

**Bewilligungsempfänger:**

Stadt Nordhorn - Hochbauamt  
Bentheimer Str. 14, 48522 Nordhorn

**„Neubau des „Schulzentrums Mitte“ in Nordhorn  
in einem dem Passivhausstandard angenäherten  
Energiestandard unter besonderer  
Berücksichtigung der Raumlufthqualität“**

**Endbericht (Abschluss Teil 2)  
Ergebnisse der Evaluation**

über ein Forschungsprojekt, gefördert unter dem Az 24515  
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

**Kooperationspartner und Verfasser:**

Architektur Contor Müller Schlüter  
Dipl. Ing. Michael Müller  
Prof. Christian Schlüter  
Hofaue 55, 42103 Wuppertal,  
[info@acms-architekten.de](mailto:info@acms-architekten.de)

Architektur- und Ingenieurbüro Bouws  
Dipl. Ing. Johann Bouws  
Neuenhauser Str. 196, 48527 Nordhorn  
[architektur@bouws.de](mailto:architektur@bouws.de)

Büro für umweltverträgliche Energiesysteme  
Ingenieurbüro Morhenne & Partner GbR  
Dr. Ing. Joachim Morhenne  
Schülkestr. 10, 42277 Wuppertal  
[info@morhenne.com](mailto:info@morhenne.com)

Nordhorn Oktober 2010

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>24515</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>247.535,- €</b>
<b>Antragstitel</b>	<b>Neubau des „Schulzentrums Mitte“ in Nordhorn in einem dem Passivhausstandard angenährten Energiestandard unter besonderer Berücksichtigung der Raumluftqualität</b>				
<b>Stichworte</b>	Energiestandard, Raumluftqualität, Kostenniveau				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>4 Jahre</b>	<b>18.05.2006</b>	<b>31.07.2010</b>	<b>2</b>		
Zwischenberichte	nach (Abschluss Teil 1) 04/2008				
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Stadt Nordhorn - Hochbauamt Bentheimer Str. 14 48522 Nordhorn			Tel	05921-878-277
				Fax	05921-878-278
<b>Kooperationspartner</b>	Architektur Contor Müller Schlüter, Hofaue 55, 42103 Wuppertal				
	Architektur- und Ingenieurbüro Bouws, Neuenhauser Str. 196, 48527 Nordhorn Büro für umweltverträgliche Energiesysteme, Ingenieurbüro Morhenne & Partner GbR, Schülkestr. 10, 42277 Wuppertal				

### **Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

Es fehlen in den Schulalltag umsetzbare Normen und Richtlinien zur Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden. Der Handlungsbedarf ist in der Fachwelt in den letzten Jahren zunehmend angezeigt worden. Mit diversen Studien wurde nachgewiesen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit, Reaktionsvermögen und Aufmerksamkeit und Luftqualität besteht.

Das Hochbauamt hat im o.g. Bauvorhaben den Versuch unternommen, exemplarisch für die zukünftigen Schulbauten der Stadt Nordhorn ein kosten- und ressourcengünstiges Konzept zu entwickeln, welches dem ausgeführten Sachverhalt Rechnung trägt. Ein solches Referenzgebäude für Nordhorn kann ebenfalls bundesweit relevant werden.

Voraussetzung hierfür ist es jedoch, dass die von spezialisierten Planern erarbeitete Ausführungsplanung über Zusatzuntersuchungen, Simulationen und Messungen differenzierter überprüft wird und die Ergebnisse ausführlich dokumentiert werden.

Ziel ist es, in einem zweigeteilten Verfahren allgemeine Planungsreferenzen (Leitfaden) für Schulgebäude mit dauerhaft sichergestellter Innenraumlufthygiene unter Berücksichtigung der Investitions- und Unterhaltungskosten und eines realistischen Nutzerprofils zu erlangen.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

**Projektphase 1:** Im ersten Projektteil sollen zunächst Referenzen zum Planungs- und Realisierungsverfahren erarbeitet und dokumentiert werden, die als Beschlussvorlage für die Freigabe zur Ausführung dienen.

**Projektphase 2:** Im zweiten Teil soll die Evaluation in der Nutzung über 2 Jahre erfolgen. Ziel der Evaluierung ist, die Luftqualität und den Aufwand zur Lüfterneuerung mit seinem Energiebedarf für Wärme und Antrieb zu ermitteln und weiterhin den Anlagenbetrieb bezüglich dieser Parameter zu optimieren. Dies bedeutet Luftmengen und Luftaustausch im Schulbetrieb zu variieren, in seinen Auswirkungen zu dokumentieren und gegebenenfalls den Stundenplänen anzupassen. Dabei werden Strategien im Rahmen einer begleitenden Simulation entwickelt, mit der Anlage umgesetzt und mittels Messwerten dokumentiert.

Weitere Evaluierungsaspekte sind der sommerliche Wärmeschutz und der Anlagenbau. Dazu sollen Nachtlüftung und notwendiger Energiebedarf im Hinblick auf Überhitzung und Innenraumklima untersucht werden, sowie Regelungsstrategien für diese Aspekte optimiert werden. Zu klären ist weiterhin inwieweit oder ob im Sommer während des Unterrichts auf eine maschinelle Lüftung verzichtet werden kann.

Die konzipierte Anlage ist bewusst mit geringem technischen Aufwand realisiert worden, um die Kosten gering halten zu können. Die Art der Auslegung und Umsetzung der Aufgabe ist daher kritisch zu prüfen und einer Bewertung zu unterziehen, um für künftige Planungen bessere Vorgaben machen zu können und Einfluss auf die Empfehlungen (z.B. Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), Hinweise zur Planung und Ausführung von raumlufttechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden) nehmen zu können. Dazu werden auch Untersuchungen zur Lüftungseffektivität insbesondere bei reduzierten Luftmengen vorgesehen.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Simulationsunterstützt wurden die technischen und baulichen Anlagen mit den jeweiligen Abhängigkeiten und Wirkungsweisen bzgl. verschiedener Ausführungsstandards gegenüber gestellt und differenzierte Kostenberechnungen zur ökonomischen Bewertung aufgelistet. Verglichen wurden die Planungen des Gebäudes im Standard EnEV, Standard EnEV mit Lüftung und Passivhausstandard.

Auffallend ist, dass der wesentliche Investitionskostenunterschied zwischen den Varianten mit und ohne Lüftungsanlage besteht. Die vergleichsweise sehr geringen Zusatzkosten, die bei einer weiterführenden Anhebung auf Passivhausstandard entstehen, können vernachlässigt werden. Unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Betriebskosten wurde aufgezeigt, dass in jedem Fall eine Kopplung von mechanischer Lüftung und Verbesserung des Energiestandards auf Passivhausstandard zu empfehlen ist.

In den Diskussionen konnte nicht nur nachgewiesen werden, dass ein Passivhausstandard zum Mindestkostenindex BKI realisiert werden kann, sondern auch, dass die Zusatzmaßnahmen bzgl. des EnEV-Standards nach 10 – 15 Jahren aufgrund reduzierter Unterhaltskosten wieder ausgeglichen werden können.

Bereits die durchgeführten Simulationen zu „Luft- und Raumqualität“, „Heizung und Energiebedarf“ und „Sommerlichem Komfort“ haben gezeigt, dass sowohl Heizung und Lüftung, als auch Maßnahmen zum Sonnenschutz und sommerlichem Wärmeschutz nicht unabhängig von einander gesehen werden können, sondern vielmehr sich beeinflussen. Gerade in energetisch optimierten Gebäuden spielt die exakte Abstimmung eine wesentliche Rolle. Diese Einflussgrößen konnten im durchgeführten Monitoringverfahren registriert, dokumentiert und nachgeregelt werden. Eine solche Einregelung des Gebäudes und Anpassung auf die speziellen Nutzeranforderungen sollte in jedem energieoptimiertem Gebäude durchgeführt werden.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Das rege Interesse an dem Projekt zeigt die Notwendigkeit bzw. den Bedarf an Referenzprojekten mit Aussagen zu den Wechselwirkungen von Energieeffizienz, Innenraumlufthygiene, Komfort (z.B. sommerlicher Wärmeschutz) sowie Herstellungs- und Betriebskosten. Über die vielfältigen stadtinternen Vorträge und Führungen zu und in dem Projekt gab es die folgenden Überregionalen Präsentationen:

1. Vortrag auf dem „2e internationale Passiefhuis Congress“ in Amsterdam am 02.04.2008
2. Beitrag zur 11. Internationale Passivhaustagung in Bregenz am 13. Und 14.04.2007
3. Erfahrungsaustausch FOS / BOS Erding am 15.04.2008
4. Besichtigung des Schulgebäudes durch Vertreter der Stadt Osnabrück am 06.08.2008
5. Vortrag auf der 12. Eckernförder Fachtagung „Gebäude energetisch optimieren – Energieeffiziente Sanierung“ in Eckernförde am 07.11.2008
6. Besichtigung des Schulgebäudes durch die „Stiftung Passief Huis Holland“ sowie Vertreter der Gemeinde 's-Hertogenbosch und der Wohnungsbaugenossenschaft Brabant Wonen am 04.03.2009
7. Fachreferat auf der 13. Internationalen Passivhaustagung in Frankfurt am Main in der Arbeitsgruppe „Mehrwert Passivhaus – Nutzerkomfort und Wirtschaftlichkeit“ am 17. und 18.04.2009
8. Vorstellung des Gebäudes am „Tag der Architektur“ in Nordhorn am 28.06.2009
9. Vortrag bei der ENNW (Energie Netzwerk Nordwest) in Oldenburg am 08.12.2009, Veranstaltungstitel: Bauen im Passivhausstandard
10. Vortrag bei der VHW (Bundesverband für Wohnen und Stadtentwicklung e.V.) in Hannover am 02.06.2010, Veranstaltungstitel: Perspektiven der Passivhausbauweise – Erfahrungen bei Neubau und Modernisierung von Schulen und Turnhallen
11. Vortrag bei der DBU: in Osnabrück am 28.09.2010 Veranstaltungstitel: Schulbau im Kontext von Ökonomie und Ökologie
12. Vortrag an der Bergischen Universität Wuppertal – Fachbereich Architektur – btga, Lehrstuhl Prof. Dr. Ing. K. Voss „Schulbaustandard“ am 27.10.2010
13. Vortrag auf dem Kongress der GebäudeEffizienz in Frankfurt am Main am 09.11.2010  
Kongresstitel: GebäudeEffizienz - Die ökonomische Qualität innovativer Gebäudeautomation und Services

## **Fazit**

Das Passivhaus Schulzentrum Nordhorn hat seine Zielwerte erreicht, sowohl der Energiebedarf als auch die Luftqualität liegt im konzipierten Bereich bzw. übertrifft sogar die Zielwerte.

Für künftige Planungen ist die weitergehende Diskussion bezüglich Luftqualität und CO<sub>2</sub>-Grenzwerte zu verfolgen. Insbesondere der Aspekt der Leistungssteigerung durch gute Luft muss einer Untersuchung unterzogen werden, wo die Grenzwerte anzusetzen sind.

Die realisierte Lösung erzeugte eine hohe Zufriedenheit und zeigt, dass die Integration einer Lüftungsanlage bereits die wesentlichen Investitionen für ein Passivhaus umfasst und deshalb anzustreben ist.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	5
Tabellenverzeichnis .....	5
Zusammenfassung .....	5
1 Einführung .....	6
2 Vorschriften, relevante Normen und Empfehlungen.....	7
3 Bewertung der technischen Lösungen.....	9
3.1 Schulen als Nutzungstyp .....	9
3.2 Gebäudebeschreibung und energetische Qualitäten .....	9
3.3 Beurteilung des Konzeptes .....	10
3.4 Beurteilung der technischen Lösung im Bereich Lüftung.....	12
3.4.1 Bewertung der Anlage .....	12
3.4.2 Anlagenbetrieb und Auslegung .....	13
3.4.3 Luftmengen und Innenraumfeuchte.....	15
3.4.4 Wärmerückgewinnung.....	15
3.4.5 Wartung und Stromverbrauch .....	15
3.4.6 Variation der Luftmengen.....	16
3.5 Beurteilung der Heizungstechnik.....	17
3.6 Beurteilung der Regelungstechnik .....	18
3.6.1 Regelungsbeschreibung.....	19
3.6.2 Sonnenschutzsteuerung.....	20
3.7 Sommerlicher Wärmeschutz .....	20
3.7.1 Einführung .....	20
3.7.2 Sommerlicher Wärmeschutz in der Passivhausschule Nordhorn.....	20
3.7.3 Die Flurbereiche.....	25
3.8 Komfortbewertung nach DIN EN 15251.....	26
3.9 Heizung und Innentemperatur im Winter .....	27
4 Fazit .....	28
Literaturverzeichnis.....	29

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausgeführtes Luftleitungsnetz mit Verlegung von Zu- und Abluft übereinander an der Wand zum Flur.....	9
Abbildung 2: Schnitt und Ansicht der Lüftungsintallation in einer Klasse –rot Zuluftkanal, gelb Abluftkanal, grau Quellluftauslass, blau Heizkörper.....	12
Abbildung 3: Gemessene Luftqualität in einer Klasse.....	14
Abbildung 4: Raumtemperaturverlauf Klasse West in der Übergangszeit.....	22
Abbildung 5: Temperaturverlauf in einer Klasse am heißesten Tag des Jahres 2009.....	23
Abbildung 6: Nachtauskühlung mit der Lüftungsanlage (Nachtlüftung) nach extrem warmen Tag.....	24
Abbildung 7: Raum am Extremtag weitgehend ungenutzt aber mit Orientierung Ost (Lüftung an).....	25

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: U-Werte der Konstruktionen.....	9
--	---

## Zusammenfassung

Mit dem Passivhausneubau des Schulzentrums Nordhorn kann gezeigt werden, dass auch mit geringem Budget ein energieeffizientes Gebäude erstellt werden kann, das den gestiegenen Anforderungen an Komfort und Qualität gerecht wird. Die gemessenen Energiekennzahlen liegen nur geringfügig oberhalb der prognostizierten Werte – gemessen wurde 23,4 kWh/m<sup>2</sup> in 2008/2009 und 27 kWh/m<sup>2</sup> in 2009/2010. Die Erweiterung der Nutzung mit längeren Betriebszeiten der Anlagen und höherem Luftwechsel ist in diesem Wert zu berücksichtigen. Die Luftqualität mit dem Indikator CO<sub>2</sub> – Konzentration zeigt eine mittlere bis gute Luftqualität; 1200 ppm werden als Spitzenwert nicht überschritten. Die installierte Verdrängungslüftung mit einem Auslegewert für die ausgetauschten Luftmengen von 22 m<sup>3</sup>/h und Person hat sich bewährt und der sommerliche Komfort ist dank Nachtlüftung gegenüber Vergleichsgebäuden stark verbessert. Der Energiebedarf für den Betrieb der Anlagen beträgt 5,1 kWh/m<sup>2</sup>a (Strom).

## 1 Einführung

Ziel der zweiten Projektphase ist die Evaluierung des Gebäudes hinsichtlich Energiebedarf, Komfort und Funktion der technischen Ausrüstung und gegebenenfalls eine Feinjustierung und Optimierung zum Erhalt einer möglichst hohen Effizienz. Wie im ersten Teil des Berichtes dargestellt, erfolgte die Errichtung des Gebäudes unter hohen ökonomischen Zwängen, die sich auch in den Installationen teilweise niederschlugen. Ziel der Evaluierung ist daher auch festzustellen, ob eine kostengünstige Ausstattung der Heizungs- und Lüftungstechnik und der Verzicht auf technisch mögliche Ausstattungen die Funktion und Gebrauchstauglichkeit dieser Anlagen und die Nutzungsanforderungen beeinträchtigt und welche Betriebserfahrungen mit dem Gebäude gesammelt werden konnten. Zur Evaluation wurden weitgehend die zum Gebäudebetrieb installierten Komponenten der Steuer- und Regeltechnik genutzt, um globale Aussagen und den funktionalen Nachweis der zum Gebäudebetrieb installierten Technik zu gewinnen. Dieser Bericht ist daher in Zusammenhang mit Teil 1 zu sehen, in dem das Passivhausgebäude und der Planungsprozess des Neubaus des Schulzentrums Nordhorn dargestellt sind.

Wegen der fortgeschrittenen Entwicklung und zur Einführung wird der Aspekt der Luftqualität in Schulen<sup>1</sup> nochmals im folgenden Kapitel diskutiert, da in der Zwischenzeit in Fachkreisen auch eine weitergehende Diskussion geführt wurde.

---

<sup>1</sup> Die Luftqualität in Unterrichtsräumen ist ein wesentlicher Aspekt zur Umsetzung des Planungskonzeptes für die Passivhausschule gewesen. Im ersten Teil des Berichtes konnte gezeigt werden, dass unter der Prämisse, dass eine höhere Luftqualität für den Unterricht notwendig ist, der Schritt zur Errichtung einer Passivhausschule konsequent ist und nur noch mit geringen bzw. ohne zusätzliche Kosten umsetzbar ist.

## 2 Vorschriften, relevante Normen und Empfehlungen

Die Lüftung von Schulen unterliegt den baurechtlichen Bestimmungen der Länder, Normen beziehen sich in der Regel auf den Fall der mechanischen Belüftung von Nichtwohngebäuden, speziell für Schulen sind Empfehlungen (AMEV /1/, Bundesumweltamt /2/) vorhanden. In beiden Empfehlungen wird eine maschinelle Belüftung nur in Ausnahmefällen als notwendig erachtet.

Die Luftqualität in Schulen als Nichtwohngebäude kann nach DIN EN 13779 /3/ bewertet werden, wenn Lüftungstechnische Anlagen installiert sind.

In der aktuellen Fachdiskussion wird eine mangelnde Luftqualität in Schulen ohne Lüftungstechnische Installationen aber nicht mehr in Frage gestellt und auch diese so bewertet, dass schlechte Luft dem Lernen nicht förderlich ist.

Die Luftqualität wird in den Empfehlungen jedoch nicht als Argumentation für eine generelle Ausstattung von Schulen mit Lüftungstechnik genutzt, sondern vielmehr in Richtung wie gelüftet werden muss, interpretiert.

Die Empfehlung des Bundesumweltamtes aus dem Jahr 2000 wurde zwischenzeitlich dazu durch eine neue Empfehlung ersetzt. Es wird in der Einführung von einem Paradigmenwechsel gesprochen, der sich im neuen Leitfaden jedoch nicht finden lässt und in den Empfehlungen immer noch keinen Niederschlag findet. Im alten wie neuen Leitfaden wird das Lüften über Fenster beschrieben – ausgeführt wird das „Wie des Lüftens“ – also durch Stosslüftung etc.. Das mit dieser Art des Lüftens keine ausreichende Luftqualität erreichbar wird, kann jedoch zwischen den Zeilen gelesen werden. Die Notwendigkeit von zusätzlichen Lüftungszeiten außerhalb der Pausen wird dargestellt. Eine Häufigkeit für die „Zwischlüftungsvorgänge“ wird aber nicht angegeben. Der Vorgang des Lüftens ist aber auch so komplex, dass eine Angabe von einer notwendigen Zeitdauer (5 – 10 min) keine wirklich nutzbare Handlungsempfehlung enthält.

Ein zu Beginn dieses Jahres ausgerichtetes Symposium des Verbundvorhabens „Innovative Lüftungstechnik in Schulen - Hybride Lüftung“ gefördert durch den Projektträger Jülich des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, veranstaltet von der Fraunhofergesellschaft FHG-IBP /4/ bestätigt die recherchierten Ergebnisse zu mangelhafter Luftqualität in Schulgebäuden und nennt im Vortrag von Bischof /5/ auch Grenzwerte und hygienische Anforderungen. Es wird von einer signifikanten Leistungssteigerung gesprochen, wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Mittel von 1300 ppm auf 900 ppm und in den Spitzenwerten von 1700 auf 1100 ppm gesenkt wird. Quellen für solchen Untersuchungen wurden leider nicht genannt – diese würden die aktuelle Diskussion jedoch maßgeblich beeinflussen und die Ausrüstung von Schulen mit effizienter Lüftungstechnik fördern. Weiterhin werden auch Ergebnisse zu einer

verringerten Zahl von Infizierten durch Krankheitserreger (Grippe, Masern und Rhinoviren) vorgestellt, die mit einer verbesserten Luftqualität mit CO<sub>2</sub> als Indikator korreliert. Die Grenzwerte für CO<sub>2</sub> werden aus hygienischer Sicht auf 1000 ppm gesetzt. Dieser Wert liegt im Übergangsbereich von IDA 2 zu IDA 3. IDA<sup>2</sup> wird in der DIN EN 13779 als mittlere Raumlufthqualität ausgewiesen (400-600 ppm über der Außenkonzentration); IDA 3 wird als mäßige Raumlufthqualität bezeichnet und umfasst den Bereich 600-1000 ppm CO<sub>2</sub> über der Außenluftkonzentration. Mit den in der Norm ebenfalls genannten Frischluftmengen, die zum Erreichen der entsprechenden Raumlufthqualität ausgetauscht werden müssen, wird deutlich, dass die aus älteren Normen bekannten Luftmengen pro Person von 30 m<sup>3</sup>/h nur die Qualität IDA 3 erwarten lassen. Für die Qualität IDA 2 sind typischerweise 36 -54 m<sup>3</sup>/h und Person notwendig. In der AMEV Richtlinie für Lüftungsanlagen in öffentlichen Gebäuden ist ein Passus enthalten, der die Lüftungseffizienz betrifft und deutlich niedrigere Frischluftmengen für die Verdrängungslüftung ausweist; in diesem Fall sind 22 statt 30 m<sup>3</sup>/h pro Person bei geringerer Verunreinigung der Räume zuzuführen. In der DIN EN 13779 wird dieser Aspekt in die Erfahrung des Planers gestellt - im Anhang E wird die Lüftungseffektivität der Verdrängungslüftung mit 1-2 angegeben. Im betrachteten Gebäude fand die AMEV Richtlinie Anwendung und wurde auch durch die Messwerte bestätigt, die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration lag bei etwa 1200 ppm (s. Kap 3.4.2), im Mittel liegt sie in der Unterrichtszeit bei knapp 1000 ppm.

In den folgenden Kapiteln wird die Umsetzung der in Teil 1 beschriebenen Planung anhand der Erfahrungen aus dem laufenden Gebäudebetrieb bewertet.

---

<sup>2</sup> IDA bezeichnet die Raumlufth in der Norm, die angehängte Zahl (1-4) deren Qualität

### 3 Bewertung der technischen Lösungen

#### 3.1 Schulen als Nutzungstyp

Schulen weisen gegenüber Wohn- und Verwaltungsbauten aus der Nutzung heraus einige Besonderheiten auf, die Konsequenzen in der Auslegung und dem Betrieb der technischen Anlagen erfordern. Die sind:

1. Hohe Belegdichte mit Schülern
2. Eingeschränkte Nutzungszeiten
3. hohe Fensterflächenanteile

Punkt 1 bedingt hohe Wärmefreisetzung durch die SchülerInnen und einen hohen Luftbedarf für eine ausreichende Luftqualität. Die Konsequenzen sind Probleme mit Überhitzung und die Notwendigkeit Heizung und Lüftung schnell auf den Bedarf einzustellen. Positiv ist, dass Schulen nach festen Betriebsschemen genutzt werden. Die freigesetzte Wärme in Kombination mit großen Verglasungen und hohem Luftwechsel führt ohne Gegenmaßnahmen zu Überhitzung und unzureichendem Komfort. Technisches Konzept und Gebäudekonzept müssen daher aufeinander abgestimmt sein, um eine komfortable Nutzung zu ermöglichen.

#### 3.2 Gebäudebeschreibung und energetische Qualitäten

Die in Teil 1 dargestellten Bauteilqualitäten wurden mit geringen Ausnahmen umgesetzt. Die einzelnen Bauteile und Konstruktionen können auch /6/ entnommen werden.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die realisierten U-Werte und Konstruktionen:

Tabelle 1: U-Werte der Konstruktionen

Bauteil	Konstruktionsbeschreibung	U-wert
		W/m <sup>2</sup> K
Boden	Plattengründung auf Schaumglasschotter	0,18
Wand	Holzrahmenkonstruktion	0,13
	Massivwand	0,16
Fenster	Klassen Pfostenriegelkonstruktion	0,89
	Türen: Wärmeschutzverglasung	
Dach	Beton Gründach	0,1
	Wärmedämmung 380 mm	
Innenwände	Beton	

Die berechnete Energiekennzahl unter Berücksichtigung der realen Laufzeiten der Anlagen und der Ist-Konstruktionen ergibt nach dem PHPP Verfahren für die beiden Gebäudeteile<sup>3</sup> 17 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Laufzeit der Lüftungsanlage hat einen Einfluss von 1,8 kWh/m<sup>2</sup>a je zusätzlicher Betriebsstunde. Gegenüber den Planungswerten wurde die Laufzeit für zusätzlichen Unterricht und zusätzliche Spülzeiten des Gebäudes um 2,5 h verlängert, so dass die Energiekennzahl für den aktuellen Betrieb des Gebäudes nach PHPP bei 21 kWh/m<sup>2</sup>a liegt.

### 3.3 Beurteilung des Konzeptes

Das Versorgungskonzept weist gegenüber typischen Passivlösungen einige Abweichungen auf, die insbesondere die Beheizung betreffen. Aus Gründen der besseren Regelbarkeit und Flexibilität sowie aus energetischen Gründen wurde das Gebäude nur mit einer passivhaustauglichen Anlage belüftet, aber nicht mit Luft beheizt. Dies ermöglicht den Einsatz einer Verdrängungslüftung – die Vorteile dieses Lüftungsprinzips sind:

1. Bessere Luftqualität bei geringeren Luftmengen durch höhere Lüftungseffizienz
2. Energetische Vorteile durch geringere Frischluftmengen
3. Energetische Vorteile durch geringere Antriebsleistung
4. Energetische Vorteile durch Einzelraumregelung
5. Höherer Komfort durch Einzelraumregelung
6. Kostenvorteile durch kleinere Lüftungsanlage
7. Bauliche Vorteile durch geringere Kanalquerschnitte

Sie bedingt aber auch:

8. Zulufttemperatur unterhalb der Raumlufthtemperatur und damit nicht als Luftheizung einsetzbar
9. Zusatzkosten für Heizflächen und Heiznetz
10. Flächenbedarf für Quelllüftung

Es stellt sich daher die Frage, inwieweit diese Planungsannahmen durch den Gebäudebetrieb bestätigt werden.

Im Planungsstadium war von einer weitgehend ausgeglichenen Temperatur im gesamten Gebäude ausgegangen worden. Dieses in Wohngebäuden typische Passivhausverhalten tritt jedoch in Schulgebäuden nicht auf, wenn die Klassen be- und entlüftet werden und Überströmen nur auf WC Bereiche beschränkt ist.

---

<sup>3</sup> Gewichtet jeweils über die Flächenanteile der beiden Baukörper

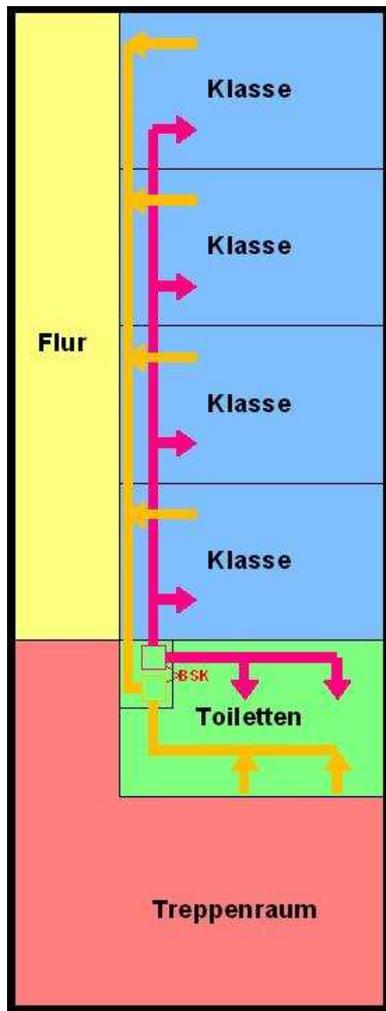


Abbildung 1: Ausgeführte Variante mit Verlegung von Zu- und Abluft übereinander an der Wand zum Flur

Die gewählte Variante ermöglicht die volle Höhe im Flur und erfordert nur einen geringen Aufwand für Brandschutzklappen, so dass sie auch nach Durchführung weiterer Schulbauten noch immer als gute Lösung erscheint. Sie besitzt zudem ein akzeptables Schalldämmmaß zwischen den Klassen und auch zum Flur. Die Abkofferung in den Klassen an der flurangrenzenden Wand lässt sich zudem in Schranksysteme integrieren und mit der Waschtischinstallation oder der Garderobe kombinieren.

Sie ist jedoch bei Beschränkung auf Schrankbreite bzw. schrankähnliche Breiten in der Führung der Luftmengen begrenzt. Mehr als 4 Klassen sind unter den Bedingungen geringer Druckverlust und Belegung der Klassen mit 25 Schülern nicht anschließbar; höhere Schülerzahlen begrenzen die Zahl weiter. Andere Grundrisse bedingen eine zweiseitige Erschließung mit einem zentralen Anbindeschacht in der Mitte.

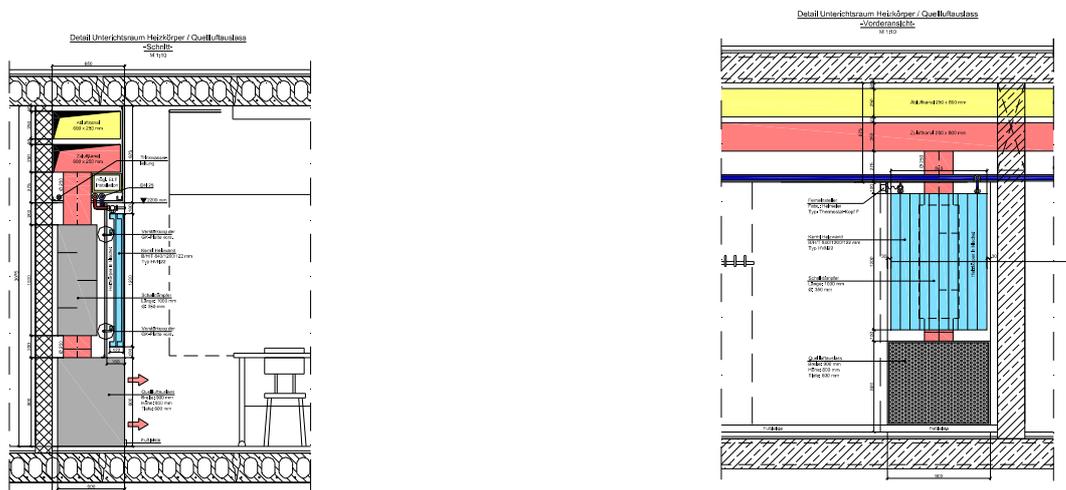
Die Schallschutzanforderungen an die Trennwand zwischen den Klassen können mit einer solchen Anforderung eingehalten werden. Notwendig ist jedoch das Einbetten der Luftkanäle im Bereich der Wanddurchführung in ein dämpfendes Material wie z.B. Steinwolle. Die Messungen des Schallschutzes zeigt auch die Einhaltung der Anforderung bzw. ein Schalldämmmaß von 47 dB.

Die Beheizung des Gebäudes über Heizkörper wird trotz der hierzu notwendigen Investitionen positiv bewertet und weist neben den Vorteilen der individuellen einstellbaren Einzelraumtemperatur auch unter dem Aspekt die Verteilverluste niedrig zu halten, Vorteile auf, da die Oberfläche der Verteilleitungen eines Heizungsnetzes deutlich kleiner als die einer entsprechenden Lüftungsanlage ist und auch in der Regel besser wärmedämmend werden kann bzw. wärmedämmend ist. Allein zur Beheizung mit Luft wären deutlich niedrigere Luftmengen als zur Belüftung notwendig, die Anlage müsste dafür in einem unteren Betriebspunkt laufen, der meist weniger effizient ist und zudem zusätzlichen Regelaufwand erfordert.

### 3.4 Beurteilung der technischen Lösung im Bereich Lüftung

#### 3.4.1 Bewertung der Anlage

Die ausgeführte Lösung wurde unter dem Aspekt von minimalen Baukosten ausgeführt.



**Abbildung 2: Schnitt und Ansicht der Lüftungsinstallation in einer Klasse –rot Zuluftkanal, gelb Abluftkanal, grau Quellluftauslass, blau Heizkörper**

Aufgrund der seitlichen und unteren Beschränkung der Abkofferung für die Lüftungskanäle ergeben sich Einschränkungen, die seitliche Abluftführungen nicht zulassen. Die Abluft enthält im Auslass deshalb keinen Schalldämpfer, dieser ist als Kulisse zwischen den Klassen installiert; nur so ist es möglich ohne Verbreiterung der

Abkofferung Zu- und Abluft im vorgegebenen Raum zu führen. Kritisch bei dieser Installation ist die Klasse mit dem größten Kanalquerschnitt, da dort auch der Druck im System am größten ist. Die Abluft wird direkt über einen Mengeneinstellsatz und Gitter an den Kanal angeschlossen und muss den Druck zum Raum hin abbauen.

Strömungsgeräusche sind das Risiko und diese wurden in der jeweils ersten Klasse eines Stranges auch festgestellt. Der gemessene Schallpegel beträgt in den Klassen 33 – 35 dB(A) im ungünstigsten Fall 37 dB(A); zulässig wären nach Richtlinie 40 dB (A), dieser Wert ist jedoch eindeutig zu hoch und die Empfehlung ist 35 dB nicht zu überschreiten<sup>4</sup> bzw. sogar zu unterschreiten.

Zur Vermeidung von Schallübertragung aus den Nachbarräumen ist es immer notwendig einen Schalldämpfer zu installieren; die Empfehlung ist daher, diesen außerhalb des Lüftungskanals vor dem Einlass zu installieren und die hier vorhandenen Kulissenschalldämpfer im Kanal zu ersetzen. Die Drücke im Kanal sinken dadurch und Strömungsgeräusche durch Drossel oder Volumenstromregler werden durch den Schalldämpfer reduziert. Der Schalldämpfer ist jedoch innerhalb der Abkofferung mit der gezeigten Breite nicht unterzubringen, er ist daher in die Akustikdecke zu integrieren oder sichtbar einzubauen.

Die gezeigte Installation wurde mit Einstelldrosseln ausgeschrieben, da diese gegenüber Volumenstromreglern zum einen Kostenvorteile haben, aber zum anderen auch zu einem niedrigeren Druck im System führen und damit den Stromverbrauch der Anlage senken<sup>5</sup>. Das Einregulieren der Anlage wird jedoch deutlich schwieriger, was sich in unzureichender Einstellung äußert, da dieser Arbeitspunkt vom Handwerk meist unterschätzt und häufig nicht korrekt ausgeführt wird - es ist jedoch ausführbar und im Hinblick auf eine konsequente Umsetzung der Passivhaustechnik zu empfehlen. In der Anlage Nordhorn musste dieser Punkt mehrfach nachgebessert werden und erforderte auch einen erhöhten Kontrollaufwand.

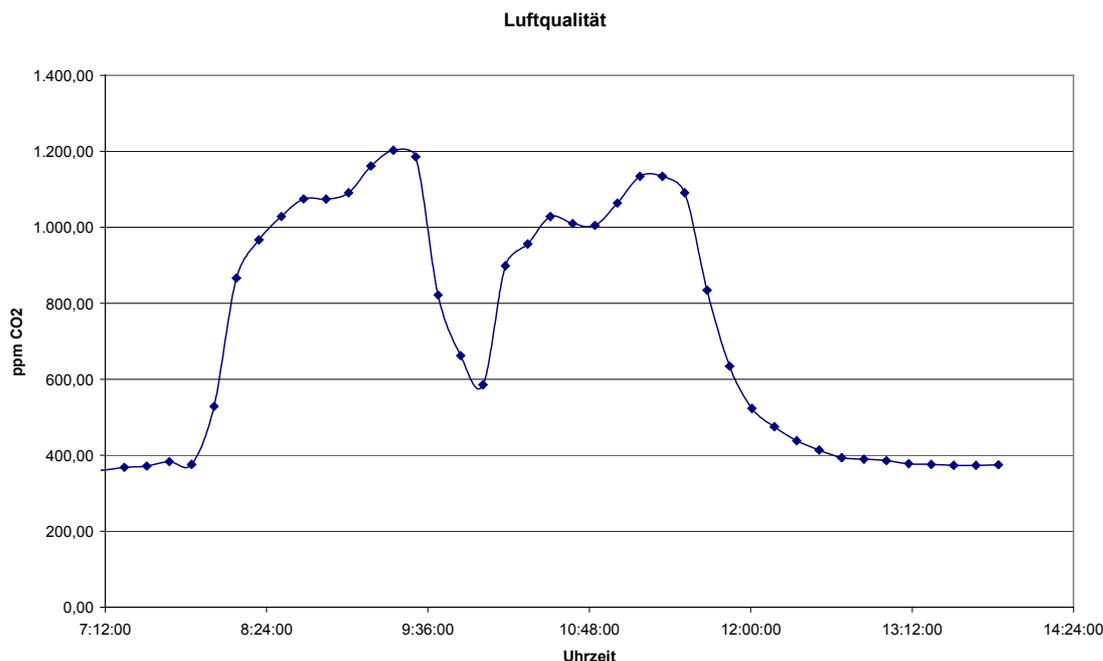
### **3.4.2 Anlagenbetrieb und Auslegung**

Einen typischen Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einer Klasse zeigt die folgende Abbildung.

---

<sup>4</sup> dieser Wert mag hoch erscheinen, ist jedoch bei dem in Schulen typischen Geräuschpegel als ausreichend anzusehen – nur bei absolut ruhigem Verhalten werden die Geräusche der Lüftung wahrgenommen

<sup>5</sup> Typischerweise sind für ein korrektes Regelverhalten eines Volumenstromreglers mindestens 50 Pa anzusetzen, die vom Ventilator zusätzlich aufgebracht werden müssen.



**Abbildung 3: Gemessene Luftqualität in einer Klasse**

Die Grenzwerte, die in der Planung mit < 1500 ppm gesetzt worden waren, werden unterschritten, die Auslegung gem. AMEV 2004 wird damit bestätigt. Die Spitzenwerte betragen über einen längeren Beobachtungszeitraum 1200 ppm, sie werden bei regulärer Belegung innerhalb jeder Unterrichtsstunde erreicht, aber auch innerhalb von Doppelstunden nicht überschritten. Die Luftqualität ist demzufolge gemäß DIN EN 13779 als IDA 2 -IDA 3 anzugeben, wobei die Qualität sich zeitabhängig ändert. Um verbliebene Gerüche abzuführen, wurden die Laufzeiten der Anlage jedoch durch den Betreiber erhöht, so wird vor Unterrichtsbeginn und nach dem Unterricht das Gebäude gespült. Gerüche sind in einzelnen Klassen auch Anlass zur Kritik, für pubertierende Jugendliche sind die CO<sub>2</sub> Werte als Indikator nicht allein für die empfundene Luftqualität entscheidend.

Auch im Bereich der Luftauslässe wurde vereinzelt Kritik geübt. Hintergrund ist jedoch, dass Schüler direkt an den Luftauslässen saßen, sie waren somit im Bereich der einströmenden, kühleren Luft. Die Bereiche direkt vor den Auslässen sollten ca. 2 m frei gehalten werden – dort wurden keine Beschwerden mehr geäußert.

Insgesamt überwiegt jedoch eine positive Bewertung der Lüftungstechnik-  
positiv wurden bewertet:

- deutlich geringere Beschwerden von Allergikern (Heuschnupfen)

- trotz der geäußerten Kritik an Gerüchen geringere Geruchsbelastung in den Klassen<sup>6</sup>
- niedrigere Staubbelastung
- bessere Luft als in Vergleichsklassen des Altbaus

Die Anlagenlaufzeit wurde zum einen für die Spülzeiten zum anderen aber auch durch Nutzungszeitverlängerungen erhöht. Je zusätzlicher Stunde Betriebszeit pro Tag erhöht sich die Energiekennzahl des Gebäudes um 1,8 kWh/m<sup>2</sup>a.

### 3.4.3 Luftmengen und Innenraumfeuchte

Wie eingangs gezeigt, wird in der aktuellen Diskussion ein Grenzwert von 1000 ppm CO<sub>2</sub> in der Raumluft favorisiert. Dazu muss die zugeführte Frischluftmenge pro Person deutlich erhöht werden. Ein höherer Luftaustausch trägt automatisch, insbesondere im Winter, zu einer Reduktion der Raumluftfeuchte bei. Zu niedrige Luftfeuchtigkeit führt zu Atemwegsbeschwerden und ist zu vermeiden. Im Gebäude des Schulzentrums wurde keine sehr niedrige Luftfeuchtigkeit gemessen, die Minimalwerte liegen leicht unterhalb von 40%. Bei Werten unterhalb von 30% werden Maßnahmen zur Kompensation empfohlen (Befeuchten oder Feuchterückgewinnung).

### 3.4.4 Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung (Regeneratordrad) wird durch die Regelung gesteuert (Drehzahl des Rades). Die Frostsicherung bzw. das Verhindern der Vereisung des Wärmetauschers erfolgt ebenfalls durch Drehzahländerung. Die Systeme funktionieren bisher störungsfrei.

Der Wärmerückgewinnungsgrad des Gerätes beträgt effektiv 74%, er wurde durch die Höhe der Lüftungszentrale, die ins Gebäude integriert ist, limitiert und kann nur durch einen vergrößerten Durchmesser des Regeneratordrades gesteigert werden.

### 3.4.5 Wartung und Stromverbrauch

Die Lüftungsanlage ist konstantdruckgeregelt, Verschmutzung der Filter wird daher durch diese Regelung ausgeglichen, ebenso wird die Anlage zeitweise im Teillastbetrieb gefahren (nur einzelne Zonen belüftet) – der Stromverbrauch ist daher nicht konstant. Der gemessene Leistungsbedarf beträgt im Mittel 0,51 W/m<sup>3</sup>h für die

---

<sup>6</sup> Eine Lüftungsanlage erhöht immer auch die Erwartungen in Richtung Klimatisierung und in Richtung Frischluft- bzw. Außenluftqualität – dies sind Wünsche, die aus energetischen und auch aus Kostengründen unerfüllbar sind

geförderte Luft. Er liegt oberhalb der Passivhauskriterien ( $< 0,45 \text{ W/m}^3\text{h}$ )<sup>7</sup>. Der gemessene Betriebsdruck liegt bei Vollast bei 140 Pa (Zuluft) bzw. 240 Pa (Abluft), diese Werte werden durch Kompromisse in Querungspassagen und Einbauten (Kulissen) hervorgerufen.

Bezogen auf die Gebäudenutzfläche bzw. die Energiebezugsfläche beträgt der durch die Lüftungsanlage verursachte Stromverbrauch  $5,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Dieser Wert beinhaltet den Betrieb der Anlage in der Schulzeit und auch die Nachtlüftung.

Die Filterstandzeit entspricht den üblichen Wartungsintervallen (einjährig), eingebaut sind F7 -Filter in der Frischluft und G5 Filter in der Abluft. Die Wartungskosten für die Lüftungsanlage betragen jährlich 705,50 €.

### 3.4.6 Variation der Luftmengen

Im Rahmen der Evaluation wurde auch – soweit dies die Anlage zulässt- untersucht, inwieweit Einsparpotential bezüglich Antriebsleistung und Energiebedarf zur Lufterwärmung durch Reduktion der Luftmengen besteht. Die Antriebsleistung für die Ventilatoren ist überproportional von den Widerständen im Lüftungsnetz abhängig, die wiederum stark von der Strömungsgeschwindigkeit und somit von der geförderten Luftmenge abhängig sind. Eine Erhöhung der Luftmenge zu einer weiteren Reduktion der  $\text{CO}_2$ -Konzentration ist jedoch wegen der dann zunehmenden Strömungsgeräusche nicht mehr möglich (s.Kap. 3.4.1).

Einer Absenkung der Luftmengen sind jedoch enge Grenzen gesetzt, da durch Veränderung der Luftmengen sich auch die Verteilung der Luft ändert, da die Strömungswiderstände im Verteilnetz sich nicht gleichmäßig ändern – es kommt somit zu einer veränderten Luftverteilung und eine neue Einstellung der Luftein- und Auslässe würde erforderlich.

Eine Reduktion der netzseitigen Drücke um 20 Pa in der Zu- und Abluft verändert die Volumenströme um ca. 8 %, die resultierende  $\text{CO}_2$ -Konzentration erhöht sich um 120 – 150 ppm in den Referenzräumen – im Hinblick auf die aktuelle Diskussion um noch niedrigere Grenzwerte wird dieser Aspekt derzeit als nicht umsetzbar angesehen.

---

<sup>7</sup> Der Leistungsbedarf ist bei großen Anlagen in der Regel trotz direktgetriebener hocheffizienter Ventilatoren höher als bei kleinen Anlagen, Ursache sind die Motoren (eingebaut wurde Eff1-Motoren), die aber gegenüber EC-Motoren noch Nachteile in der Effizienz haben, aber in der notwendigen Größe nicht verfügbar sind bzw. waren. Auch sind die großen Lüftungsgeräte intern mit höheren Druckverlusten behaftet als kleinere

### 3.5 Beurteilung der Heizungstechnik

Die im Schulzentrum installierte Heizungsanlage ist versorgungsseitig auf die in der nebenstehenden Realschule vorhandene Heizungsanlage, einem Gasbrennwertkessel, aufgeschaltet. Die Heizflächen wurden oberhalb der Quellluftauslässe, also an der Innenwand installiert (s. auch Abbildung 2). Die Fassade ist somit vollkommen frei von Installationen, was bezüglich der Luftdichtigkeit Vorteile bietet. Die Heizflächen wurden ohne Reserve (Aufheizleistung) ausgelegt, um zu verhindern, dass Nutzerfehlbedienungen zu einem erhöhten Energiebedarf führen. Die Installation oberhalb des Quelllüfters wurde hinsichtlich der Raumluchtströmung durch Einblasen von Nebel in die Zuluft überprüft, um sicherzustellen, dass bei Betrieb des Heizkörpers die Frischluft von der vom Heizkörper erzeugten Auftriebsströmung nicht angesaugt wird und zu schnell aufsteigt. Dies ist aufgrund der geringen Leistung nicht der Fall; zudem zeigt der Anlagenbetrieb, dass die Raumlufttemperatur mit Unterrichtsbeginn sehr schnell ansteigt und die Heizung sich deshalb nach kurzer Zeit abschaltet. Die Heizung bereitete jedoch innerhalb der Evaluationszeit erhebliche Probleme, die zum einen aus einem fehlenden hydraulischen Abgleich herrührte, zum anderen aber auch durch die Regelung hervorgerufen wurde (s. Kap. 3.6).

Der hydraulische Abgleich wurde zwar durch den Handwerker bestätigt, war jedoch nicht durchgeführt worden, so dass einzelne Heizkörper unterversorgt wurden. Die Regelung basiert auf der Kontrolle von 4 Referenzräumen und schaltet die zugeordneten Bereiche aus, wenn Grenztemperaturen überschritten werden. Sind in der jeweiligen Zone jedoch Räume, die mit unterversorgten Heizkörpern ausgestattet sind, so erreichen diese ihre Solltemperatur nicht. Wird der Raum zusätzlich von einer geringen Zahl von Schüler genutzt, erreicht er seine Solltemperatur nie. In Anlagen, die nur mit Thermostatventilen ausgestattet sind, tritt dieser Fall nicht auf, dort wird die Solltemperatur nur später erreicht, da durch das Abregeln der anderen Heizkörper unterversorgte Heizkörper ihre Sollwassermengen dann meist erhalten. Durch eine Auslegung mit zusätzlicher Aufheizleistung gem. DIN EN 12831 /10/ steht in konventionell ausgelegten Gebäuden auch meist eine höhere Leistung zur Verfügung, über die solche Defizite ausgeglichen werden.

Im Passivhaus wird ein solches Verhalten jedoch erst mit extremen Wetterbedingungen offenkundig. Diese traten im Winter 2008/2009 und auch im Winter 2009/2010 auf. Tageweise wurde sogar die Auslegungstemperatur unterschritten und die mangelhafte Hydraulik wurde offenkundig.

Aufgrund der von der Planung abweichenden Nutzung einzelner Klassen durch ein integratives Konzept mit geringerer Schülerzahl (nur 8 statt 25 Schüler) musste auch die Regelung verändert werden. Der Referenzraum musste zwingend in den Raum mit der verringerten internen Last verlegt werden, um die Heizung nicht zu früh abzuschalten.

Das Abschalten der Heizung führt zu Einsparungen sowohl zur Reduktion der Verteilverluste, die im Passivhaus wegen des geringeren Bedarfes einen relativ hohen Stellenwert einnehmen, als auch zur Reduktion von Antriebsenergie für die Pumpen.

### **3.6 Beurteilung der Regelungstechnik**

Das Gebäude wurde auch im Hinblick auf die Evaluation mit einer Gebäudeleittechnik (GLT) ausgestattet, die es ermöglicht, die ablaufenden Vorgänge zu dokumentieren und zu analysieren. Zur Erhöhung der Genauigkeit wurden dazu höherwertige Sensoren eingesetzt, als üblicherweise zu Regelzwecken verwendet werden.

Der Gebäudeleittechnik werden in der Literatur Energieeinsparpotentiale bis zu 30% zugeschrieben. Ob diese in einem Passivhaus erreicht werden, kann jedoch nicht beurteilt werden, da keine Erfahrungen mit Passivhäusern mit einer „normalen“ Regelausstattung vorliegen. Aufgrund des niedrigen Bedarfes von Passivhäusern erscheint eine solche pauschale Bewertung jedoch durchaus realistisch - Potential zur Einsparung besteht in der Wärmeverteilung, und der bedarfsgerechten Steuerung der Lüftungsanlage mit ihren Komponenten Wärmerückgewinnung, Frostsicherung Vereisungsschutz etc..

Die Vorteile der Gebäudeautomation mit GLT liegen eindeutig auch in ihrer Anwenderfreundlichkeit, Nutzungszeiten sind leicht anzupassen. Änderungen im Stundenplan, Ferienzeiten werden zentral eingegeben und nicht komponentenweise. Bei vorausgesetzter Pflege der Systeme kann davon ausgegangen werden, dass allein die Anpassung des Stundenplanes und der Feier- und Ferientage erhebliches Einsparpotential bietet – hier insbesondere die hohen Luftmengen, die dem Bedarf angepasst werden können. Die Abschaltung des Heiznetzes bei Erreichen der Solltemperatur bietet gerade wegen der hohen inneren Wärmefreisetzung und der eingeschränkten Nutzungszeiten erhebliches Energiesparpotential.

Gebäudeautomation kann natürlich erheblich ausgeweitet werden. Die Frage der Einzelraumregelung wurde in diesem Fall auch unter Kostengesichtspunkten nicht umgesetzt und auch die Steuerung des Sonnenschutzes wurde mit einer separaten Anlage aus den gleichen Gründen durchgeführt (s.Kap.3.6.2).

Der Besuch von Fachklassen führt zwar zur zeitweisen Nichtnutzung von einzelnen Klassen, es erfordert jedoch erheblichen Aufwand zur Erfassung und auch zur Umsetzung. Notwendig wären CO<sub>2</sub>-Sensoren und entsprechende Volumenstromregler, die bedarfsabhängig der jeweiligen Klasse dann Luft zuführen.

Aus Kostengründen wurde die Schule in nur vier Zonen unterteilt, Hintergrund für diese Aufteilung ist, dass Nutzungen außerhalb der regulären Schulzeiten in einer einzelnen Zonen stattfinden können und nicht die ganze Schule belüftet werden muss. Eine Zone umfasst ein Geschoss eines Gebäudeteiles; dies entspricht vier Klassen. Der

Schule wurde nahe gelegt Nutzungen sowohl zeitlich, als auch räumlich zu konzentrieren, um das Einsparpotential voll auszuschöpfen – dies erfolgt in der Regel jedoch nicht konsequent. Weiterhin unterliegt eine solche zusätzliche Nutzung immer der Einschätzung des Bedienpersonals, wie die Anlagen für den jeweiligen Fall freigegeben werden. Im SZ Nordhorn ist dieses Modell erfolgreich, es ist jedoch von Personen und deren Einstellung zur Thematik abhängig.

### **3.6.1 Regelungsbeschreibung**

Aus anderen Bauvorhaben ist bekannt, dass Gebäudeautomation erheblichen Einregulierbedarf hat – dieser wird umso größer je höher der Regelungsaufwand ist und erhöht die Kosten überproportional; zusätzlich ist die Umsetzung von komplexen Vorgaben immer auch an eine entsprechende Betreuung und Kontrolle gekoppelt. Die Regelung ist daher bewusst übersichtlich gehalten.

Die Regelung realisiert verschiedene Regelungsbereiche über die Außentemperatursteuerung der Heizung hinaus in der folgenden Weise:

1. Zulufttemperatur der Luft abhängig von der Raumlufttemperatur – bei Überschreiten einer Grenztemperatur (22°C) durch interne Wärmefreisetzung oder Solargewinne wird die Temperatur gleitend abgesenkt, wenn die Außentemperatur dies zulässt; parallel wird die Heizung abgeschaltet
2. Nachtlüftung wird abhängig von mehreren Kriterien realisiert, Überschreiten von Grenztemperaturen der Raumluft, Temperaturdifferenz zur Außenluft und Abfrage eines Heizflags zur Verhinderung, dass die Nachtlüftung einschaltet wenn noch zeitweise Heizbedarf besteht oder bestand (Heizung seit x Tagen aus), die Nachtlüftung ist in den Kalender einbezogen, d.h. Deaktivierung in Ferien
3. Ausschalten eines Heizkreises bei Überschreiten einer Grenztemperatur im Referenzraum
4. Ausschalten der Heizung ab einer einstellbaren Außentemperatur (14°C)

Die konzipierten Regelungskriterien haben sich bestätigt und sind dem Gebäude angemessen. PKt3 bedarf jedoch in der Auswahl des Referenzraumes einer erhöhten Sorgfalt und ist nur anzuraten, wenn eine weitgehend ähnliche Nutzung und energetisches Verhalten vorliegt. Vorsorglich sollten Ausweichräume mit Sensorkabeln vorgerüstet werden, um ggf. den Referenzraum verlegen zu können, wenn es zu Abweichungen in der Nutzung kommt. Das Prinzip der Regelung einer Zone mittels eines Referenzraumes funktioniert nur bei Wahl des ungünstigsten Raums zu Referenzzwecken und ist nur energiesparend bei weitgehend ähnlichen energetischen Bedingungen der Räume einer Zone. Bei Schulen ist dies aber in der Regel gegeben.

### **3.6.2 Sonnenschutzsteuerung**

Die Notwendigkeit eines hochwertigen äußeren Sonnenschutzes wurde sowohl durch das PHPP Verfahren, als auch durch die Simulation aufgezeigt und auch realisiert. Die Steuerung des Sonnenschutzes wurde aus Kostengründen durch eine autarke Steuerung realisiert. Das Aufschalten auf die Gebäudeleittechnik hätte zusätzliche energetische Vorteile bewirkt, die eine erhöhte Nutzung von passiven Solargewinnen ermöglichen würde, wirtschaftlich waren die Mehrkosten jedoch nicht zu rechtfertigen. Die Notwendigkeit des Sonnenschutzes zeigte sich anhand von Überhitzungsproblemen in den Sommerferien, da die installierte Steuerung die ausgeschriebenen Spezifikationen nicht erreichte und Fehlfunktionen zu hohen Solarenergieeinträgen ins Gebäude führten. Nur durch die Nachlüftfunktion konnte das Gebäude seine Solltemperatur wieder erreichen. (s. auch Kap. 3.7

## **3.7 Sommerlicher Wärmeschutz**

### **3.7.1 Einführung**

Wie bereits im Teil 1 des Berichtes ausgeführt, gewinnt der sommerliche Wärmeschutz in effizienten Gebäuden zunehmend an Bedeutung. Der Grund sind die im Sommer wegen der geringen Temperaturdifferenzen vernachlässigbaren Wärmeverluste über die Fassade, die ohne Gegenmaßnahmen zu einer stetig steigenden Innentemperatur, insbesondere bei Schönwetterperioden führen.

In Schulen kommt die sehr hohe interne Wärmefreisetzung durch die Schüler innerhalb der Klassen hinzu; 2 kW Wärme<sup>8</sup> werden in der Benutzung von den Schülern ständig freigesetzt<sup>9</sup> Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass Schulen, wie auch die betrachtete, in ihrer Ausrichtung Süd- oder Ostorientierung aufweisen und damit auch solare Gewinne in nicht zu vernachlässigender Weise aufweisen.

Dem sommerlichen Wärmeschutz wurde deshalb in der Evaluation eine besondere Bedeutung beigemessen.

### **3.7.2 Sommerlicher Wärmeschutz in der Passivhausschule Nordhorn**

Der sommerliche Wärmeschutz wurde einmal durch konservative Maßnahmen erreicht, d.h. durch einen außenliegenden Sonnenschutz auf der Süd und Ostseite. Die Westseite wird durch einen angrenzenden Wald vor Sonne geschützt, hier wurde auch

---

<sup>8</sup> Berücksichtigt 80 W/P und 25 Schüler pro Klasse

<sup>9</sup> Zur Orientierung die installierte Heizleistung pro Klasse beträgt weniger als 1 kW und dient in erster Linie der Aufheizung und der Deckung der Lüftungswärmeverluste.

im Hinblick auf eine Ausweitung der Unterrichtszeiten<sup>10</sup> die Verkabelung und der Platz für einen Sonnenschutz vorgerüstet; für die konzipierte Gebäudenutzung ist kein Sonnenschutz auf dieser Seite erforderlich.

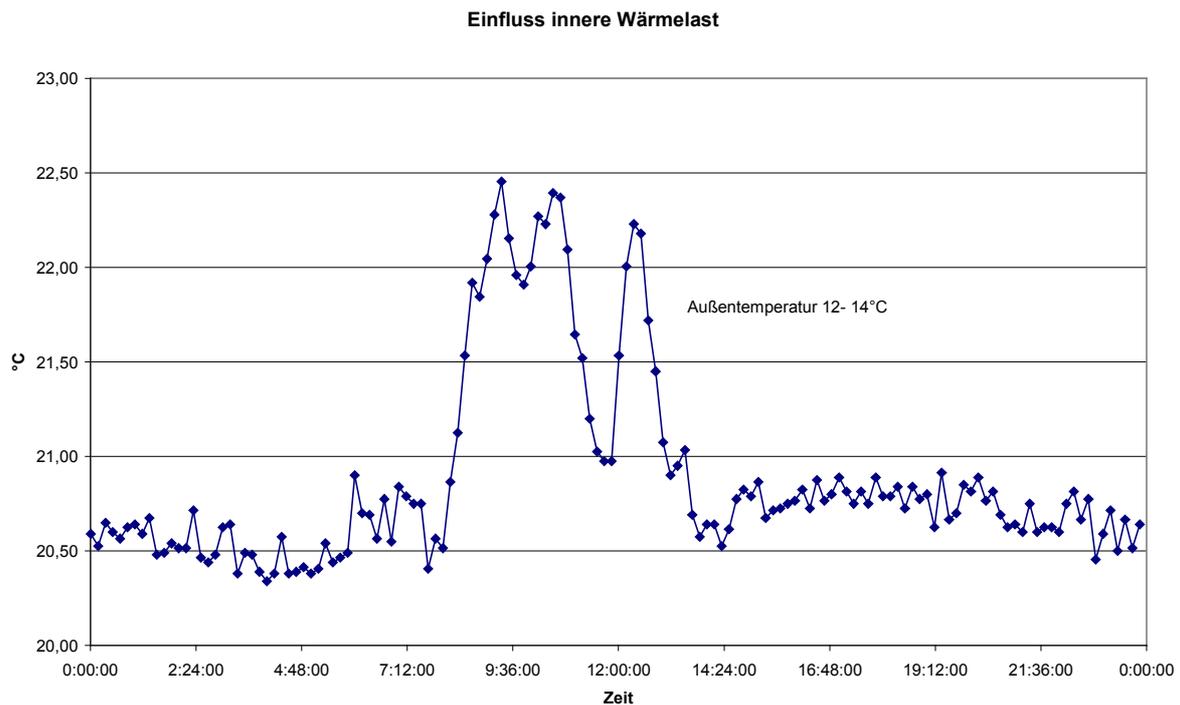
Der Temperaturanstieg in der Nutzungszeit ist von den typischen Randbedingungen der Nutzung von Klassen, von der Art und Qualität des Sonnenschutzes und der thermisch wirksamen Gebäudemasse abhängig. Die Lüftung wirkt sich ebenfalls auf die Temperatur im Gebäude aus; einerseits wird während der Nutzung im Sommer meist durch die erhöhten Außentemperaturen dem Gebäude Energie zugeführt, andererseits kann mittels Lüftung des Gebäudes in den Nachtstunden Energie abgeführt werden. Außer in stark exponierten und dem Wind ausgesetzten Gebäuden sind wegen der geringen Temperaturunterschiede die ausgetauschten Luftmengen bei Fensterlüftung und der Einfluss von offen stehenden Fenster aber gering; zudem wurden die öffenbaren Fenster in der Passivhausschule bewusst klein gestaltet. Die Energiezufuhr durch die Lüftungsanlage durch zu hohe Zulufttemperatur ist aber gering - jeder Klasse werden je Kelvin Temperaturdifferenz 160 W zugeführt. Aufgrund der hauptsächlich morgendlichen Nutzung mit gegenüber der Raumtemperatur geringerer Außentemperatur, gleichen sich die zu- und abgeführten Energiemengen in der Nutzung weitgehend aus - bei extremer Außentemperatur ermöglicht die Wärmerückgewinnung sogar eine leichte Verbesserung.

Insgesamt wirkt sich der Einfluss der installierten Lüftungstechnik dämpfend auf die Temperatur im Gebäude aus. Die Regelung ist so gestaltet, dass mit steigenden Innentemperaturen die Zulufttemperatur gleitend abgesenkt wird. Die Voraussetzung ist natürlich, dass eine niedrige Zulufttemperatur ohne Kühlung erreichbar ist, d.h. die Außentemperatur niedriger ist. Dies ist insbesondere in der Übergangszeit wirksam. Die Wärmerückgewinnung kann ebenfalls zugeschaltet werden, der Effekt der Wärmerückgewinnung ist jedoch nur zeitweise positiv und dann auch nur gering und zwar bei sehr hoher Außentemperatur.

Den Temperaturanstieg in einer Klasse zeigt die folgende Graphik an einem Tag mit moderater Außentemperatur.

---

<sup>10</sup> Die Unterrichtszeiten gingen in der Planung bis 13.30 Uhr.

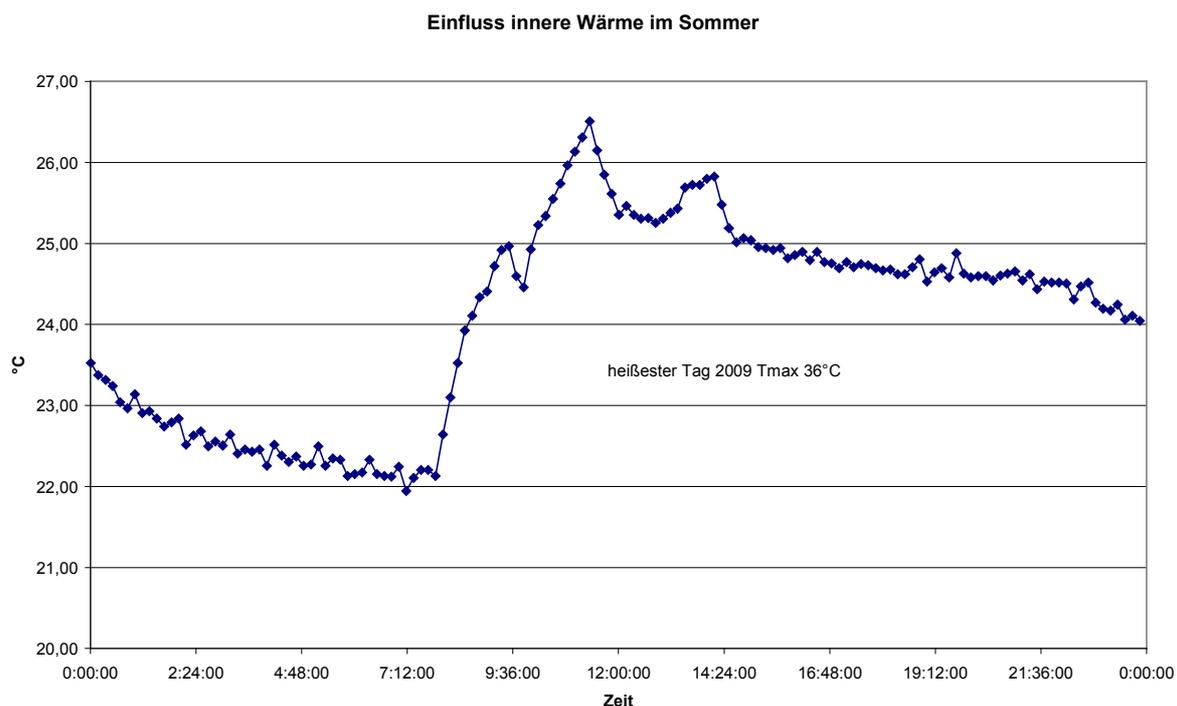


**Abbildung 4: Raumtemperaturverlauf Klasse West in der Übergangszeit.**

Abbildung 4 zeigt einen typischen Verlauf in einer Klasse, die Raumtemperatur steigt mit Unterrichtsbeginn innerhalb der ersten Unterrichtseinheit um etwa 2 K. Sie sinkt in den Pausen wieder ab. Durch die große Gebäudemasse wird der Temperaturanstieg auf den Temperaturbereich von 3 K jedoch beschränkt.

In der Übergangszeit und morgens ist der Einfluss der Lüftung auf die Innenraumtemperatur dämpfend, die mechanische Lüftung bietet hier Vorteile, da der Luftaustausch sichergestellt ist. Zu beeinflussende Parameter zur Reduktion der Innenraumtemperatur in Schulen sind daher nur der Sonnenschutz und die Gebäudemasse, die den Temperaturanstieg unter Normalbedingungen auf etwa 2K begrenzen, wenn von aktiver Kühlung abgesehen wird.

Der Sommerfall mit entsprechend höheren Außentemperaturen unterscheidet sich zum einen durch eine höhere Zulufttemperatur und zum anderen durch ein geändertes Temperaturniveau. Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf an einem extrem heißen Tag



**Abbildung 5: Temperaturverlauf in einer Klasse am heißesten Tag des Jahres 2009**

In Abbildung 5 wird auch deutlich, dass die Wärmehaufnahmefähigkeit der Wände und Decken der Klasse an ihre Grenze stößt; der Temperaturanstieg beträgt jetzt 4,5 K, auch bedingt durch die höhere Zulufttemperatur und die stärker erwärmte Gebäudemasse<sup>11</sup>; bezogen auf die extreme Außentemperatur aber immer noch eine komfortable Größe. An dem geringen Temperaturabfall nach Unterrichtsende (etwa 14 Uhr) wird deutlich, dass die Konstruktion stark mit Wärme aufgeladen ist (s. zum Vergleich den Abfall in der Übergangszeit Abbildung 4).

Die folgende Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Innentemperatur nach diesem extremen Tag – zu Beginn des folgenden Unterrichtes ist eine Temperatur von 22,2 °C erreicht. Die nächtliche Tiefsttemperatur der Außentemperatur lag in diesem Fall bei 18°C. Die Nachtlüftung startet etwa um 22 Uhr, sie wurde im Rahmen der Simulationsrechnungen in ihren Parametern wie Einschalttemperaturdifferenz, Ventilatorstromverbrauch etc. optimiert<sup>12</sup>; sie führt nur zu einer langsamen Temperaturabnahme.

<sup>11</sup> Die Temperaturdifferenz zwischen Konstruktion (Wand, Decke) und Raum sinkt, dadurch wird weniger Energie übertragen und die Raumlufttemperatur erhöht sich leicht

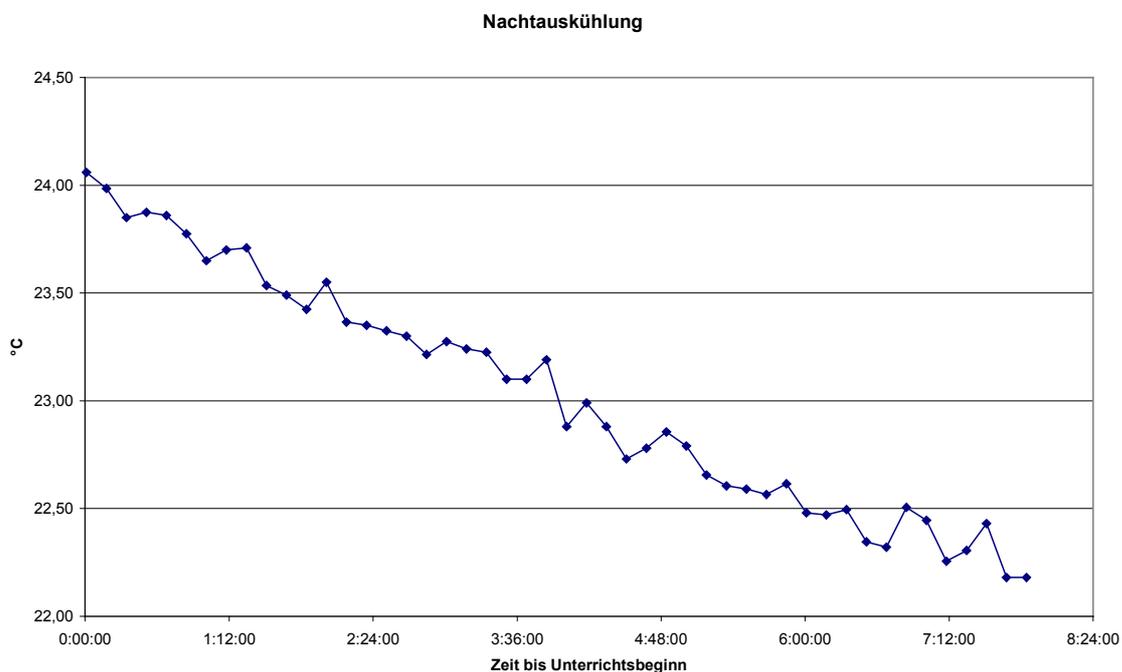
<sup>12</sup> Die Optimierung beinhaltet zum einen eine gute Gesamtenergiebilanz, zum anderen aber auch einen Qualitätsparameter (Komfort), dies sind Werte, die ohne das Setzen einer Priorität nicht optimiert werden können. In der Regel wird die Komfortanforderung wie auch in diesem Fall überwiegen. Die Einstellung beinhaltet, dass die abgeführte Wärmemenge größer sein muss als die aufgenommene Ventilatorleistung (Primärenergie)

Die Problematik der Aufheizung von Schulgebäuden ist im übrigen nicht an den Baustandard Passivhaus gekoppelt, da auch bereits ein Standardbau nach aktuellen gesetzlichen Vorschriften zu einem ähnlichen Verhalten neigt.

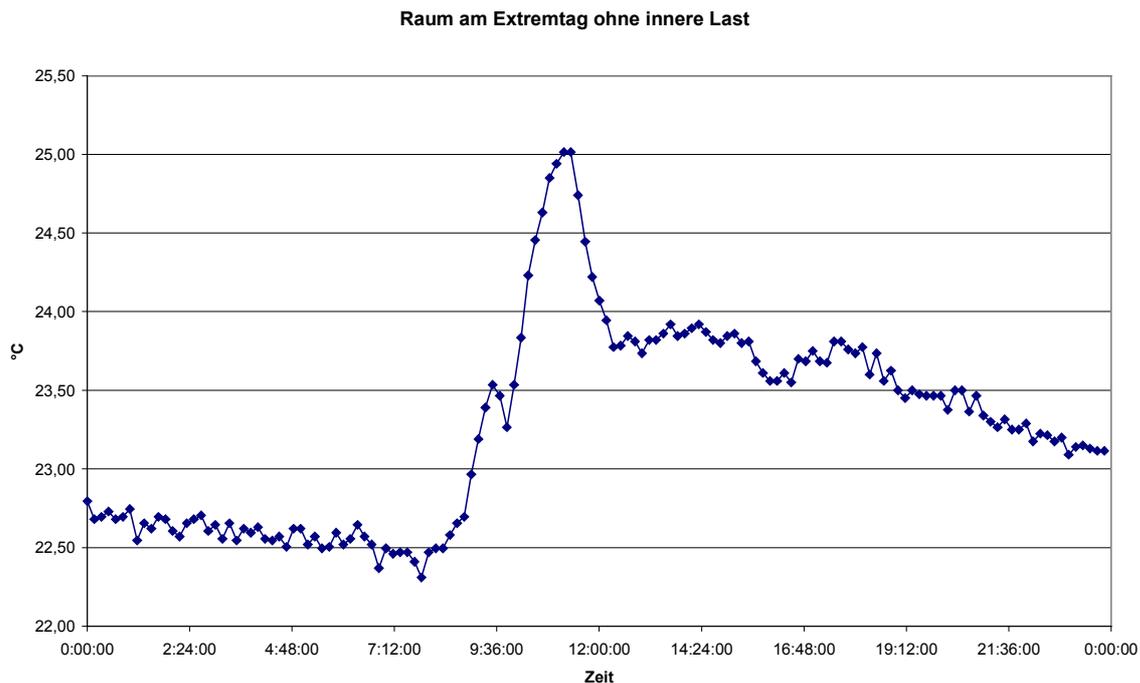
Als Alternative zur maschinellen Nachtlüftung ist das Öffnen von Fenstern während der Nachtstunden sogar eine effektivere Maßnahme (kein Stromverbrauch!), jedoch ist sie in der Realität in der Regel nicht mehr umsetzbar – Einbruchschutz, Regensicherheit stehen dieser Möglichkeit entgegen. Das Öffnen von Fenstern in den frühen Morgenstunden ist als Maßnahme unzureichend, die Zeitdauer der Nachtlüftung über mehrere Stunden ist zur effektiven Wärmeabfuhr erforderlich, da die Wärmetransportvorgänge wegen der geringen Temperaturdifferenzen von Konstruktion zur Raumluft langsam ablaufen.

Zum Vergleich zeigt die folgende Abbildung 7 einen Raum in Ostlage aber ungenutzt. Der Einfluss der Schüler auf die Innentemperatur ist höher, als der Eintrag durch die Sonne.

Wegen der Orientierung Ost/West gibt es jedoch nur 2 Räume mit Südorientierung, die aber geringere Fensterflächen aufweisen und keine Klassenräume sind (Gruppenraum und Lehrerarbeitsbereich), so dass die Kombination von hohem Strahlungseintrag und hoher innerer Last nicht zusammentrifft.



**Abbildung 6: Nachtauskühlung mit der Lüftungsanlage (Nachtlüftung) nach extrem warmen Tag**



**Abbildung 7: Raum am Extremtag weitgehend ungenutzt<sup>13</sup> aber mit Orientierung Ost (Lüftung an)**

Insgesamt kann aus diesem Temperaturverhalten des Gebäudes hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes zusammengefasst werden:

1. Nachtlüftung ist äußerst effektiv und lässt auch an Extremwettertagen eine akzeptable Gebäudenutzung bei moderaten Temperaturen zu
2. Nachtlüftung ist gekoppelt an eine hohe Gebäudemasse<sup>14</sup>, da nur diese die hohe Wärmefreisetzung durch die Schüler aufnehmen und einen schnellen Temperaturanstieg verhindern kann

### 3.7.3 Die Flurbereiche

In der Planung wurde der Schwerpunkt auf die Klassen, also die Nutzungsbereiche gelegt.

---

<sup>13</sup> Die Nutzung der Räume kann aufgrund der begrenzten Messinstallation nur anhand der Luftqualität beurteilt werden (CO<sub>2</sub>-Werte), die bei Normbelegung relativ schnell auf ca. 1000-1200 ppm ansteigt

<sup>14</sup> Wesentlich für die Temperaturdämpfung ist die aktivierbare Masse, d.h. massive Bauteile, die direkt mit dem Raum in Verbindungen stehen, d.h. unverkleidet und nicht durch Akustikmaßnahmen in ihrer Wärmeaufnahme behindert werden

Die Flure wurden deshalb in die Parameterstudie im Rahmen der Simulation nicht einbezogen.

Im Gebäudebetrieb stellte sich jedoch ein erhebliches Überhitzungsrisiko für diesen Bereich im Bauteil 1 heraus. Grund sind die verglasten Innenhöfe, die auch durch Attika und Dachaufbau, insbesondere bei hoch stehender Sonne kaum verschattet sind. Da auch die Flure nicht über einen hohen Luftwechsel in die Lüftungsanlage eingebunden sind, ist hier die Nachtlüftung nur unzureichend wirksam – Fensterlüftung zum Innenhof wurde deshalb mit den angesprochen Problemen (Regenschutz, Gebäudesicherung) zeitweise notwendig. Ein außenliegender Sonnenschutz wird deshalb nachgerüstet.

### **3.8 Komfortbewertung nach DIN EN 15251**

Die DIN EN 15251 /8/ ermöglicht eine Bewertung des Komforts. Gegenüber den bisher bekannten Verfahren berücksichtigt die Norm keine festen Temperaturgrenzen, deren Über- oder Unterschreiten zu Einschränkungen des Komforts nach empirisch ermittelten Empfindungswerten führt, wie z.B. ISO 7730 /9/, sondern berücksichtigt die Adaption des Menschen an die jeweilige klimatische Situation. Hintergrund ist, dass eine bestimmte Raumtemperatur je nach vorherrschenden Wetterbedingungen anders empfunden wird. So wird eine Raumtemperatur von 23 °C im Winter und in der Übergangszeit beispielsweise als sehr angenehm empfunden, im Sommer dagegen bei sehr hohen Außentemperaturen als zu kühl. Die DIN EN 15251 bezieht die Innenraumtemperaturen daher auf eine berechnete Außentemperatur, die die Temperaturentwicklung der zurückliegenden Woche berücksichtigt. Eine umfassende Betrachtung kann /7/ entnommen werden.

Die Auswertung zeigt für das Gebäude die Einhaltung der höchsten Komfortklasse in der oberen Begrenzung, die Temperaturen sind morgens eher zu niedrig (Kategorie 2-3). Die folgende Graphik zeigt Auswertungen für den Monat August 2009<sup>15</sup>, dem wärmsten Monat in 2009. Die Darstellung umfasst die Nutzungszeit (8-13.30 Uhr; Montag bis Freitag). Aufgrund der berechneten Außentemperatur (eine für einen Tag) ergeben sich in der Darstellung übereinanderliegende Reihen von Messwerten. (s.a. Zwischenbericht 1). Abweichend von der Vorgabe der DIN ist die Raumlufttemperatur dargestellt und nicht die operative Temperatur, die noch die Temperatur der Umschließungsflächen berücksichtigt, da diese nicht gemessen wurde. Die dargestellten Temperaturen würden sich durch diese Berücksichtigung morgens eher erhöhen, da die Wände noch wärmer sind und im Laufe des Tages erniedrigen, da die

---

<sup>15</sup> Die Extrempériode 2010 fiel in die Ferien

Wände kühler als die Raumluft sind; der Komfort würde dadurch also eher höher bewertet.

### Komfort nach DIN EN 15251

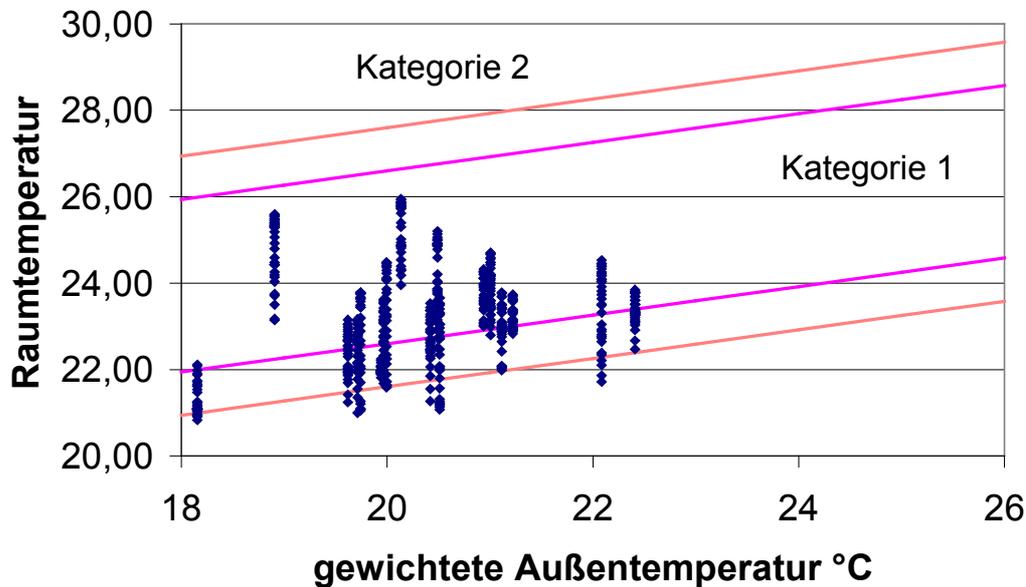


Abbildung 8: Komfort in einer Klasse in einem warmen Monat (August 2009)

Da die Temperaturentwicklung innerhalb des Raumes sich relativ konstant täglich innerhalb eines Bereiches von 2-3 K bewegt, würde eine Verringerung der Nachtlüftung mit höheren morgendlichen Temperaturen das Risiko einer Überschreitung der oberen Temperaturgrenze bedeuten. Es ist daher als ein guter Kompromiss zu betrachten.

### 3.9 Heizung und Innentemperatur im Winter

Aufgrund der gewählten instationären Betriebsweise der Schule durch Abschalten der Heizung außerhalb der Nutzungszeiten – welche eine Einsparung nach den Simulationsrechnungen von etwa 2 kWh/m<sup>2</sup>a bewirkt, wird der Komfort im Winter zu einer Frage der Regelung und gewinnt an Stellenwert. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Gebäudes muss die Aufheizung zeitlich entsprechend der „Auskühlung“<sup>16</sup> gesteuert werden. Aufgrund der geringen Heizleistung ist ein solcher Heizbetrieb jedoch zumindest bei sehr niedrigen Außentemperaturen fraglich, da die Heizzeiten sich stark verlängern. Bei mangelnder Hydraulik funktioniert ein solches System nicht.

---

<sup>16</sup> man kann aufgrund der passivhaustauglichen Konstruktionen nicht von einem wirklichen Auskühlen sprechen, zudem wird durch die Regelung eine Minimaltemperatur gehalten, um die Aufheizzeiten nicht zu stark verlängern zu müssen

Gute Ergebnisse ergeben sich in der Übergangszeit, da die Heizung dann nur noch zur Aufheizung vor Unterrichtsbeginn laufen muss und durch die Abschaltung sich erhebliche Einsparungen im Heiznetz ergeben und auch die Innenraumtemperaturen niedriger sind.

Die vorgesehene Einsparung in Höhe der dargestellten Größe konnte in 2008/2009 realisiert werden, erzeugte jedoch mit Einführung von geänderten Nutzungsbedingungen in Teilbereichen auch erhebliche Komfortprobleme. Eine unzureichende Hydraulik verstärkte die Effekte. Die Belegung einer Klasse mit nur 8 Schülern beinhaltet eine deutlich reduzierte innere Wärmelast, die das Abschalten des zugehörigen Heizkreises nicht mehr zuließ, so dass auf eine Absenkung der Raumtemperatur verzichtet wurde. Der energetische Effekt ist entsprechend der Simulation, eventuell sogar etwas höher, da durch Nutzerverhalten der Verbrauch erhöht sein kann, wenn es zu Fensteröffnung und Querlüftung kommt. Ein Effekt der leider nicht vollständig vermeidbar ist und auch im Schulzentrum vorkommt, wenn auch nur geringem Maße.

Die derzeitige Einstellung beinhaltet weiterhin ein Abschalten der Heizkreise bei Überschreiten einer Grenztemperatur, jedoch wird keine Temperaturabsenkung mehr realisiert, sondern die Solltemperatur mit einer eingestellten Hysterese von 0,5 K gehalten. Der Referenzraum wurde in den Bereich der gering belegten Klasse verlegt – die Einsparungen ergeben sich nun aus den vermiedenen Netzverlusten.

#### **4 Fazit**

Das Passivhaus Schulzentrum Nordhorn hat seine Zielwerte erreicht, sowohl der Energiebedarf als auch die Luftqualität liegen im konzipierten Bereich, bzw. übertreffen sogar die Zielwerte. Für künftige Planungen ist die weitergehende Diskussion bezüglich Luftqualität und CO<sub>2</sub>-Grenzwerte zu verfolgen. Insbesondere der Aspekt der Leistungssteigerung durch gute Luft muss einer Untersuchung unterzogen werden, wo die Grenzwerte anzusetzen sind. Die realisierte Lösung erzeugte eine hohe Zufriedenheit und zeigt, dass die Integration einer Lüftungsanlage bereits die wesentlichen Investitionen für ein Passivhaus umfasst und deshalb anzustreben ist.

## Literaturverzeichnis

- /1/ AMEV: *Broschüre RLT-Anlagenbau 2004*. AMEV, Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen  
[http://www.amev-online.de/amev\\_90b935eeb1753300c5a9f464ffd71029.html](http://www.amev-online.de/amev_90b935eeb1753300c5a9f464ffd71029.html). Berlin, 2004
- /2/ Moriske, H.J., Szewzyk, R: *Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden*. Hrsg. Umweltbundesamt, Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes. Dessau 2008  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/3689.pdf>
- /3/ DIN EN 13779, *Lüftung von Nichtwohngebäuden*  
*Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme*; Deutsche Fassung EN 13779:2007. Beuth Verlag, Berlin 2007
- /4/ Symposium Innovative Lüftungstechnik für Schulen - Hybride Lüftung.  
<http://www.ibp.fraunhofer.de/veranstaltungen/100517/index.html> FHG, 2010
- /5/ Bischof, W.: *Anforderungen an Innenraumlufthygiene in Schulen*, Vortrag Symposium Innovative Lüftungstechnik für Schulen - Hybride Lüftung.  
[http://www.ibp.fraunhofer.de/veranstaltungen/100517/pdf/02\\_Bischof\\_Hygiene\\_100517.pdf](http://www.ibp.fraunhofer.de/veranstaltungen/100517/pdf/02_Bischof_Hygiene_100517.pdf), 2010
- /6/ Hrsg. Passivhausdienstleistungs GmbH:  
<http://www.passivhausprojekte.de/projekte.php?detail=124>, Darmstadt 2008
- /7/ Voss, K.; Pfaffenrott, J.: *Energieeinsparung contra Behaglichkeit?*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Forschungen Heft 121, Bonn 2007
- /8/ DIN EN 15251 , 2007-08  
*Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*; Deutsche Fassung EN 15251:2007. . Beuth Verlag, Berlin 2007
- /9/ DIN EN ISO 7730 , 2006-05  
*Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005)*; Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005. . Beuth Verlag, Berlin 2005
- /10/ DIN EN 12831, 2003-08  
*Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast*; Deutsche Fassung EN 12831:2003. Beuth Verlag, Berlin 2003