unterer Mittelwert bei einer KNX-gesteuerten Konstantlichtregelung, angegeben.

Leistung der Beleuchtung in Klassenräumen		
	Leistung je Raum [kW]	Leistung gesamt [kW]
Trakt 1 und 2		
Klasse A1 A2 A3 A4 B1 B2 B3 B4 C1 C2 C3 C4 D3 D4 M1 M3	1,18	18,89
Musikklasse	1,35	1,35
Klasse D1, D2	1,48	2,96
Hauptgebäude		
Physikraum / Chemieraum	0,98	1,96
Lehrküche	1,01	1,01
Zeichenraum / Handarbeitsklasse	1,22	2,44
Gesamtleistung		28,61

Tab. 2

Einsparpotenzial Konstantlichtregelung		
	konventionell	Konstantlichtregelung
Leistung Klassenbeleuchtung [kW] Trakt 1 / 2, Hauptgebäude	28,61	28,61
Leuchtdauer pro Jahr [h]	1.560	25 % weniger
Energieverbrauch pro Jahr [kWh]	44.632	33.474
Bei 25 % Einsparung pro Jahr [kWh]		11.158
CO ₂ Ausstoß pro Jahr [kg] ResidualMix Tarif (384g je kWh)	17.139	12.854
CO ₂ Einsparung [kg]		4.285

Tab. 3: In der Berechnung sind 195 Schultage pro Jahr sowie eine Leuchtdauer von 8 Std. pro Tag zugrunde gelegt worden.

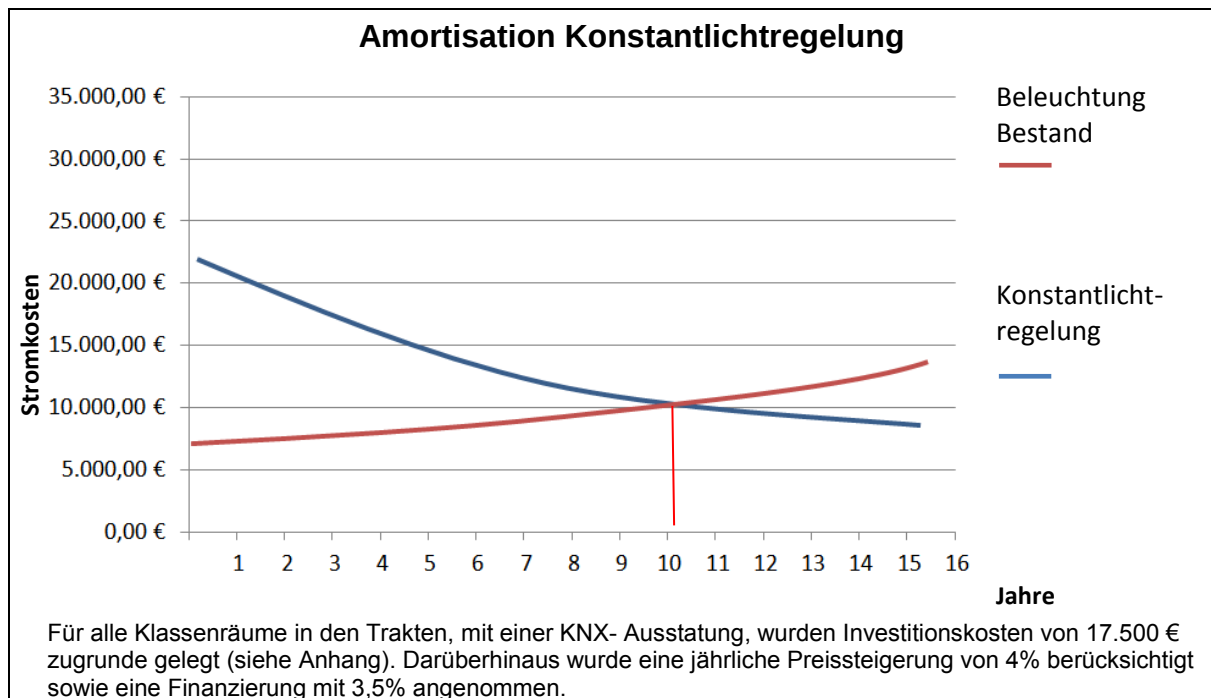


Abb. 11: Amortisationszeit Konstantlichtregelung

3.5. Empfehlung 2 (Visualisierung des Energieverbrauchs)

Die Visualisierung des Energieverbrauchs über einen Monitor, der in der KLS schon vorhanden ist, könnte eine Möglichkeit darstellen, die Schüler schon im frühen Alter für einen bewussten Umgang mit Energie zu sensibilisieren.

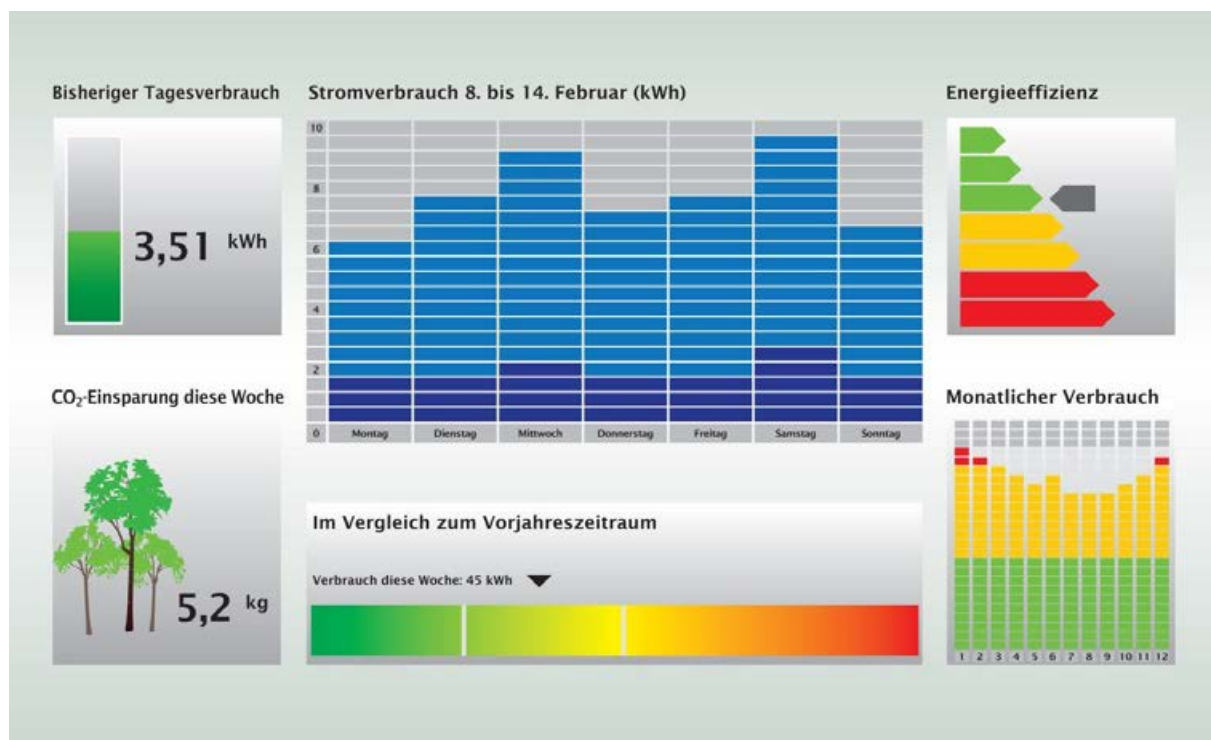


Abb. 12: Visualisierung Energieverbrauch

3.6. Weitere Möglichkeiten, die mit KNX realisiert werden können

Lüftungssteuerung in Abhängigkeit von dem CO₂-Gehalt oder Luftfeuchtigkeit

Die Lüftungsanlage könnte in Abhängigkeit vom CO₂-Gehalt oder von der Luftfeuchtigkeit im Raum den Luftdurchsatz steigern oder senken.

Funktionen zur Einsparung von Heiz- und Kühlenergie

Hierzu gehört z. B. die Einzelraumregelung: Beim Öffnen der Fenster könnten die Heizkörper über Stellventile abgestellt werden. Die voreingestellte Raumtemperatur regelt sich eigenständig über einen Soll-Istwert-Abgleich. Für den Ferienbetrieb könnten zum Beispiel andere Temperaturen vorprogrammiert werden.

Wetterabhängige Jalousiesteuerung

Die Jalousien könnten in Abhängigkeit von Wind oder Sonne gesteuert werden. Vorprogrammierte Einstellungen könnten über einen Tastendruck aktiviert werden, sodass z.B. bei der Projektorbenutzung die Jalousien auf 70 % herunterfahren werden.

Zentral Aus-Funktion

Der Vorteil einer „Zentral-Aus-Funktion“ ist, dass die Beleuchtung oder andere Stromkreise von einer zentralen Stelle aus, beispielsweise des Büros des Hausmeisters, bequem ausgeschaltet werden können. Die „Zentral-Aus-Funktion“ verringert so einen überflüssigen Energieverbrauch über Nacht oder an den Wochenenden.

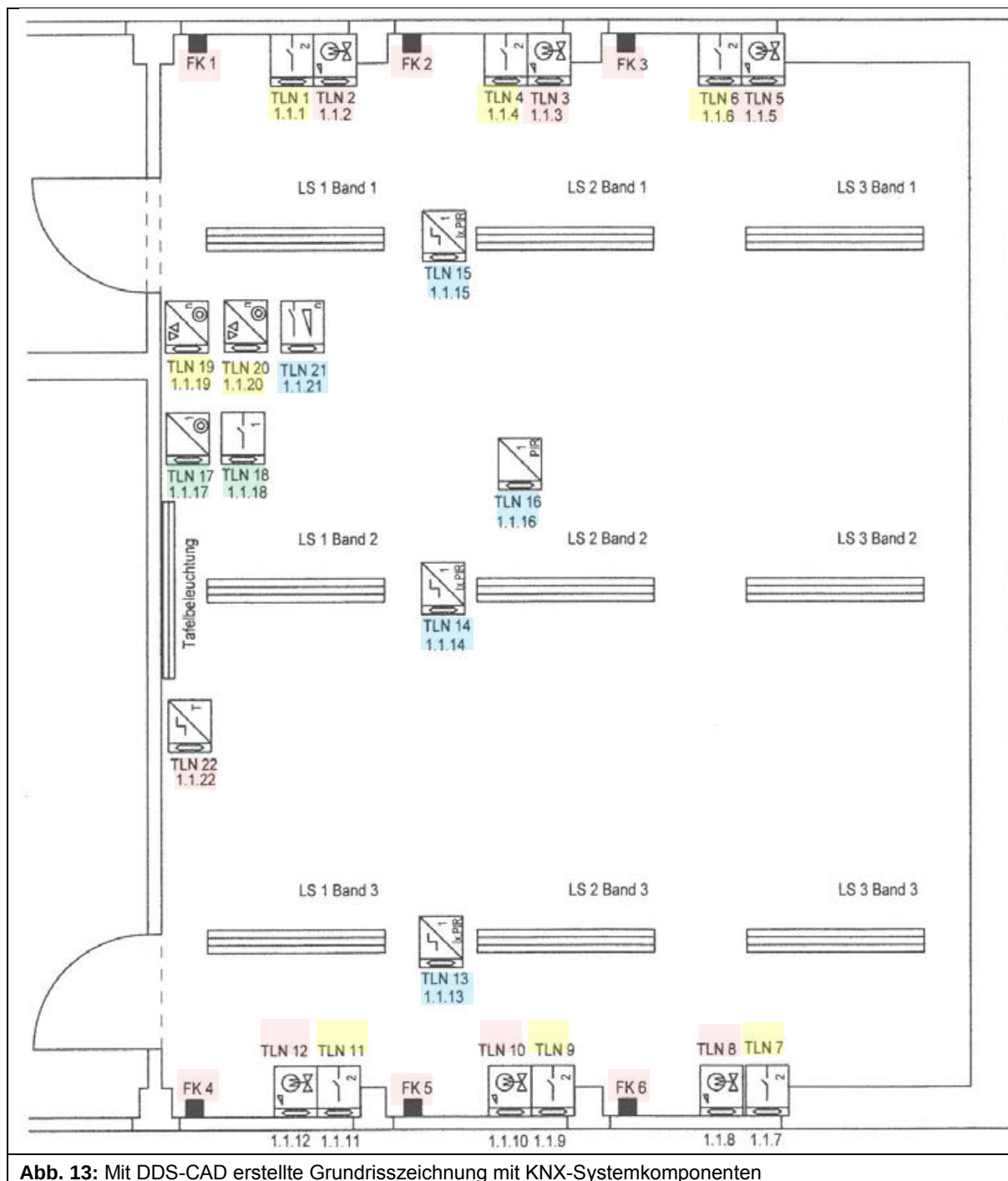
Integration von Sicherheitsfunktionen

Die vorhandenen Sensoren, die von der Alarmanlage in der KLS genutzt werden, könnten ins KNX-System integriert werden. Funktionen wie „Paniklicht einschalten im ganzen Gebäude“ könnten aktiviert werden, z. B. beim Öffnen eines Fensters nach 24 Uhr oder wenn Bewegungen erfasst werden.

Erfassung von Zählerständen

Zählerstände könnten erfasst und automatisch weitergeleitet werden, z. B. an die Stadtverwaltung.

Beispielplanung: Physikraum mit KNX-Gebäudesystemtechnik



- Tafelbeleuchtung
- Konstantlichtregelung
- Jalousiesteuerung
- Einzelraumregelung

Beispielplanung: Physik Raum / benötigte KNX-Systemkomponente

Tafelbeleuchtung

TLN 17 Taster 1-fach

TLN 18 Aktor 1-fach

Konstantlichtregelung

TLN 13 Lichtsensor (Band 3)

TLN 14 Lichtsensor (Band 2)

TLN 15 Lichtsensor (Band 1)

TLN 16 Präsenzmelder

TLN 21 KNX oder DALI Dimmaktor 4-fach

Einbau in der abgehängten Decke oder in der Verteilung möglich

Einzelraumregelung

TLN 2, 3, 5, 8,10, 12 Stellantriebe für Heizkörper

FK 1, 2, 3, 4, 5, 6 Fensterkontakte

TLN 22 Raumthermostat

TLN 23 Binäreingang 2-fach für (Fensterkontakte)

Jalousiesteuerung

TLN 1, 4, 6 Aktoren 2-fach (Fenster Links)

TLN 7, 9, 11 Aktoren 2-fach (Fenster Rechts)

TLN 19 Jalousietaster (Fenster Links)

TLN 20 Jalousietaster (Fenster Rechts)

Weitere KNX Systemkomponente die benötigt werden

Spannungsversorgung

Linienkoppler / Bereichskoppler

Beispielplanung: Physik Raum / KNX-Topologie

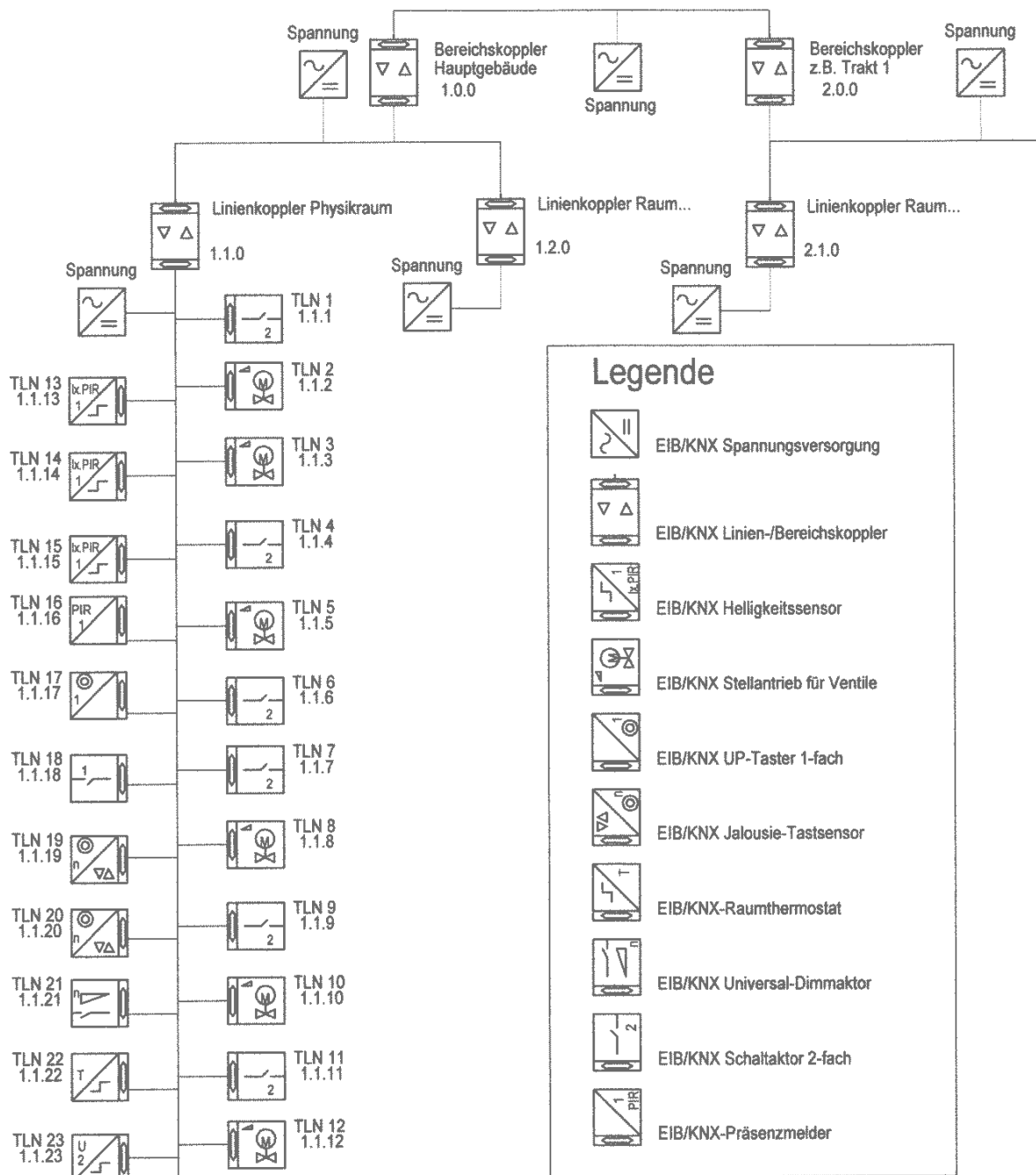


Abb. 14: KNX-Topologie erstellt mit DDS-CAD

Die KNX-Topologie ermöglicht alle vorhandenen Teilnehmer im KNX-System übersichtlich darzustellen.

4. Beleuchtung

4.1. Einleitung

An eine gute Beleuchtung wird die Erwartungshaltung gestellt, dass die Räume eine unge störte Kommunikation ermöglichen müssen. Raum und Beleuchtung sollten so gestaltet werden, dass die Außenwelt, der Raum, die Ein- und Ausgänge aber auch die Aktivitäten anderer gut zu beobachten sind. Diese Informationen schaffen Vertrautheit, Repräsentation sowie die Wahrung des Selbstwertgefühls. Grundsätzlich erhöht eine gute Beleuchtung den Sehkomfort, verbessert die Arbeitsqualität, verringert die Fehlerhäufigkeit und vermindert vorzeitige Ermüdung. Folgende visuelle Bedürfnisse werden an die Beleuchtung gestellt.

Die Sehleistung soll die Sehaufgaben arbeitender Menschen auf längerer Zeit und unter schwierigen Umständen ermöglichen. Sehaufgaben unterscheiden sich durch die Dauer der Seharbeit, die gewünschte Sicherheit des Erkennens, die Geschwindigkeit mit der die Sehaufgabe wahrgenommen werden soll und die Größe der auftretenden Leuchtdichte und der Farbkontraste.

Der Sehkomfort wird beeinflusst durch die Formen, Farben und weiteren gestalterischen Elementen des Raumes und unterstützt dadurch das Denken, das Handeln und das Wohlbefinden.

Gütemerkmale einer guten Beleuchtung sind neben der erforderlichen Beleuchtungsstärke die Lichtverteilung, Tageslicht, Flimmern, Lichtrichtung, Lichtfarbe und Farbwiedergabe und die Direkt/ Reflexblendung. Durch die Einhaltung möglichst vieler Gütemerkmale kann eine Beleuchtungsanlage den gestellten Anforderungen genüge tun.

Die Beleuchtungsstärke ist ein wichtiger Planungswert, da sie über Art und Anzahl der einzusetzenden Lampen und Leuchten den Energieaufwand für die Beleuchtung beeinflusst.

4.2. Bestand

Da der Klimaschutz im Fokus der Stadt Flensburg steht, liegt es nahe, die Beleuchtung in den Klassenräumen, der Sporthalle, der Treppenhäuser und die Außenbeleuchtung zu modernisieren. Allerdings müssen bei der Modernisierung aktuelle Normen und die Energieeinsparverordnung EnEV 2009 berücksichtigt werden. Da die Käte-Lassen-Schule schon aus etwas älteren Gebäuden besteht (Baujahr 1957), entsteht hier ein Einsparpotential und gleichzeitig eine Verbesserung der Lichtqualität.

In den Trakten 1 und 2 sind in den Klassenräumen die Deckenleuchten (1xT16, 49W) mit EVGs (elektronischen Vorschaltgeräten) erneuert worden, da diese über ein Bussystem gesteuert werden.

Derzeit sind in den Klassenräumen des Hauptgebäudes überwiegend Deckenleuchten mit herkömmlichen Leuchtstoffröhren montiert. Einige sind mit EVGs und andere noch mit KVGs (Drosselspulen) ausgestattet.



Abb. 15: Physikraum



Abb. 16: Zeichenraum

Im Physikraum (Abb.15) wurde die Deckenbeleuchtung vor Jahren erneuert. Hier sind Rasterleuchten mit KVGs und EVGs montiert. Die Leuchten mit EVG können vom Lehrertisch aus gedimmt werden.

Im Zeichenraum (Abb.16) fand noch keine Modernisierung der Deckenleuchten statt. Hier sind weiterhin Wannenleuchten (9 St. a 2x58 W; 1 St. a 1x58 W) montiert. Diese Leuchten entsprechen nicht mehr dem heutigen energetischen Standard.

Daher ist unser Vorschlag, die Deckenleuchten in den Klassenräumen gegen stromsparende Leuchten auszutauschen, denn im Fachklassenraum müssen Lehrer und Schüler nicht nur angenehmes Licht haben, sondern auch gut sehen können. Darum ist hier auch ein Beleuchtungsniveau von 500 Lux erforderlich.

4.3. Beispiel der Universitätsklinik Hamburg- Eppendorf

Auch die Forschung beschäftigt sich mit dem Thema Licht in Klassenräumen. So war die Fragestellung einer Studie der Universitätsklinik Hamburg- Eppendorf¹⁰ mit Unterstützung eines Lampenherstellers „Ob Licht auch gezielt eingesetzt werden kann, um das Lernverhalten von Schülern im Unterricht zu beeinflussen.“ Ergebnis der Studie: Aufmerksamkeit und Konzentration als auch die Unruhe von Schülern ließen sich durch den gezielten Einsatz des richtigen Lichts positiv und signifikant beeinflussen. Somit konnte die Lesegeschwindigkeit verbessert und die Fehlerhäufigkeit gesenkt werden.

Dies ermöglicht eine intelligente Lichtsteuerung, die die Intensität der Beleuchtung sowie die Lichtfarbe zwischen warmweiß und kaltweiß regelt. Das Licht wirkt je nach Mischung aktivierend oder beruhigend.

In einer Hamburger Schule wurden die Klassenräume mit einer Beleuchtungsanlage für dynamisches Licht ausgestattet. Hier wurden Leuchten installiert, deren Beleuchtungsstärke sowie Farbtemperatur an die Arbeitsaufgaben angepasst werden konnten. Via Knopfdruck konnte der Lehrer zwischen den Szenarien „Standard“, „Aktivieren“, „Konzentriertes Arbeiten“ und „Beruhigen“ wählen, um so die jeweils passende Lichtstimmung zu erzeugen. Ergebnis der Studie: Lesegeschwindigkeit stieg um 35 %, Fehlerhäufigkeit sank um 45 % und die motorische Unruhe sich um 76 % verringerte.

4.4. Modernisierungsvorschlag

Diese Deckenleuchten zur Erzeugung des dynamischen Lichtes können an das vorhandene Bussystem angeschlossen werden, um eine tageslichtabhängige Regelfunktion aber auch eine Anwesenheitserfassung ausführen. Die Anwesenheitsfunktion erfolgt über einen Präsenzmelder mit einer Automatik/Semiautomatik.

Deckenbeleuchtung ¹¹ Klassenräume		TRILUX Valuco Act D-UXP33549 (35W) EDD
Tafelbeleuchtung ¹²		TRILUX 5041RAV-L354980 (80W) E Rasteran- bauleuchten 504

Tab. 4: Klassenraumbeleuchtung

¹⁰ [http://www.uke.de/kliniken/kinderpsychiatrie/downloads_intranet/klinik-psychiatrie-psychotherapie-kindesjugendalter/ErgebnisberichtDL_7\(1\).pdf](http://www.uke.de/kliniken/kinderpsychiatrie/downloads_intranet/klinik-psychiatrie-psychotherapie-kindesjugendalter/ErgebnisberichtDL_7(1).pdf)

¹¹ http://media.luxoworks.com/product_datasheets/de/trilux/valucoact-d-uxp/trilux_valucoact-d-uxp-335-49-edd-lgc_5892007_de.pdf, gesehen 19.01.2013

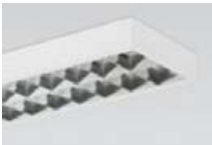
¹² Software DIALUX (Plug- In Firma Trilux)

Beide Funktionen führen bei Abwesenheit zur Abschaltung der Beleuchtung.

Der Tageslichtsensor erfasst wie viel Tageslicht zur Verfügung steht und dimmt so die Leistung der Leuchten. Somit müssen die Deckenleuchten bei Gebrauch von geringem Lichtvolumen nicht mit ihrer vollen Leistung leuchten.

Allein durch die Benutzung eines Präsenzmelders und eines Tageslichtsensors in den Klassenräumen, lässt sich der Energieverbrauch der Schule senken und somit auch der CO₂-Gehalt der Stadt Flensburg.

Nicht nur in den Klassenräumen sollten die Leuchten modernisiert werden, sondern auch auf den Fluren des Hauptgebäudes und in den Trakten 1 und 2 (Tab.5). Gleichzeitig ist es sinnvoll, einen Multisensor zu montieren, da am Anfang des Flures zu den Klassenräumen nur ein Ausschalter verbaut ist und somit selten das Licht bei Nichtbenutzung ausgeschaltet wird. So wird auch hier eine Energieeinsparung erzielt. Diese Variante kann auch auf die Wandlampen des Treppenhauses angewendet werden.

Treppenhausbeleuchtung Decke		Siteco 5LP21B72E
Treppenhausbeleuchtung Wand		Siteco 5MD12472H
Multisensor Grundauführung		Siteco 5LZ914001

Tab. 5: Beleuchtung Flur¹³

Ein ähnliches Problem zeigt sich zwischen den Trakten und dem Hauptgebäude mit der Außenbeleuchtung. Momentan ist laut Aussage der Schüler an der Schule die Außenbeleuchtung (15 Leuchten 1x58 W) auch am Tage im Betrieb. Hier kann man über eine Zeitschaltuhr, einen Bewegungsmelder oder auch über einen Dämmerungsschalter die Beleuchtung steuern, um so Energie einzusparen. Dies erfordert einen geringen Zeit- und Materialaufwand. Da die Außenbeleuchtung aus Leuchtstofflampen mit einer Drosselspule besteht, wären Außenleuchten mit Energiesparlampen oder mit LEDs (Tab.6) sinnvoll.

¹³ Lichtwerkzeuge Innenraum 2011-2012, Setico pdf

Außenbeleuchtung Verbindungsgang LED		• Leistungsaufnahme: 39 W • Max. Lichtstrom: 3.010 lm • Leuchtmittel: 602 LEDs • Lebensdauer LED: > 30.000 Std.
---	---	---

Tab. 6: Außenbeleuchtung Verbindungsgang¹⁴

Um die Energiekosten der Schule weiter zu senken, ist die Beleuchtung in der Sporthalle ein großer Faktor. Durch bauliche Konzepte sind Sporthallen meist nur ungenügend mit Tageslicht versorgt. Deshalb ist in der dunklen Jahreszeit und für die Abendstunden künstliche Beleuchtung unerlässlich. In der Käte-Lassen- Schule wird das Sporthallenlicht morgens über einen Schlüsselschalter vom Lehrer eingeschaltet und sollte vom letzten Lehrer am Nachmittag wieder ausgeschaltet werden. Somit ist die Hallenbeleuchtung auch in den Stunden, in denen kein Unterricht stattfindet, in Betrieb. Dieses verursacht unnötige Kosten. Eine energetische Verbesserung der Sporthalle wird erreicht durch eine tageslichtabhängige Regelung und eine Anwesenheitserfassung. Über ein Bussystem werden gespeicherte Sollwerte von 200 lx, 300 lx und 500 lx für Wettkampf und Training unterschiedlicher Sportarten aufgerufen. Außerdem wird so eine Minimierung der Standby- Verluste durch automatisches Abschalten der Spannungsversorgung der Leuchten erreicht. Gleichzeitig sollen sich die Fenster bei Benutzung der Sporthalle nach einer bestimmten Zeit selbstständig zum Lüften öffnen und wieder schließen, um so Heizkosten zu reduzieren.

Die jährliche Einsparung der Beleuchtungsmodernisierung wird an der Käte-Lassen-Schule im Projektbericht der „Grüne Käte“ dargestellt.

¹⁴ shop.solar-pur.de, zugegriffen am 29.11.2012, 14.20 Uhr

5. Brandschutz

5.1. Einleitung

Die Gebäude der Käte-Lassen-Schule wurden 1957 nach den damals gültigen Bauvorschriften errichtet und entsprechen somit nicht den derzeit gültigen Vorschriften der Landesbauordnung (LBO). Aufgrund ihrer rechtskräftigen Baugenehmigungen unterliegen sie zunächst einem Bestandsschutz.

Bezüglich des Brandschutzes heißt es in der Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein: „Anlagen sind so zu planen, anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind; hierbei sind auch die Belange der Menschen mit Behinderungen zu berücksichtigen.“¹⁵

In den Gebäuden hält sich regelmäßig eine große Anzahl von Kindern und Jugendlichen auf, die sich nicht oder nur eingeschränkt selbst retten können. Sollte es zu einem Brand kommen und unter ungünstigen Umständen der Flur oder das Treppenhaus durch Feuer und Rauch unpassierbar werden, ist eine selbstständige und schnelle Flucht aus den Unterrichtsräumen nicht möglich. Durch die teilweise hohe Brandlast¹⁶ in den Unterrichtsräumen kann sich ein Feuer schnell ausbreiten und eine starke Rauchentwicklung zur Folge haben. In einem solchen Fall ist nicht gewährleistet, dass die Zeit, die die Feuerwehr für das Erreichen des Brandortes und die Rettung der Schüler benötigt, ausreichend ist, um alle Schüler zu retten.

Die in Deutschland für den Brandschutz zuständigen Stellen kamen zu dem Schluss, dass bei Unterrichtsräumen wegen der großen Personenzahlen eine Rettung mit Rettungsgeräten der Feuerwehr nicht möglich ist. Deshalb wurde in die Muster - Schulbau - Richtlinie folgende Forderung aufgenommen: „Für jeden Unterrichtsraum müssen in demselben Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege zu Ausgängen ins Freie oder zu notwendigen Treppenräumen vorhanden sein. Anstelle eines dieser Rettungswege darf ein Rettungsweg über Außentreppen ohne Treppenräume, Rettungsbalkone, Terrassen und begehbare Dächer auf das Grundstück führen, wenn dieser Rettungsweg im Brandfall nicht gefährdet ist; dieser Rettungsweg gilt als Ausgang ins Freie.“¹⁷

¹⁵ Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein; 22. Januar 2009; § 15 Brandschutz

¹⁶ Eine Brandlast entsteht durch alle brennbaren Stoffe und gibt die Verbrennungswärme an, die bei der Verbrennung dieser Stoffe entsteht.

¹⁷ Muster - Schulbau - Richtlinie ab 1998; 3.1 Allgemeine Anforderungen für Rettungswege

5.2. Zweiter Rettungsweg

In der Käte-Lassen-Schule verfügt der Verwaltungsbereich im Hauptgebäude über zwei voneinander unabhängige Rettungswege. Im Pavillon, in den Containern und im Kellergeschoss des Hauptgebäudes haben alle Unterrichtsräume zusätzliche Außentüren oder Notausstiegsfenster, die als Ausgang ins Freie gelten.

In Trakt 1 und 2 sowie im EG, 1.OG und 2. OG des Hauptgebäudes fehlt bei allen Unterrichtsräumen der zweite Rettungsweg. Da es für den fehlenden zweiten Rettungsweg in der Regel keinen Bestandsschutz gibt, empfehlen wir, für alle Unterrichtsräume einen zweiten Rettungsweg herzustellen. Dieser kann durch Notausstiege, Außentreppen oder Beipasstüren zwischen den Unterrichtsräumen ohne größere Veränderung der vorhandenen Bausubstanz sichergestellt werden. Um einen Notausstieg herzustellen, muss im jeweiligen Unterrichtsraum eines der vorhandenen abschließbaren Fenster, die mit 0,85 m x 1,20 m eine zu kleine freie Öffnungsfläche haben, durch ein Notausstiegsfenster mit einer freien Öffnungsfläche von mind. 0,90 m x 1,20 m ersetzt werden. Das Notausstiegsfenster muss jederzeit zu öffnen und durch ein Sicherheitszeichen gekennzeichnet sein. Die Brüstungshöhe darf max. 1,20 m betragen. Für die Unterrichtsräume im EG der Trakte ist der Einbau eines Notausstiegsfensters ausreichend, um einen zweiten horizontalen Rettungsweg als Ausgang ins Freie herzustellen.



Abb. 17: Notausstiegsfenster des Werkraums 2 im KG des Hauptgebäudes

Die außen liegenden Unterrichtsräume im OG der Trakte sowie die Unterrichtsräume im EG, 1.OG und 2.OG des Hauptgebäudes benötigen zusätzlich zum Notausstieg eine Außentreppe als vertikalen Rettungsweg. Für die Herstellung einer Außentreppe ohne Treppen-

raum gilt der Grundsatz, dass ihre Nutzung ausreichend sicher sein muss und im Brandfall nicht gefährdet werden kann.

Die Außentreppen können als geradlinige Treppe oder Wendeltreppe (nach DIN 18065) ausgeführt werden. Spindeltreppen sind als Flucht und Rettungsweg in Schulen und Kindergärten nicht zulässig. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung DGUV empfiehlt, Treppen mit geraden Läufen den mit gewendelten Läufen vorzuziehen. Wird die Außentreppe als Wendeltreppe ausgeführt, fordert die DGUV: „In Schulen und Kindertageseinrichtungen muss der Auftritt an der Innenseite mindestens 23 cm und darf in 1,25 m Entfernung nicht größer als 40 cm sein.“¹⁸

Beim Hauptgebäude empfehlen wir die Errichtung einer Außentreppe an der nördlichen Fassade mit Anschluss am EG, 1.OG und 2.OG. Da die als Notausstieg zu verwendenden Fenster eine Brüstungshöhe von 1,50 m haben, sind dort, in Übereinstimmung mit der für den Brandschutz zuständigen Stelle, Trittstufen vor den Fenstern zu montieren.

Um innerhalb des Hauptgebäudes in allen Stockwerken einen zweiten Rettungsweg (< 35 m) herzustellen, empfehlen wir eine Bypassstür im EG zwischen Rektor und Essraum sowie zwei Beipassstüren im 1.OG zwischen Gruppen-, Handarbeits-, und Materialraum einzubauen.



Abb. 18: Geradlinige Treppe



Abb. 19: Wendeltreppe

¹⁸ Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung; GUV – I 561 unter Punkt 4.1

Bei den Trakten empfehlen wir für die vier außen liegenden Unterrichtsräume im 1.OG (Musikraum, A4, B3, D3) jeweils eine Außentreppe an der südlichen Fassade zu errichten.



Abb. 20: Außentreppe

Bei den zwischen den Treppenhäusern liegenden Unterrichtsräumen im 1.OG (A3, B4, M3, C4, C3, D4) ist der Einbau von Bypass Türen (A3 + B4, M3 + C4, C3 + D4) ausreichend, um einen zweiten Rettungsweg (<35 m) herzustellen.

5.3. Erster Rettungsweg

Im Hauptgebäude ist keine raumabschließende Trennung zwischen dem Treppenhaus und den Fluren im EG, 1.OG und 2.OG vorhanden. Sollte es in einem Stockwerk zu einem Brand kommen, kann sich der Rauch über den Flur ins Treppenhaus ausbreiten und den ersten Rettungsweg für die Schüler, die sich in den darüber liegenden Stockwerken aufhalten, unpassierbar machen.

Um eine Trennung zwischen dem notwendigen Treppenraum und den notwendigen Fluren zu gewährleisten, empfehlen wir den Einbau von raumabschließenden Rauchabschlusstüren. Die Türen müssen in Fluchtrichtung des ersten Rettungsweges aufschlagen, selbstschließend sein und dürfen nur durch eine Feststellanlage offengehalten werden, die bei Raucheinwirkung ein selbstständiges Schließen der Tür bewirkt.



Abb. 21: Rauchabschlusstür

5.4. Brandmeldeanlage

In den Gebäuden der Käte-Lassen-Schule ist keine Brandmeldeanlage vorhanden. Um einen Brand und die damit verbundene Rauchentwicklung frühzeitig zu erkennen und eine schnellstmögliche Evakuierung der Gebäude zu gewährleisten, empfehlen wir den Einbau einer flächendeckenden Brandmeldeanlage.

5.5. Fazit

Ziel ist es, dass bei einer Gefahrensituation die Schüler und Lehrkräfte der Käte-Lassen-Schule jederzeit das Gebäude selbstständig und sicher verlassen können.

Dafür sollten alle verantwortlichen Personen versuchen, unter Wahrung der Verhältnismäßigkeit der Mittel, die Gebäude an das aktuell geforderte bauordnungsrechtliche Sicherheitsniveau heranzuführen.

Zeichnungen mit Vorschlägen zum ersten und zweiten Rettungsweg für die Käte-Lassen-Schule befinden sich im Anhang unter dem Punkt Brandschutz.

6. CAFM-Software

Im Zuge der Ausarbeitung für Sanierungsmaßnahmen der Käte Lassen Schule in Flensburg ist die Nutzung eines CAFM-Systems fester Bestandteil der Aufgabe. Als CAFM-Software wurde für dieses Projekt Archibus ausgewählt.

Aufgrund der nahen Zusammenarbeit der Schule mit der Firma RECOS fiel die Wahl des CAFM-Programms schnell auf Archibus-FM. Archibus wurde 1982 in den USA gegründet und ist einer der größten Software Hersteller im CAFM Bereich. Der CAD-Bereich der Software ist dank der engen Zusammenarbeit mit dem namenhaften Software Entwickler Autodesk nahezu zu 100% kompatibel.

CAFM Software (Computer Aided Facility Management) wird in nahezu jedem Großunternehmen genutzt und ist im organisierten Facility Management nicht mehr wegzudenken. Nicht nur Großunternehmen oder Konzerne profitieren von einem CAFM-System, sondern auch Verwaltungen, Dienstleistungsunternehmen oder Schulvereine.

CAFM-Systeme dienen in erster Linie der Optimierung von Arbeitsprozessen, der Reduzierung des Energieverbrauchs und der Betriebs-Kosten in Gebäuden. Das Einbinden der einzelnen Abteilungen, sei es das Sekretariat oder Fremdfirmen, macht ein CAFM-System flexibel. Es erkennt Wartungsintervalle und vergibt selbstständig Aufträge an firmeneigene Abteilungen oder Fremdfirmen. Die Aufträge bleiben nachverfolgbar im System.



Abb. 22: Archibus Startseite mit Individuell anpassbaren Optionsfenstern

Ein CAFM-Programm basiert in den meisten Fällen einer Datenbank auf Excel und/oder CAD-Programmen. Die Oberflächenstruktur ist i.d.R individuell auf den Nutzer und die Firma anpassbar.

Der hohe Preis der CAFM-Programme schreckt in erster Linie viele potenzielle Kunden ab. Doch je größer die Firma ist, desto unumgänglicher ist der Einsatz solch einer Software. Um die Masse der Daten, die ein Firmengebäude produziert, verwalten zu können, ist es von Vorteil, ein strukturiertes Programm mit Datenbank und Kalenderfunktionen zu haben. Diese müssen durchgehend gepflegt werden, um Datenmüll zu vermeiden, damit auch nur die Daten eingebunden werden, die auch genutzt werden. Ein CAFM-System kann Hausmeister und teure Arbeitskräfte in Teilen ersetzen, denn organisatorisch geht alles aus einer Hand, der des Facility Managers. Ein CAFM-System kann durch korrekte Vergabe von Wartungs- und Inspektionsaufträgen, Reinigungsarbeiten und der schnellen Entnahme von Daten bis zu 30% Kosten einsparen.

6.1. Aufgaben einer CAFM-Software

Wie bereits beschrieben, dient ein CAFM-Programm zur Visualisierung und Planung und Verwaltung von Gebäudeinformationen und Gebäudetechnik. Man kann die Software in mehrere Teilbereiche (Module) aufteilen, die alle verschiedene Aufgaben und Funktionen haben. Alle Daten aus den Funktionen lassen sich leicht als Excel Dateien exportieren, damit sie entweder ausgedruckt oder weiter verarbeitet werden können.

Erfassung von Daten

Beim Erfassen von Daten wird ein Grunddatenstamm erstellt, der geografische und räumliche Daten enthält. Sie dienen hauptsächlich zur Orientierung, als Basisdaten für die verschiedenen Module und sind häufig nur für Umbauten oder Angebote wichtig z. B. Quadratmeter der zu reinigenden Fläche.

Um einen Datenfriedhof zu vermeiden, setzt sich der Sekundärdatenstamm nur aus den Daten zusammen, die auch wirklich benötigt werden.

Immobilienmanagement

Im Immobilienmanagement werden Liegenschaften, Mietverträge und Gebäude verwaltet. Das Programm archiviert Daten für den Benutzer und erstellt einen Übersichtsplan für den Kunden oder den Bearbeiter und Auswertungen über die laufenden Kosten und den Cash-flow.

Raum- und Flächenmanagement

Um eine optimale Nutzung von Räumen und Flächen gewährleisten zu können, bietet Archibus eine umfangreiche Plattform für das Berechnen von Räumen an. Diese können bezüglich Bruttofläche, Raumart oder Kategorie eingeordnet und abgerufen werden. Durch gekoppelte CAD-Zeichnungen können Räume und Raumarten den Datenbankdaten zugeordnet werden. Diese beinhalten auch später das visuelle Raumbuch und das Instandhaltungsmanagement. So ist es auch externen Mitarbeitern möglich, sich eine Übersicht über das Objekt

zu verschaffen. Nur durch genaue Belegungs- und Zeitpläne können die Räume optimal und effizient genutzt werden.

Umzugsmanagement

Um einen kompletten Umzug von Büros und Liegenschaften verwalten zu können, bietet Archibus eine Komplettlösung. Gefordert sind lediglich die zu bewegendenden Teile und deren Gegenstandsnummern. Sind diese eingegeben, kann ein kompletter Umzugsplan inkl. Zeit und Kosten erstellt und direkt koordiniert werden. Die Excel Schnittstelle dient dazu, um schon vorhandene Tabellen und Listen importieren und bearbeiten zu können. Ebenfalls die CAD-Schnittstelle kann problemlos für die Koordination von Möbeln und für das Flächenmanagement genutzt werden.

Arbeitsablauf

Arbeitsabläufe und Dienstpläne können mit dem Budget, der Objektbelegung oder mit Wartungsverträgen abgestimmt und geregelt werden. Zudem gibt es auch noch die Möglichkeit der Microsoft Outlook Schnittstelle. Über diese kann man die Kalenderdaten und Aufträge direkt mit der Fremdfirma teilen, um eine effizientere Arbeitsteilung zu bekommen.

Umwelt- und Risikomanagement

Um eine effizientere Energie- und Kostennutzung erarbeiten zu können, werden Statistiken über Stromverbrauch, Warmwasser- und Heizungsverbrauch geführt. Um Kosten zu senken und die Effizienz der Anlagen erhöhen zu können, werden diese eingegebenen Daten für Sanierungsmaßnahmen eingesetzt.

Instandhaltungsmanagement

Die Stammdaten jedes Gerätetyps und jedes einzelnen Geräts sind im Instandhaltungssystem festgehalten. Gespeichert sind auch die Daten der Baugruppen und Bauteile sowie aller Materialien, die für die Instandhaltung benötigt werden (Ersatzteile, Betriebsstoffe usw.).

Planbare Instandhaltungsmaßnahmen

Soweit dies möglich ist, werden alle Instandhaltungstätigkeiten vorweg beschrieben. Es wird der Inhalt festgelegt, der Ort, die Dokumentation, die Tätigkeit, der geplante Arbeitsaufwand und die geplante Durchlaufzeit. Außerdem wird der voraussichtliche Bedarf an Ersatzteilen, an Hilfs- und Betriebsstoffen sowie an Arbeitsmitteln festgelegt.

Wenn es trotz aller vorsorglichen Instandhaltungsmaßnahmen zu einer Störung kommt, muss diese dokumentiert und der Instandsetzung gemeldet werden. Mit der Erfassung der Meldung wird zumeist auch der technische Zustand des betroffenen Materials verändert. Nach der Behebung des Fehlers wird die entsprechende Meldung abgeschlossen und das betroffene Objekt kann wieder genutzt werden.

Aus den gesammelten Meldungen können wichtige Informationen für die Planung der Instandhaltung gewonnen werden (Nachkalkulation von Aufträgen, Benchmarking und Amortisationsrechnung).

6.2. Archibus an der Käte-Lassen-Schule

Aufgrund des großen Umfangs des Projekts sind zwei beispielhafte Räume aus den Plänen entnommen worden. Hierbei handelt es sich um den Physikraum und den Zeichenraum.

Die Datenaufnahme erfolgte durch Besichtigung der Räume und die Bemaßung in CAD-Zeichnungen. Diese werden in der Datenbank der CAFM-Software gespeichert und können vielseitig genutzt werden. In diesem Beispiel werden die Daten von Möbeln und Flächen des Raumes benötigt.

Die Dateneingabe erfolgt durch das Anlegen des Schulgebäudes mit den dazugehörigen Trakten und Stockwerken. In der Abbildung sichtbar ist das zweite Obergeschoss des Hauptgebäudes der Käte-Lassen-Schule. Um schnell an die gewünschten Räume und Raumarten gelangen zu können, kann man die einzelnen Räume in Raumkategorien, Raumtypen und Standardräumen einteilen. Der Physikraum hat die Raumkategorie UR (Unterrichtsraum) und hat den Raumtyp „Labor“. Die Möglichkeit, einzelne Raumkategorien anlegen zu können, dient der Übersicht und der Art, wie sie gestaltet sind z. B. Fußbodenbelag, Art des Tisches und Temperaturniveau können dadurch schnell erfasst und notfalls angeglichen werden. Dies erleichtert die Arbeit, um z. B. Reinigungspläne für verschiedene Raumarten zu erstellen. Nicht jeder Raum gleicht dem anderen. Bsp.: Um einen Flur zu reinigen, wird möglicherweise weniger Aufwand benötigt als für einen Physikraum mit Tischen und Stühlen.

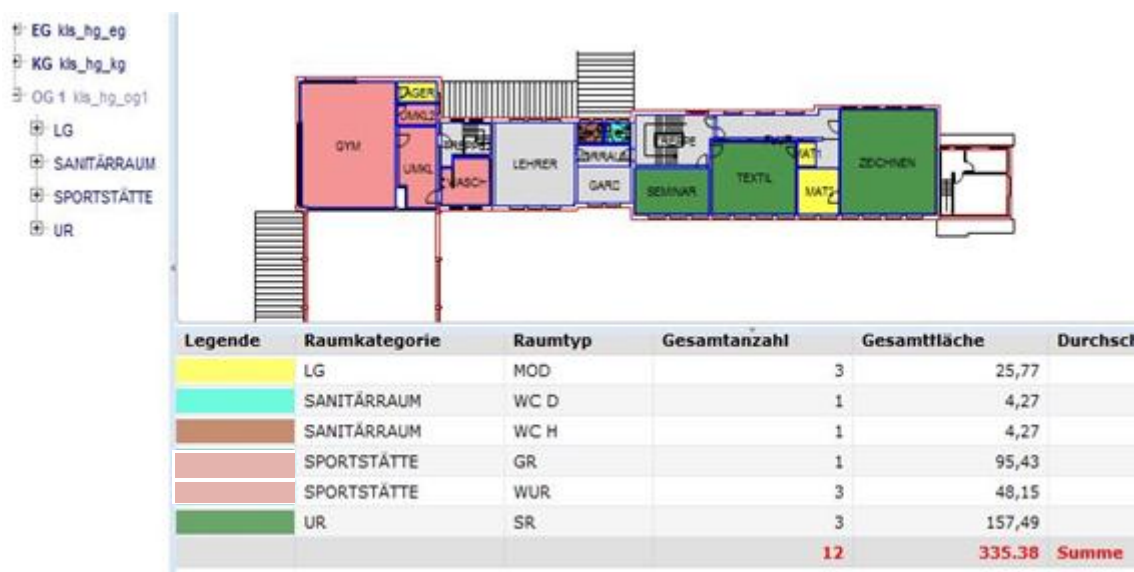


Abb. 23: Archibus Ansicht 1.OG Zeichenraum, Zeichenraum Beispiel für die Visuelle CAD Ansicht im CAFM-System, Grün: UR (Unterrichtsraum), SR (Schulungsraum)

Diese beiden Arbeitsräume sollen mit neuen Möbeln ausgestattet werden, da die alten nicht mehr dem Standard entsprechen.

Da die Labortische mit einem Wasserhahn und Gasanschluss ausgestattet sind, sind diese fest eingebaut und müssen mit Aufwand entfernt werden. Aufgrund der Gegebenheiten wird der Fußboden im selben Zuge mit ausgetauscht.

Um einen Raum einrichten zu können, benötigt man gewisse Grundlagen, die einfach aus dem CAFM-Programm entnommen werden können.

Was für die Planung wichtig ist:

- Wie viele Personen müssen im Raum untergebracht werden?
z. B. Anzahl der benötigten Möbel
- Was für einen Nutzen hat dieser Raum?
z. B. Ausstattung der Möbel
- Wie groß ist dieser Raum (Fläche und Volumen)?
z. B. Renovierungsaufwand des Bodens
- Was für Kosten werden entstehen?
z. B. Grundlagen für Leistungsverzeichnis

Sowohl im Physikraum als auch im Zeichenraum wird für Laborversuche und Zeichnungen viel Platz benötigt. In diesem Falle lohnt es sich, einem Schüler oder einer Schülergruppe etwas mehr Platz zu lassen. Das heißt, statt die in der DIN vorgeschriebenen Maße von min. 50x60cm für eine Tischfläche am Arbeitsplatz¹⁹ einzuplanen, werden größere Maße von 110x60cm angesetzt um Unfälle und Beschädigungen zu vermeiden.

Die Kosten setzen sich aus mehreren Bereichen zusammen:

- Kosten für Neuware
- Lohnkosten (Spedition, Facility Manager, Verwaltung, Planung)
- Kosten für Entsorgung
- Sonstige Kosten: (CAFM/CAD Lizenz, Stromkosten etc.)

¹⁹ DIN EN 1729-1:2006-09

Kurzzeichen Gebäude	KLS HG	Kurzzeichen Stadt	FL
Brutto-Innenfläche	228,76	Kurzzeichen Bundesland	SH
Adresse			

Gebäude	Kurzzeichen Geschoss	Kurzzeichen Raum	Raumkategorie	Raumtyp	Raumfläche	Personalanzahl	Kurzzeichen Bereich	Kurzzeichen Abteilung
KLS HG	OG 2	PHYSIK	UR	LABOR	24,00	1	PH	UR

Kurzzeichen Armdöbel	Standardpreis	Anzahl möbel	Standardkosten	Gesamte kosten
LABORTISCH	21.21	5		106,05
Beschreibung: Standardpreis sind Entsorgungskosten				
LABORTISCH LEHRER	23.74	1		23,74
Beschreibung: Standardpreis sind Entsorgungskosten				
LEHRER STUHL	12.00	1		12.00
Beschreibung: Standardpreis sind Entsorgungskosten				
STUHL 9	12.00	10		120,00
Beschreibung: Standardpreis sind Entsorgungskosten				
VITRINE 160X66X73		3		
Beschreibung: Vitrine bleibt vorhanden				
STUHL 8	207.00	10		2070.00
Beschreibung: Neuware				
LEHRER STUHL NEU	246,74	1		246.74
Beschreibung: Neuware				
LABORTISCH NEU	532,78	5		2663.90
Beschreibung: Neuware				
FUSSBODEN NEU	3024,39	1		3024,39
Beschreibung: Neuware				
SUMME:				8266.82

Abb. 24: Ausdruck Archibus. Kostenaufstellung inkl. Arbeitskosten

Die oben beschriebene Beispielrechnung für die Gesamtkosten der Tische, Stühle und des Fußbodens sind inkl. Produkt-, Planungs-, Fahr- und Entsorgungskosten. Diese Kosten werden aus den Angeboten der auszuführenden Firmen entnommen und können z. B. als Kosten der Planung und Verwaltung prozentual auf die Produktionskosten aufgeschlagen werden.

Um einen reibungslosen Ablauf des Auftrages garantieren zu können, wird jeder Schritt geplant. Mithilfe eines Zeitplans werden die verschiedenen Firmen eingeteilt. So wird garantiert, dass sich die Tätigkeiten der unterschiedlichen Firmen nicht überschneiden.

²⁰ Tabelle: Ausdruck Archibus

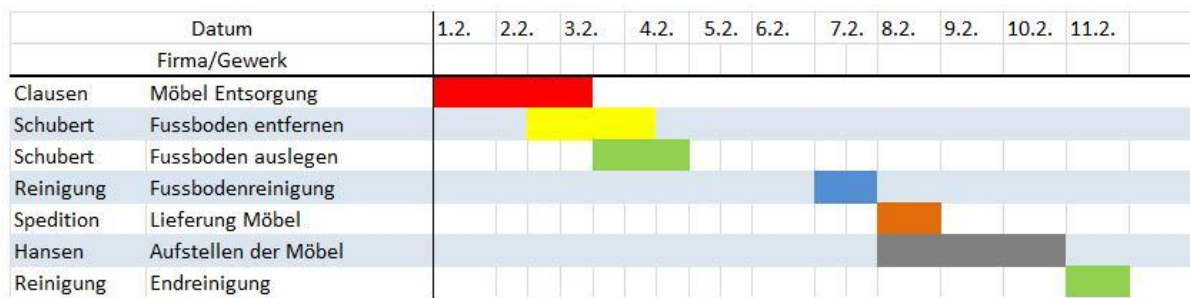


Abb. 25: Visueller Bauzeitenplan

In der obigen Tabelle wird die Bearbeitungszeit der Firmen farblich gekennzeichnet. Die benötigte Arbeitszeit wird von den Auftragnehmern mit in das Angebot gesetzt, diese bilden dann die Grundlage der Planung und Terminrechnung.

Nach dem Beenden der Arbeiten ist es die Aufgabe des Facility Managers, Abnahme und Qualitätsprüfung durchzuführen. Diese beinhaltet die Kontrolle des Zeitplans, das Begutachten der Möbel und des Fußbodens z. B. auf Kratzer und Dellen und die Kontrolle, ob das Budget eingehalten wurde.

Die Aktualisierung der Stammdaten der erneuerten Räume erfordert nach Abschluss der Arbeiten nur einen geringen Aufwand, da die Daten während der Planungs-, Bau- und Abnahmephase bereits im CAFM-System hinterlegt und stets dem neuesten Stand angepasst worden sind.

Der Datenstamm enthält somit alle Informationen zu dem Raum und den Möbeln (Lage im Gebäude, Qualität der Ausstattung, Anschaffungspreise, Anschaffungszeitpunkte, Lieferant und Hersteller), die während der Gewährleistungsphase, für spätere Umnutzungen oder Instandhaltung bei Bedarf wieder schnell abrufbar sind.

7. Lüftung

Einleitung

Bei der Sanierung eines Schulgebäudes geht es nicht nur darum, möglichst hohe Energieeinsparungseffekte zu erzielen. Es ist außerdem erforderlich, ein gutes Lernklima zu schaffen. Hierfür ist ein gesundes Raumklima in den Klassenzimmern nötig. Die Sanierungsmaßnahmen sorgen unter anderem für eine Verbesserung der Luftdichtheit des Gebäudes, um ungewollte Lüftungswärmeverluste, z.B. durch undichte Fensterdichtungen, zu minimieren. Je dichter das Gebäude, desto wichtiger wird das richtige Lüftungsverhalten. Unzureichende Lüftung führt schnell zur sprichwörtlichen „dicken Luft“ und kann Bauschäden, wie Schimmelbefall, zur Folge haben. Falsches Lüften, wie das durchgehend auf Kippstellung stehende Fenster im Winter, führt zu einer unnötigen Steigerung des Energieverbrauchs.

Um Folgeschäden falschen Lüftens zu vermeiden und eine optimale Lernumgebung für die Schülerinnen und Schüler zu schaffen, gilt es, das Raumklima möglichst energieeffizient zu verbessern. Die folgenden Kapitel befassen sich mit den, durch das Lüften beeinflussbaren, Faktoren des Raumklimas an der Käte-Lassen-Schule Flensburg und zeigen Möglichkeiten zur Erzeugung einer guten Lernumgebung.

5.6. Raumklima und Luftqualität

Studien zeigen, dass sich das Raumklima unmittelbar auf die Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit der Lehrkräfte und Schüler auswirkt, außerdem sinkt die Anzahl der Unterrichtsstörungen mit steigender Luftqualität²¹.

Das Raumklima setzt sich aus folgenden Faktoren zusammen: dem thermischen, akustischen und visuellen Raumklima und der Luftqualität (olfaktorisches Raumklima). Das Lüften beeinflusst drei dieser Aspekte in unterschiedlichem Maße. Während das visuelle Raumklima eher durch Farbgestaltung und Beleuchtung des Raumes beeinflusst wird, bewirkt beispielsweise eine Fensterlüftung im Winter eine Verschlechterung des thermischen Raumklimas, zusätzlich die mögliche Verschlechterung des akustischen Raumklimas durch äußere Lärmquellen und eine Verbesserung der Luftqualität. Es ist also notwendig, das Lüftungskonzept unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren umzusetzen.

Die Luftqualität stellt hier eine Art Leitrolle dar, da sie den benötigten Außenluftvolumenstrom festlegt. Sie wird durch den Grad der Verunreinigung mit Schad- und Geruchsstoffen bestimmt. In Räumen mit hoher Belegungsdichte und ohne andere Kohlendioxidquellen wird die Güte der Luftqualität anhand der Kohlendioxid- Konzentration in der Raumluft bestimmt. Die CO₂- Konzentration an sich ist hierbei nicht allein ausschlaggebend, eine physiologische

²¹ <http://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-23991-Band%202.pdf>

Wirkung tritt erst bei Werten zwischen 2.000 ppm und 10.000 ppm („parts per million“, 1 ppm = 1 Teil auf 1 Million Teile) ein. Ein Anstieg des CO₂- Wertes in der Raumluft weist allerdings auf einen proportionalen Anstieg weiterer menschlicher Stoffwechselprodukte wie Wärme, Wasser und bestimmte flüchtige organische Verbindungen (VOC = Volatile Organic Compounds), wie z.B. Ammoniak, hin. Einige dieser VOC machen sich durch ihren Geruch bemerkbar. Das Gemisch aller Stoffwechselprodukte und die VOC, die durch Ausgasungen der Baustoffe entstehen, sind für die Verschlechterung der Luftqualität verantwortlich. Bereits 1858 erkannte der bayrische Chemiker und Hygieniker Max von Pettenkofer den Zusammenhang von CO₂- Konzentration und Luftqualität. Laut Pettenkofer sollte aus Gründen der Geruchsbelastung und des Wohlbefindens ein CO₂- Wert von 1.000 ppm nicht überschritten werden. Der Pettenkofer Wert gilt aufgrund von geänderter Belegungsdichte und verbesserter Hygienebedingungen als nicht mehr zeitgemäß.

5.7. Normen und Richtlinien

Die deutschen Normen definieren unterschiedliche Richtwerte in Bezug auf die CO₂- Konzentration oder die benötigten Außenluftvolumenströme für die Einhaltung dieser Richtwerte. Zur Auslegung des Lüftungssystems kann die DIN EN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden“ oder die DIN EN 15251 „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden“ genutzt werden. Norm und Kategorie können frei gewählt werden.

Die DIN EN 13779 beinhaltet eine Kategorisierung der Luftqualität für die Auslegung von ventilatorgestützten Lüftungs- und Klimaanlage (s. Tab. 7). Für Klassenzimmer werden derzeit bevorzugt die Kategorien IDA 2 bis IDA 3 angesetzt. Diese entsprechen einem CO₂- Richtwert von 780 bis 1.380 ppm und einem daraus resultierenden Außenluftvolumenstrom von 22 bis 54 m³/h pro Schüler. Bei 30 Schülern im Klassenzimmer muss eine Lüftungsanlage demnach einen Luftdurchsatz zwischen 660 und 1.620 m³/h leisten können.

Kategorie	Beschreibung	CO ₂ -Gehalt über dem Gehalt in der Außenluft (Flensburg: ca. 380 ppm) [ppm]	Außenluftvolumenstrom (m ³ /h pro Schüler)
IDA 1	hohe Raumluftqualität	≤ 400	> 54
IDA 2	mittlere Raumluftqualität	400 – 600	36–54
IDA 3	mäßige Raumluftqualität	600 – 1.000	22–36
IDA 4	niedrige Raumluftqualität	>1.000	< 22

Tab. 7: Innenraumluftqualität und Außenluftvolumenströme nach DIN EN 13779

Das Lüftungssystem kann auch nach der DIN EN 15251 ausgelegt werden. Sie gilt für ventilatorgestützte und freie Lüftungssysteme wie manuelle oder mechanische Fensterlüftung. Hier findet eine Unterscheidung in drei Kategorien (I, II, III) statt, wobei die Verunreinigungen durch Gebäudeemissionen mit einbezogen werden. Für Schulen mit schadstoffarmen Gebäuden gibt die Norm Außenluftvolumenströme zwischen 17 und 43 m³/h an.

Die derzeit gültigen Normen geben viel Spielraum in der Auslegung eines Lüftungssystems, die Technischen Regeln für Arbeitsstätten legen die Anforderungen an die Belüftung wie in Tabelle 8 dargestellt fest.

CO ₂ -Konzentration [ml/m ³] bzw. [ppm]	Maßnahmen
<1.000	Keine weiteren Maßnahmen (sofern durch die Raumnutzung kein Konzentrationsanstieg über 1000 ppm zu erwarten ist)
1.000-2.000	Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern Lüftungsplan aufstellen (z. B. Verantwortlichkeiten festlegen) Lüftungsmaßnahme (z. B. Außenluftvolumenstrom oder Luftwechsel erhöhen)
>2.000	weitergehende Maßnahmen erforderlich (z. B. verstärkte Lüftung, Reduzierung der Personenzahl im Raum)

Tab. 8: Verhalten bei unterschiedlichen CO₂-Konzentrationen in der Raumluft nach ASR A3.6

Für die Auslegung der Lüftungssysteme und die Bewertung der aktuellen Gegebenheiten an der KLS, legen wir die Kategorie IDA3 der DIN EN 13779 zugrunde. Als CO₂- Richtwert nehmen wir <1.200 ppm an. Dieser Wert entspricht etwa einem Außenluftvolumenstrom von 30 m³/h pro Schüler.

5.8. Lüftungssysteme für Schulen

Wie auch an der KLS werden die Klassenzimmer in Deutschlands Schulen meist manuell per Fensterlüftung belüftet. Dieses Lüftungssystem reicht allerdings in den meisten Fällen nicht aus, um die erforderlichen Luftqualitäten zu erreichen. So ist z.B. aufgrund baulicher Gegebenheiten kein Querlüften (Stoßlüften) möglich oder Fenster können aus Sicherheitsgründen nur auf Kippstellung oder gar nicht geöffnet werden. Hinzu kommt oftmals ein falsches Lüftungsverhalten der Raumnutzer. Daher werden zunehmend geregelte Lüftungssysteme bei Neubau oder Sanierung installiert.

Das Ziel des Lüftungssystems ist es, eine möglichst gute Luftqualität zu erreichen und dabei ungewünschte Nebeneffekte wie z.B. Lärmbelästigung, Zugerscheinungen oder Temperaturschwankungen möglichst gering, und im Rahmen der zulässigen Werte, zu halten. Zusätzlich soll es möglichst ökologisch und ökonomisch sein. In der folgenden Tabelle wird eine Auswahl unterschiedlicher Lüftungssysteme verglichen, die derzeit in der KLS genutzt werden oder sich für die Installation in den Klassenräumen eignen.

Systeme Beispiel für einen Schulraum mit 60 m ² Grundfläche und für 30 Schüler	Fensterlüftung		dezentrale, raumweise Lüftungssysteme mit Zu- und Abluftventilator und mit Wärmerückgewinnung	zentrale Lüftungssysteme
Konzept, Gerätetyp	manuell Lüftungsplan Lüftungsampel	geregelter, motorisch unterstützte Fensterlüftung	Wandgeräte Deckengeräte Standgeräte	ein Lüftungsgerät für mehrere Räume
Beschreibung	freie Lüftung über Fenster belegungsabhängigen Lüftungsplan erstellen. CO ₂ - oder andere geeignete Luftqualitätssensoren melden in den Klassenzimmern schlechte Luftqualität.	CO ₂ - oder andere geeignete Luftqualitätssensoren regeln die Luftqualität über motorisch verstellbare Fenster	Ein Lüftungsgerät versorgt ein Klassenzimmer mit aufbereiteter Außenluft. Luftleitungssystem zur besseren Luftverteilung möglich. Dauerbetrieb oder Regelung mit CO ₂ - oder andere geeigneten Luftqualitätssensoren	Ein Lüftungsgerät versorgt mehrere Klassenzimmer mit zentral aufbereiteter Außenluft. Luftleitungssystem erforderlich.
Außenluftvolumenstrom pro Fenster und pro Gerät, Geräteeinheit pro Raum	Kippstellung für Dauerlüftung: 50–150 m ³ /h, Schwenkstellung für Stoßlüftung: 200–800 m ³ /h	Kippstellung: 200–400 m ³ /h, mehrere Fensterstellantriebe pro Raum	500–1.000 m ³ /h, 1 Gerät pro Raum	1.200–12.000 m ³ /h, 1 Gerät für 2–20 Räume
Mittelwert CO ₂ -Konzentration über Unterrichtseinheit < 1.200 ppm	bei Einhaltung des Lüftungsplanes, je nach baulicher Gegebenheit möglich/nicht möglich. Überschreitungen bei geringen Außentemperaturen	möglich bei geeigneter Fassade mit getrennten Zu- und Abluftöffnungen und Heizkörper unter Fenstern, Überschreitung bei sehr geringen Außentemperaturen	möglich > 600 m ³ /h	möglich > 600 m ³ /h
Raumtemperatur < 26 °C	nein	Minimierung der Überschreitungzeit durch motorisch geregelte Nachtauskühlung	möglich mit dezentraler Kühlung oder Nachtbetrieb zur Nachtauskühlung	möglich mit dezentraler Kühlung oder Nachtbetrieb zur Nachtauskühlung
Zugluftbegrenzung	bedingt bei einstellbarem Fensterspalt u. Heizkörperanordnungen unter Fenstern, nicht bei Stoßlüftung	ja, nur bei Heizkörperanordnung unter Fenstern	ja, möglich bei richtiger Planung	ja, möglich bei richtiger Planung
Schallschutz Außenlärm Eigengeräusche < 35 dB(A)	nein entfällt	nein ja, nur bei stabiler Regelung mit reduzierter Stellhäufigkeit	möglich abhängig vom Volumenstrom möglich	möglich abhängig vom Volumenstrom möglich
Wärmerückgewinnung	nicht möglich	nicht möglich	möglich	möglich
Luftfilterung	nicht möglich	nicht möglich	möglich	möglich
Regelung, Sensorik	nein	erforderlich	erforderlich	erforderlich
automatische Kontrolle über Lüftung/Nutzereingriff	nicht möglich	bei geeigneter Fassade möglich/möglich	erforderlich/möglich	erforderlich/möglich
zusätzliche Fassadenöffnung pro Raum erforderlich	entfällt	entfällt	2 pro Raum	entfällt
raumweise Umrüstung bei Nutzung des Gebäudes	entfällt	möglich	möglich	nicht möglich
Umrüstkosten	entfällt	mittel	hoch	je nach Aufwand, hoch bis sehr hoch

Tab.9: Zusammenfassung eines Lüftungsartenvergleiches aus dem FKG Status- Report 22

5.9. Lüftung an der Käte-Lassen-Schule

Eingrenzung

Bei der folgenden Analyse werden nur die Klassenräume in den Trakten 1 und 2 sowie die Handarbeitsklasse des Hauptgebäudes betrachtet. Die übrigen Gebäude und Räume der KLS sind nicht Bestandteil dieser Arbeit. Bei übereinstimmenden baulichen Gegebenheiten kann jedoch auf andere Räume geschlossen werden.

Sämtliche Einbauten in den Räumen, die das Raumvolumen verringern, werden nicht in die Berechnungen einbezogen.

Am Tag der Vor- Ort- Begehung am 29.11.2012 betrug die Außentemperatur 8°C.

5.9.1. Bauliche Gegebenheiten und Belegung

Trakte 1 und 2

Die Klassenräume in den Trakten 1 und 2 sind im Schnitt ca. 57 m² groß und besitzen ein Raumvolumen von rund 170 m³. Alle Räume haben Fensterfronten mit je drei bis vier Fenstern an der Nord- und Südfassade, die geöffnet werden können. An der Südfassade waren einige defekte Fensterdichtungen zu erkennen, die zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten führen. Die Belegungszahl liegt im Schnitt bei ca. 25 Schülern pro Klasse.

Als Rechenbeispiel dient hier die Klasse B4. Bei einer Größe von ca. 60 m² und 180 m³ ist dieser Raum mit 30 Personen belegt. Dies entspricht der maximalen Belegungsdichte (2 m² und 6 m³ pro Person). Es wird ein stetiger Außenluftvolumenstrom von ca. 900 m³/h (30 m³/h x 30 Personen) benötigt, um die CO₂- Konzentration auf 1200 ppm zu halten.

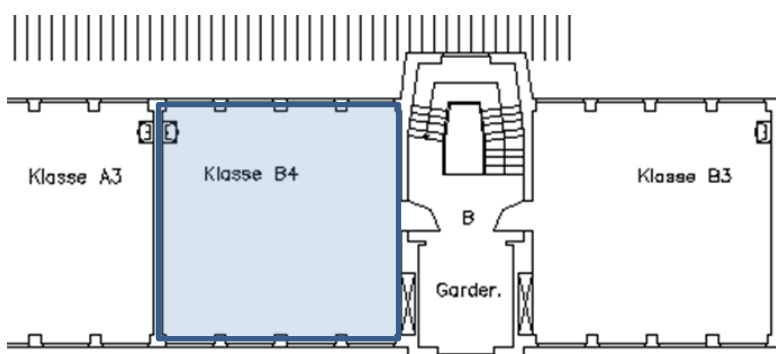


Abb. 26: Klassenraum B4 im 1. OG Trakt 1

Hauptgebäude

Die Handarbeitsklasse ist ca. 50 m² groß und besitzt ein Raumvolumen von rund 150 m³. In der Südfassade befinden sich 4 Fenster, die auf Kippstellung geöffnet werden können. Die maximale Belegungszahl beträgt 25 Personen.

Aus Raumgröße und Belegungsdichte ergibt sich hier ein benötigter Außenluftvolumenstrom von $750 \text{ m}^3/\text{h}$.

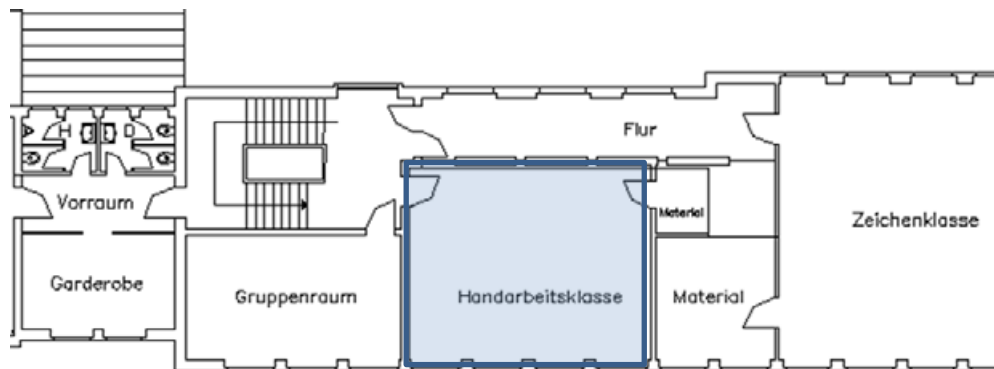


Abb. 27: Handarbeitsklasse im 1. OG Hauptgebäude

5.9.2. Nutzerverhalten

Wie schon beschrieben, werden die Klassenräume an der KLS durch eine manuelle Fensterlüftung belüftet. Je nach Wetterbedingungen und Art der Fensteröffnung (Kipp- oder Schwenkstellung) sind unterschiedlich hohe Außenluftvolumenströme möglich. Bei diesem Lüftungssystem kommt es besonders auf das Nutzerverhalten an. Bei unserer Vor- Ort- Begehung haben wir die Klassenräume in den Trakten 1 und 2 beobachtet und konnten ein sehr unterschiedliches Lüftungsverhalten erkennen.

Dauerlüftung

Bei einigen Klassenräumen war während der gesamten Unterrichtszeit mindestens ein Fenster auf Kippstellung geöffnet. Dies führt zu einem permanenten Außenluftvolumenstrom, der die Luftqualität zwar leicht verbessert, aber bei weitem nicht ausreicht. Es ist davon auszugehen, dass die Heizkörper nicht abgedreht waren, dies führt zu erheblichen Energieverlusten. Eine Dauerlüftung bei niedrigen Außentemperaturen sollte vermieden werden.

Pausenlüftung

Viele Klassenräume wurden in den Pausen mittels einer effektiven Querlüftung gelüftet. Diese Lüftungsart erzeugt einen hohen Außenluftvolumenstrom und eignet sich sehr gut, um schnell eine deutliche Verbesserung der Luftqualität zu erzielen. Es ist darauf zu achten, dass die Heizkörper während der Lüftungsphase abgedreht sind, da andernfalls hohe Energieverluste entstehen.

Keine Lüftung

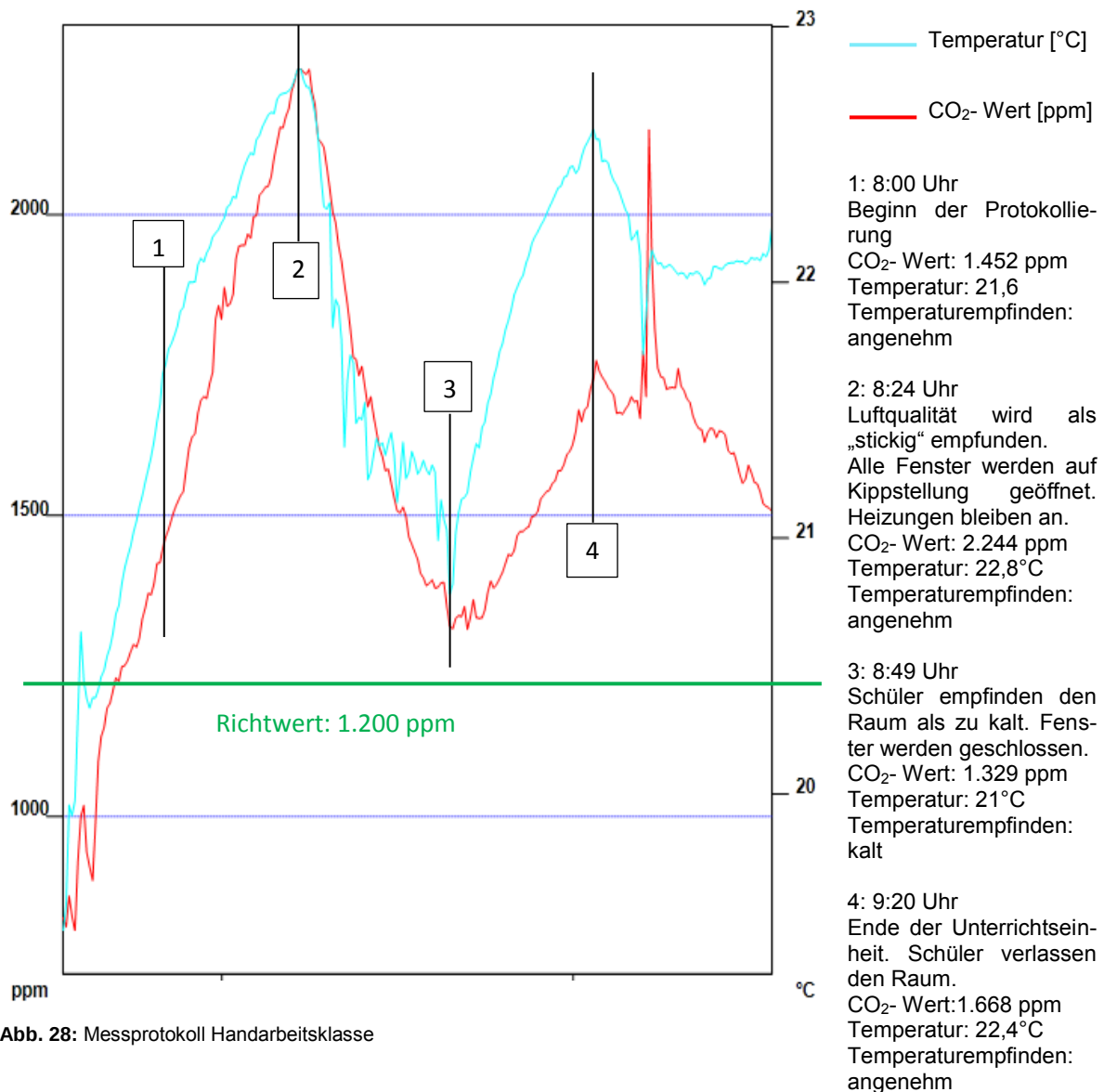
Ein Klassenraum wurde trotz längerer Belegung gar nicht gelüftet. Es ist davon auszugehen, dass eine sehr schlechte Luftqualität herrschte.

5.10. IST- Zustände und Verbesserungsvorschläge

5.10.1. Handarbeitsklasse

IST- Zustand

In der Handarbeitsklasse wurde am 29.11.2012 eine ca. 90 minütige CO₂- Messung durchgeführt. Der Raum war mit 17 Personen belegt. Als Messgerät wurde das testo 435-2 mit der Seriennummer 01922670 verwendet. Das folgende Diagramm zeigt die ermittelten Messkurven. Zusätzlich wurde von einem Schüler ein Messprotokoll geführt. Hier wurden in unterschiedlichen Zeitabständen: Uhrzeit, CO₂- Wert, Raumtemperatur und das Temperaturempfinden (kalt, angenehm, warm) eingetragen.



Obwohl der Handarbeitsraum nicht voll belegt war, ist ein schneller CO₂- und Temperaturanstieg zu erkennen. Das Einschalten des Messgerätes erfolgte um 7:40 Uhr, bis zum Beginn der handschriftlichen Protokollierung wurde das Messvorhaben erklärt. Die starken Ausschläge kurz nach Beginn und kurz vor Ende der Messung, sind auf direkten Kontakt mit

Atemluft zurückzuführen und entsprechen keinem natürlichen Verlauf. Bis 8:24 Uhr zeigt sich ein typischer Verlauf der Werte, zu diesem Zeitpunkt wurde eine Verschlechterung der Luftqualität von einem Schüler bemerkt. Daraufhin wurden alle Fenster geöffnet, die Heizungen wurden nicht abgedreht, um diese Problematik mit der Messkurve darstellen zu können. Bereits nach fünf Minuten empfanden erste Schüler den Raum als zu kalt, obwohl zu Beginn der Messung niedrigere Temperaturen als angenehm empfunden wurden. Dies liegt an der entstehenden, kalten Zugluft im Raum. Um 8:49 Uhr wurden die Fenster geschlossen, da es der Mehrheit der Schüler zu kalt wurde. Der CO₂-Wert hatte sich bis dahin nicht auf ein normgerechtes Maß von 1.200 ppm senken können.

In Räumen wie der Handarbeitsklasse (keine Querlüftung möglich) ist es folglich nicht sinnvoll, die Belüftung mithilfe der Fensterlüftung zu betreiben. Die benötigten Lüftungszeiten wären zu lang und besonders in den kühleren Monaten weder komfortabel noch energieeffizient. Wie die Kurvenverläufe nach dem Schließen der Fenster zeigen, steigt die Temperatur nun wesentlich schneller an als der CO₂-Wert. Dies liegt daran, dass die Heizkörper nicht abgedreht waren. Durch den kalten Außenluftvolumenstrom unter den offenen Fenstern regelten sich die Thermostatventile hoch und die Heizkörper wurden unnötig stark erwärmt. Nach dem Schließen der Fenster erfolgte dadurch eine schnelle Aufheizung der Raumluft auf unnötig hohe Temperaturen.

Verbesserungsvorschlag

Da ein Fensterlüftungssystem bei hoher Belegung des Raumes nicht für eine durchgehend gute Luftqualität sorgen kann, schlagen wir die Installation einer ventilatorgestützten Lüftungsanlage vor. Eine zentrale Lüftungsanlage ist zur Versorgung der Unterrichtsräume des Hauptgebäudes nur bedingt geeignet. Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten wären lange Lüftungsleitungen nötig, um die Räume zu versorgen. Ein hoher Installations- und Kostenaufwand wäre erforderlich. Eine dezentrale Lüftungsanlage (siehe Abb. 29 und 30) ist hier die optimale Möglichkeit eine gute Luftqualität zu schaffen.



Abb. 29: LTM dezent 800 (Deckengerät)



Abb. 30: Rosenberg Ventilatoren
Schulbox 750 H (Standgerät)

Diese Geräte sind in unterschiedlichen Ausführungen und Leistungsklassen erhältlich, die je nach Bedarf ausgewählt werden können. Häufig arbeiten diese Lüftungsanlagen mit einem Wärmerückgewinnungssystem, welches der abgeführten Raumluft einen Teil der enthaltenen Wärme entzieht und sie der zugeführten Außenluft zuführt. Dieses Prinzip verringert die Lüftungswärmeverluste des Raumes, je nach Ausführung und Luftdurchsatz der Anlage sind Werte bis über 90% während den Unterrichtszeiten möglich.

5.10.2. Klassenraum B4

IST- Zustand

Um den CO₂- Verlauf zu berechnen, wurde die Software „QUIRL/CO₂“ in der Version 1.0 genutzt. In einem Projekt des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes wurde die Luftqualität in Klassenräumen von sieben niedersächsischen Schulen untersucht. In diesem Rahmen wurde auch diese Software entwickelt. Das Diagramm zeigt die berechneten CO₂-Verläufe in dem Klassenraum B4 (ein vergrößertes Diagramm befindet sich im Anhang). Der Berechnung liegt eine Belegungszahl von 30 Personen und ein Regelunterrichtszeitraum von 7:45 bis 13:00 Uhr zugrunde. Die Pausenzeiten sind der Homepage der KLS entnommen.

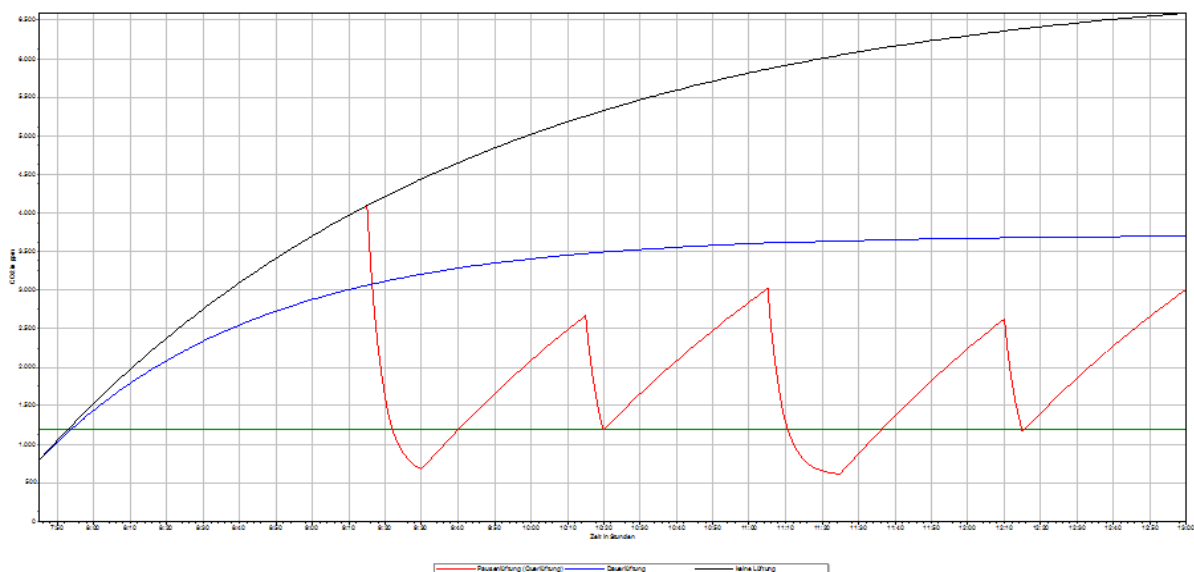


Abb. 31: Errechneter CO₂- Verlauf im Klassenraum B4

Die drei Kurven zeigen den CO₂- Verlauf der drei beobachteten Nutzerverhalten. Der in grün dargestellte Richtwert wird bei allen Lüftungsweisen bereits nach 10 Minuten Unterrichtszeit überschritten. Die blaue Linie entspricht einer Dauerlüftung mit einem geöffneten Fenster. Es ist zu erkennen, dass der CO₂- Richtwert dauerhaft stark überschritten wird. Die schwarze Linie zeigt den CO₂- Verlauf, wenn nicht gelüftet wird. Bis zum Ende des Unterrichts um 13 Uhr, steigt der Wert auf über 6.500 ppm an. Hier ist mit deutlichen Beeinträchtigungen bei Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit zu rechnen. Die rote Linie zeigt den CO₂- Verlauf bei Querlüftung in den Pausen. Es zeigt sich, dass dies ausreicht, den CO₂- Richtwert zu

Beginn der nächsten Unterrichtsstunde zu erreichen. Dennoch herrscht zu einem Großteil der Unterrichtszeit eine unzureichende Luftqualität. Die reine Pausenlüftung reicht nicht aus, eine durchgängig gute Luftqualität zu erreichen.

Verbesserungsvorschläge

Manuelle Fensterlüftung

Um den CO_2 -Wert dauerhaft niedrig zu halten, wäre die Einführung von zusätzlichen Lüftungspausen sinnvoll. Diese sollten zur Mitte jeder Unterrichtsstunde durchgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre der Einsatz sogenannter „Miefampeln“ (siehe Abb. 32). Dies sind Messgeräte, die im Klassenraum aufgestellt werden und die aktuelle Luftqualität optisch anzeigen. Signalisiert das Messgerät eine schlechte Raumluft, sollte eine kurze Querlüftung durchgeführt werden. Diese zwei Methoden sind allerdings anfällig für ein fehlerhaftes Nutzerverhalten und beeinflussen den Unterrichtsverlauf.



Abb. 32: CO_2 -Ampel der Firma MB Systemtechnik



Abb. 33: Mechanischer Stellantrieb der Firma GEZE

Mechanische Fensterlüftung

Der Einsatz von elektrischen Stellantrieben (siehe Abb. 33) zum Öffnen der Fenster entlastet den Raumnutzer und verhindert Nutzerfehler. Eine Einbindung in eine Einzelraumregelung mit elektrischen Heizungsventilen ist nötig, um ein Auskühlen des Raumes und einen unnötigen Energieverbrauch zu vermeiden.

Ventilatorgestützte Lüftung

Der Einsatz dezentraler Anlagen ist auch hier denkbar. Die baulichen Gegebenheiten bieten allerdings auch die Möglichkeit, semi-zentrale Anlagen zu nutzen. Der Vorteil liegt hier in den geringeren Wartungskosten, der besseren Luftverteilung und der geringeren Geräuschentwicklung in den Klassenräumen. Als nachteilig sind die höheren Brandschutzanforderungen aufgrund der Durchbrüche innerhalb des Gebäudes und die höheren Montagekosten zu nennen.

In den Trakten 1 und 2 könnten die Anlagen in den Garderoben der Treppenhäuser installiert werden und die anliegenden Klassenräume über Lüftungsrohre mit Frischluft versorgen. Die Abluft der Räume könnte mithilfe von Überströmventilen in das Treppenhaus geleitet werden und dieses dadurch mitbeheizen, ehe die Abluft über ein Wärmerückgewinnungssystem nach außen geleitet wird.

5.11. Energieeinsparpotenziale

Fensterlüftung

Über die Höhe der möglichen Energieeinsparungen sind an dieser Stelle leider keine Angaben möglich. Es gibt zu viele Variablen, die in der Dauer des Projektzeitraumes nicht eindeutig zu erfassen waren. Grundsätzlich hängt die Höhe der Einsparungen vom Nutzerverhalten ab. Wurde im Verlauf der Heizperioden viel oder wenig gelüftet? Wurde richtig oder falsch gelüftet? Wurde zu wenig gelüftet, steigt natürlich der Energieverbrauch, wurde falsch gelüftet, sinkt er nach Umsetzung der Verbesserungsvorschläge.

Ventilatorgestützte Lüftung

Die Auswirkungen auf den Energieverbrauch der KLS bei Einsatz von ventilatorgesteuerten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungssystem sind ebenfalls im Rahmen dieser Projektarbeit nicht genau zu beziffern. Die Heizlastberechnung hat ergeben, dass etwa ein Viertel der Heizenergie durch Lüftungswärmeverluste verloren geht. Dieser Wert betrifft allerdings alle Räume der Schule auch z. B. die Flure, für die ein geringerer Luftwechsel den Berechnungen zugrunde liegt. Die Lüftungsanlagen verbessern allerdings nur die betreffenden Klassenräume, daher können keine genauen Angaben hinsichtlich der Gesamteinsparung erfolgen. Die folgende Abschätzung bezieht sich auf den momentanen Sanierungsstand der entsprechenden Gebäudeteile.

Um die Heizenergieeinsparung eines Klassenraumes abschätzen zu können, muss zunächst der Luftaustausch während der Unterrichtszeiten ermittelt werden. Bei ca. 195 Unterrichtstagen/a mit je 8 Stunden ergeben sich 1.560 h/a Unterrichtszeit. In der Klasse B4 ergibt sich daraus ein Gesamtluftvolumenaustausch von 1.404.000 m³ (1.560 h * 900 m³/h). Auf die restlichen 7200 h des Jahres entfällt ein natürlicher Luftaustausch von etwa 90 m³/h (Luftwechselrate 0,5 1/h für ältere Gebäude), dies ergibt einen Gesamtluftvolumenaustausch von 648.000 m³. Es entfallen demnach rund 68% des Luftaustausches auf die Unterrichtszeit. Um auf den Lüftungswärmeverlustanteil während der Unterrichtszeit schließen zu können, muss man allerdings einige Faktoren beachten. Der Tagestemperaturverlauf, die wechselnden Windverhältnisse (Tag/Nacht) und die geringeren Raumtemperaturen während der unterrichtsfreien Zeit haben Einfluss auf das Verhältnis von Luftaustausch- und Lüftungswärmeverlustanteil. Für die weitere Abschätzung ist ein Lüftungswärmeverlustanteil von 60% in den Unterrichtszeiträumen angenommen. Wird nun ein Wärmerückgewinnungssystem mit 80% Wir-

kungsgrad eingesetzt, ist eine Verringerung des Gesamtlüftungswärmeverlustes um 48% möglich. Laut Heizlastberechnung beträgt der Lüftungswärmeverlustanteil des Klassenraumes B4 etwa 40%, es ergibt sich demnach eine Senkung der Heizlast um rund 19% gegenüber der Fensterlüftung. Die Untersuchung der Gebäudehülle durch die GST 12 ergab einen Heizenergiebedarfswert von $342 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für das Hauptgebäude und die Trakte 1 und 2. Der Klassenraum B4 hat demnach einen Heizenergiebedarf von rund 19.500 kWh/a . Durch den Einsatz einer ventilatorgestützten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ließen sich hier etwa 3.700 kWh/a einsparen.

Für die Gesamtenergiebilanz muss der Stromeigenverbrauch der Anlagen allerdings mit berücksichtigt werden. Das in Abbildung 29 gezeigte Lüftungsgerät LTM dezent 800 hat eine Leistungsaufnahme von 220 W im Vollastbetrieb, bei einer Laufzeit von 1.560 h/a werden knapp 350 kWh benötigt. Hinzu kommt das Vorheizregister, welches ein Einfrieren des Wärmetauschers bei höheren Minusgraden verhindert. Bei angenommenen 100 Betriebsstunden/a und einer Leistungsaufnahme von 1.500 W fallen hier weitere 150 kWh an. Für den Betrieb der Anlage werden demnach 500 kWh/a benötigt. Die Gesamtenergieeinsparung für den Klassenraum B4 beträgt laut dieser Beispielrechnung 3.200 kWh/a .

Das Ergebnis dieser Abschätzung zeigt, dass der Einsatz von ventilatorgesteuerten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungssystem eine deutliche Senkung des Energiebedarfes bewirkt. Außerdem verringern sich die CO_2 -Emissionen der Schule. In Kombination mit der Sanierung der Gebäudehülle erhöht sich das Einsparpotenzial im Bereich der Lüftungsverluste weiter. Die Sanierung bewirkt eine höhere Luftdichtheit der Gebäudehülle und senkt die Lüftungswärmeverluste während der unterrichtsfreien Zeiten. Außerdem bewirkt die Wärmerückgewinnung, dass in gut gedämmten Klassenräumen selbst bei niedrigen Außentemperaturen die internen Wärmegewinne durch Personen und elektrische Betriebsmittel ausreichen, die erforderliche Raumtemperatur zu halten. Die Heizkörper werden in diesem Fall während den Unterrichtszeiten nicht benötigt. Aufgrund der großen Synergieeffekte mit anderen Sanierungsmaßnahmen muss zur genaueren Bestimmung der möglichen Einsparungen durch Wärmerückgewinnung stets das gesamte Sanierungskonzept betrachtet werden.

5.12. Kostenbetrachtung

Fensterlüftung

Zur Optimierung der manuellen Fensterlüftung fallen nur die Kosten der „Miefampel“ an, diese betragen laut Hersteller 149 Euro²². Hinzu kommen die Kosten durch den geringen Stromverbrauch des Gerätes. Die Montage ist sehr einfach und kann ohne weiteres durch den Hausmeister erfolgen.

Bei der mechanischen Fensterlüftung werden Stellantriebe benötigt, diese erfordern einen Elektroanschluss, der weitere Kosten verursacht. Der in Abbildung 33 gezeigte Stellantrieb kostet ca. 236 Euro²³. Im Betrieb kommen weitere Kosten durch den Stromverbrauch des Gerätes hinzu.

Die Optimierung der Fensterlüftung dient ausschließlich der Verbesserung der Luftqualität und der Erhöhung des Nutzerkomforts. Hinsichtlich der Kosten kann hier nur durch die Vermeidung falschen Lüftens eingespart werden.

Ventilatorgestützte Lüftung

Die Kosten für ein dezentrales Lüftungsgerät variieren je nach Hersteller und Leistung. Es ist möglich, mehrere kleine Geräte oder ein großes Gerät pro Klassenraum zu installieren. Beim Einsatz mehrerer Geräte steigt der Wartungsaufwand und verursacht höhere Kosten. Als Kostenbeispiel dient hier wieder das Deckengerät der Firma LTM. Ein LTM dezent 800 Gerät reicht aus, den Klassenraum B4 mit Frischluft zu versorgen. Das Gerät kostet etwa 7.500 Euro zzgl. MwSt.²⁴ inklusive der benötigten Sensorik. Hinzu kommen die meist sehr einfache Montage und die Wartungskosten. Die Kosten für den Stromverbrauch betragen, unter Berücksichtigung der Werte aus der Rechnung zur Energieeinsparung (500 kWh/a) und einem Strompreis von 0,245 Euro/kWh²⁵, rund 120 Euro/a.

Die Abschätzung der Heizenergieeinsparung ergab einen Wert von 3.700 kWh/a, bei 0,0855 Euro/kWh²³ ergibt sich eine Kostenersparnis von rund 316 Euro/a. Verrechnet man die Stromkosten mit der Kostenersparnis, bleiben 194 Euro/a für die Wartungskosten und die Amortisation der Investitionskosten. Laut dieser Beispielrechnung stellt sich keine Amortisation der Investitionskosten ein.

Die Kosten für semi- zentrale Lüftungsgeräte variieren ebenfalls je nach Leistung und Hersteller. Aufgrund der größeren Leistung sind diese Geräte teurer als ihre dezentralen Pendants, versorgen jedoch mehrere Klassenräume. Die Installationskosten sind abhängig von dem Ausmaß des erforderlichen Leitungsnetzes. Im Bereich der Trakte 1 und 2 sind nur kur-

²² www.mb-systemtechnik.de/produkte_co2_messung_co2_ampel_wandmontage.htm

Zugriff: 01/2013

²³ <http://www.ms-bauelemente-24-gmbh.de/GEZE-Elektroantrieb-E-212-R>

Zugriff: 01/2013

²⁴ www.felderer.de/Media/Documents/881/WG_03_2012.pdf

Zugriff: 01/2013

²⁵ Wert von 2011 aus der Energiebilanzierung der KLS

ze Leitungswege nötig, um die Klassenräume zu versorgen, dies sorgt für geringe Kosten. Die laufenden Kosten sind geringer als die der dezentralen Anlagen. Hier muss nur ein Gerät für mehrere Klassenräume betrieben und gewartet werden. Ob nun dezentrale oder semi-zentrale Geräte wirtschaftlicher sind, muss für den Bereich der Trakte 1 und 2 anhand von konkreten Anfragen ermittelt werden.

Wie in der Energieeinsparungsrechnung ist auch in der Kostenrechnung das Gesamtkonzept der Sanierung zu betrachten. Es ist möglich, dass der Einsatz von ventilatorgesteuerten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungssystem im direkten Kosten-/ Einsparungsvergleich eine negative Bilanz erzielt. Diese negative Bilanz wird jedoch durch die Einsparungseffekte anderer Maßnahmen, wie z.B. der Sanierung der Gebäudehülle aufgefangen. Die Installation, der bereits im Rahmen des Schulprojektes „Grüne Käte“ angedachten Photovoltaik- Anlagen, wäre eine gute Möglichkeit, den zusätzlichen Strombedarf zu decken. Staatliche Förderungen der Sanierungsmaßnahmen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit zusätzlich.

5.13. Fazit

Studien belegen, dass die Luftqualität Einfluss auf unser Wohlbefinden und unsere Leistungsfähigkeit hat. Normen und Richtlinien legen Richtwerte zur Auslegung und den Betrieb von Lüftungssystemen fest. Dennoch zeigen viele Untersuchungen, dass die Luftqualität in den Klassenräumen Deutschlands häufig unzureichend ist. Die meist älteren Schulgebäude ermöglichen häufig nur unzureichende Fensterlüftung, mechanische Lüftungssysteme sind nicht verbaut. Den Nutzern ist der Einfluss der Luftqualität oft nicht bewusst und gelüftet wird meist zu wenig und viel zu häufig falsch. Diese Probleme gibt es auch an der KLS. Das übliche Fensterlüftungssystem mit Fenstern, die aus Sicherheitsgründen nur auf Kippstellung geöffnet werden können und ein falsches Nutzerverhalten, führen zu schlechter Luft und erhöhten Energiekosten. Um den Schülerinnen und Schülern ein optimales Lernumfeld zu schaffen und im Zuge der steigenden Energiepreise, ist es nötig, das Bewusstsein der verantwortlichen Personen zum Thema Lüftung zu schärfen.

Um kurzfristig und ohne große Kosten eine Verbesserung zu erzielen, ist die Optimierung der vorhandenen Fensterlüftung ein gutes Mittel. Dies reicht allerdings nicht in allen Räumen aus, um eine gute Luftqualität zu erzielen. Hier ist der Einsatz von ventilatorgesteuerten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungssystem eine geeignete Möglichkeit. Im Zuge eventuell anstehender Sanierungsarbeiten zur energetischen Verbesserung der Schule, sollte eine großflächige Ausstattung mit ventilatorgesteuerten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungssystem in Erwägung gezogen werden. Diese führen neben der Heizenergie- und CO₂- Emissions- Einsparung zu einer erheblichen Komfortsteigerung und einer durchgängig guten Luftqualität.

Bilderverzeichnis

- Abb.4: <http://www.riedel-at.de>
- Abb.5: <http://www.waerme.danfoss.com>
- Abb.6: <http://www.riedel-at.de>
- Abb.7: <http://www.riedel-at.de>
- Abb.10: <http://www.lighting.philips.de>
- Abb.12: <http://www.pro-smart-metering.de>
- Abb.18: <http://www.volksstimme.de>
- Abb.19: <http://www.brand-feuer.de>
- Abb. 20: <http://www.planungsbuero-kagel.de>
- Abb. 21: <http://www.huebner-metallbau.de>
- Abb. 26: Grundrisszeichnungen KLS
- Abb. 27: Grundrisszeichnungen KLS
- Abb. 28: Eigenes Messprotokoll Handarbeitsklasse
- Abb. 29: www.ltm-ulm.de/de/Produktgruppen/LTM_dezent/Referenzen/528.php
Zugriff: 01/2013
- Abb. 30: www.rosenberg-gmbh.com/deutsch/content/kataloge/Rosenberg_Schulbox_DE.pdf
Zugriff: 01/2013
- Abb. 31: Software QUIRL/CO₂ 1.0
www.co2-modell.nlga.niedersachsen.de
Zugriff: 01/2013
- Abb. 32: www.mb-systemtechnik.de/produkte.htm#produkte_co2_messung
Zugriff: 01/2013
- Abb. 33: www.geze.de/geze/produkte/rwa-und-lueftungstechnik/lueftung/elektrische-lueftung.html
Zugriff: 01/2013
- Tab. 7: nach DIN EN 13779:2007-09
- Tab. 8: Technischen Regeln für Arbeitsstätten; ASR A3.6 S. 4
- Tab. 9: Zusammenfassung aus FKG Status- Report 22
www.downloads.fgk.de/174_SR_22_Schullueftung_V4_Internet_010611.pdf
Zugriff: 01/2013

Literaturverzeichnis

Jens Nävy – Facility Management – ISBN: 3-540-25164-2, 4.Auflage

DIN EN 1729-1:2006-09

Torsten Schoch - EnEV 2009 und DIN V 18599 Nichtwohnbau – ISBN: 987-3-410-21639-1,
2. Auflage

www.archibus.com

www.zvei.org / KNX_Energieeffizienzstudie_neu

www.zvei.org / raum_und_gebaeudeautomation_energieeffizient_0

www.mc-cluster.de/fileadmin/files/weissbuch_final.pdf / Prof. Dr Manfred Büchel VDI, Prof.
Dr Michael Vogeler, Weißbuch Gebäudeautomation

www.knx-gebaeudesysteme.de Beleuchtung Konstantlichtregelung

[www.trilux.com/fileadmin/redaktion/pdf/DE/ Kompetenz/ Anwendungsbereiche/](http://www.trilux.com/fileadmin/redaktion/pdf/DE/Kompetenz/Anwendungsbereiche/)

[Education /Schulbroschuere2/Neues-Licht-fuer-Schulen-planen-TRILUX.pdf](http://www.trilux.com/fileadmin/redaktion/pdf/DE/Kompetenz/Anwendungsbereiche/Education/Schulbroschuere2/Neues-Licht-fuer-Schulen-planen-TRILUX.pdf)

Frauenhofer Institut, Bauphysik

Bericht „Raumklima und Schülerleistung“

<https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-23991-Band%202.pdf>

Zugriff: 01/2013

Fachverband Gebäude-Klima e. V.

Informationsschrift „Status-Report 22, Lüftung von Schulen“

http://www.downloads.fgk.de/174_SR_22_Schullueftung_V4_Internet_010611.pdf

Zugriff: 01/2013

DIN EN 13779:2007-09

Technischen Regeln für Arbeitsstätten; ASR A3.6

www.ltm-ulm.de

Zugriff: 01/2013

www.rosenberg-gmbh.com

Zugriff: 01/2013