

Kreis Steinfurt, Baudezernat

Fachhochschule Münster, Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt

**Erarbeitung eines Leitfadens zur integralen Sanierung von Schulen auf Basis der Sanierung der Technischen Schulen und der Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt**

Abschlussbericht über die Erarbeitung eines Leitfadens,  
gefördert unter dem Az: 25904-25 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Kreis Steinfurt:

Dipl.-Ing. Lorenz Rustige, Dipl.-Ing. Heinz Heitmann,  
Dipl.-Ing. Ralf Schmolke M.Sc.

Fachhochschule Münster:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting, Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus,  
Dipl.-Ing. Bernhard Osterholt, Dipl.-Ing. Nicole Aben M.Eng.

April 2010

Bezug: Kreis Steinfurt

Download als pdf-Datei unter:

[http://194.77.238.54/C12573D40043021C/html/019D65EBFE9301ADC12574C0002F62E9?  
opendocument&nid1=34657\\_43724](http://194.77.238.54/C12573D40043021C/html/019D65EBFE9301ADC12574C0002F62E9?opendocument&nid1=34657_43724)

06/02

**1 Projektkennblatt**

der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>25904 – 25</b>	Referat	Fördersumme	<b>124.629,00</b>
<b>Antragstitel</b>	<b>Erarbeitung eines Leitfadens zur integralen Sanierung von Schulen auf der Basis der Sanierung der Technischen Schulen und der Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt</b>			
<b>Stichworte</b>	Sanierungsempfehlungen, Lernumfeld, Energie			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
<b>30 Monate</b>	<b>17.07.2007</b>	<b>17.01.2010</b>	<b>1</b>	
Zwischenberichte	5/2008 und 7/2009			
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Kreis Steinfurt Bauamt Tecklenburger Straße 10 48565 Steinfurt	Tel	02551/69 2611	
		Fax	02551/69 2600	
		Projektleitung	Dipl.Ing. Heinz Heitmann	
		Bearbeiter		
<b>Kooperationspartner</b>	Fachhochschule Münster Fachbereich Energie – Gebäude – Umwelt Stegerwaldstr. 39 48565 Steinfurt Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting			

## ***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Landkreise und Kommunen müssen in den kommenden Jahren einen erheblichen Aufwand zum Abbau des Sanierungsstaus bei Schulen betreiben. Erfahrungen zeigen, dass sich ein wesentlicher Anteil von Sanierungsmaßnahmen auf die Erneuerung einzelner Komponenten beschränkt. Integrale Konzepte zur Planung und Umsetzung einer ganzheitlichen Sanierung - auch über mehrere zeitlich aufeinander folgende Abschnitte - sind die Ausnahme.

Optimale Lehr- und Lernbedingungen an Schulen sollen mit dem „**dritten Pädagogen**“, der Architektur unter Einbeziehung innovativer Ansätze wie beispielsweise regenerativer Energien zur Temperierung und Kühlung oder Wärmespeicherung garantiert werden. Dabei sind die Endlichkeit der Ressourcen und die Bedienbarkeit der Gebäude ebenso zu berücksichtigen wie die ökologischen Aspekte.

Der Kreis Steinfurt strebt bei der Sanierung seiner Schulen umfassende Ansätze bei der Planung und Durchführung an. Hierbei werden auch unkonventionelle gebäudetechnische Lösungen mit in die Planung einbezogen, im Objekt getestet und baulich verwirklicht. Ebenso kommt die numerische Simulation der Gebäude als Werkzeug zur Optimierung des Energieverbrauchs zur Anwendung.

Anhand der begonnenen Sanierung der Wirtschaftsschulen und die für 2009 geplante Sanierung der Technischen Schulen des Kreises Steinfurt wird ein Leitfaden zur Integralen Sanierung von Schulen erstellt werden.

In das Sanierungskonzept fließen die Aspekte folgender Teilgebiete ein: Wärmeversorgung, Lüftungstechnik, Raumlufthygiene, Beleuchtung, Akustik, Trinkwasserhygiene, Energieeinsparung nebst Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Betriebskosten.

Die Wechselwirkungen der Einzelmaßnahmen untereinander werden hier ebenso wie bei durchgeführten Sanierungen untersucht und dargestellt. Die Ergebnisse aus diesen Punkten und die Erfahrungen aus anderen Sanierungsmaßnahmen bilden die Grundlage für den zu erstellenden Leitfaden.

Neben dem Ziel der Energieeinsparung soll auch die Steigerung der Lehr- und Lernbedingungen an Schulen in die Planung mit einfließen.

Der Leitfaden soll letztlich Schulträgern als Orientierungs- und Entscheidungshilfe dienen.

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

1. Bestandsaufnahme an den Wirtschaftsschulen und an den Technischen Schulen
2. Bestandsaufnahmen der weiteren Schulen in Trägerschaft des Bewilligungsempfängers
3. Bestandsaufnahmekommunaler Schulen im Verwaltungsbereich des Bewilligungsempfängers
4. Darstellung des Standes der Technik bei Schulen
5. Messtechnische Untersuchungen und Analysen nach Durchführung einzelner aktueller Sanierungsmaßnahmen an den Wirtschaftsschulen
6. Entwicklung von Sanierungskonzepten für die Wirtschaftsschulen und die Technischen Schulen
7. Entwicklung von Finanzierungsmodellen
8. Ökologisch ökonomische Bilanzierung der vorgeschlagenen Maßnahmen
9. Erstellung eines Leitfadens

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Die gesetzten Ziele des Projektes wurden bisher erreicht. Insbesondere die durchgeführten Messungen der Raumluftqualität, der Akustik in den Klassen, der Beleuchtungssituation und der Raumtemperaturen bestätigen die Ergebnisse Dritter wie z.B. der FH-Bremen in Bezug auf die CO<sup>2</sup>-Belastung in Klassenräumen. Gerade an den untersuchten Schulformen der Berufkollegs mit einer hohen Rechnerausstattung wurden in den Fachräumen z.T. extreme Temperaturspitzen von über 40° C errechnet und auch gemessen. Die Kombination aus hoher Raumtemperatur, der CO<sup>2</sup> Belastung und einer ggf. langen Nachhallzeit stellt ein Schreckenszenario dar. Hier versuchen wir auch gemeinsam mit der Industrie Kühl- und Lüftungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung ökonomischer- und ökologischer Aspekte zu entwickeln. Technische- und organisatorische Ansätze z.B. in Form von zentralen Serverlösungen in Schulen werden in diesem Zusammenhang mit bewertet.

### ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Die Vorstellung des Projektes erfolgte im Rahmen der öffentlichen Sitzungen der politischen Gremien des Kreise Steinfurt und damit auch in der örtlichen Presse. Die Lehrer- bzw. Schulkonferenzen der beteiligten Schulen wurden zu Beginn und auch fortlaufend über die Projektinhalte und Ziele informiert und eingebunden.

Die Ergebnisse des Leitfadens werden in Vorträgen und Publikationen der Öffentlichkeit und der Fachwelt präsentiert. Dabei soll ein Schwerpunkt auf die Information der Schulen und Fachplaner gelegt werden.

### ***Fazit***

Mit Unterstützung einer dynamischen Simulationsbetrachtung der Wirtschaftsschule und einzelner Räume sowie parallel erfolgter messtechnischer Untersuchungen wurden besonders kritische Raumbedingungen ermittelt. Diese sind hier in Zusammenhang mit der CO<sup>2</sup> Belastung und der Raumtemperatur zu sehen. Aufgrund der Messergebnisse wurden „Laborklassenräume“ eingerichtet und zunächst Lösungen im Bereich der Raumkühlung und Raumlüftung erprobt.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Bestandsaufnahme an den Wirtschaftsschulen und an den Technischen Schulen</b> .....	<b>9</b>
1.1 Beteiligung der Schulgemeinschaften .....	9
1.1.1 Einbindung der Schulleitung der Wirtschaftsschulen .....	9
1.1.2 Beurteilung der Schulraumsituation durch das Schul-, Kultur- und Sportamt .....	11
1.1.3 Stellungnahme des Baudezernats .....	12
1.1.4 Einbindung des Gesundheitsamtes .....	13
1.1.5 Auswahl repräsentativer Klassenräume für messtechnische Untersuchungen .....	14
1.1.6 Fragebogenaktion zur individuellen Beurteilung der messtechnisch untersuchten Klassenräume .....	14
1.2 Erfassung der Bestandsdaten der Gebäude .....	23
1.2.1 Beschreibung der bestehenden Gebäude der Wirtschaftsschulen Steinfurt (Stand 2007) .....	23
1.2.2 Beschreibung des bestehenden Gebäudes der Technischen Schulen .....	28
1.3 Messung der Raumluftqualität .....	33
1.3.1 Einleitung/Problemstellung .....	33
1.3.2 Kohlenstoffdioxid-Grenzwerte .....	34
1.3.3 Durchführung der Messungen .....	36
1.3.4 Messergebnisse .....	37
1.3.5 Automatische Fensterlüftung .....	44
1.3.6 Parameterstudie .....	45
1.3.7 Messungen an der Peter-Pan-Schule .....	47
1.4 Akustische Messungen .....	49
1.4.1 Einleitung .....	49
1.4.2 Grundlagen .....	50
1.4.3 Raumakustik .....	51
1.4.4 Einfluss der Besetzung .....	53
1.4.5 Ist-Zustand .....	55
1.4.6 Auswertung Ist-Zustand .....	67
1.4.7 Hygienische Bewertung der einzusetzenden Absorptionsflächen .....	68
1.5 Messung ausgewählter Beleuchtungssituationen .....	69
1.5.1 Einleitung/Problemstellung .....	69
1.5.2 Durchführung der Messungen .....	69
1.5.3 Messergebnisse .....	71
1.5.4 Zusammenfassung .....	81

<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme der weiteren Schulen in Trägerschaft des Bewilligungsempfängers .....</b>	<b>85</b>
2.1	Erfassung der Schulen.....	85
2.1.1	Erfassung der Bestandsdaten der Gebäude: .....	85
2.1.2	Fazit .....	86
2.2	Erfassung des Sanierungszustandes .....	87
2.3	Bewertung des Sanierungszustandes der Schulen .....	89
2.3.1	Berufskolleg Tecklenburger Land des Kreises Steinfurt in Ibbenbüren.....	89
2.3.2	Kaufmännische Schulen Tecklenburger Land in Lengerich .....	95
2.3.3	Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt Berufskolleg in Emsdetten.....	100
<b>3</b>	<b>Bestandsaufnahme kommunaler Schulen im Verwaltungsbereich des Bewilligungsempfängers .....</b>	<b>103</b>
3.1	Erfassung der Schulen.....	103
3.1.1	Primärenergieverbrauch aller erfassten Schulen .....	105
3.2	Erfassung des Sanierungszustandes der Schulen .....	109
3.3	Bewertung des Sanierungszustandes.....	109
<b>4</b>	<b>Darstellung des Standes der Technik bei Schulen .....</b>	<b>111</b>
4.1	Gebäudehülle .....	111
4.1.1	Fassade.....	111
4.2	Keller .....	118
4.3	Heizungsanlage .....	119
4.3.1	Kesselanlagen .....	119
4.3.2	Fernwärme- oder Nahwärmeversorgung.....	119
4.3.3	Wärmepumpen.....	119
4.3.4	Rohrleitungssystem.....	120
4.3.5	Heizflächen .....	120
4.4	Trinkwasser.....	121
4.4.1	Trinkwasserhygiene .....	121
4.4.2	Stagnation .....	121
4.4.3	Rohrwerkstoff .....	122
4.4.4	Verteilnetz.....	122
4.4.5	Warmwasserversorgungssystem .....	122
4.4.6	Feuerlöscher- und Brandschutzanlagen.....	123
4.4.7	Betreiberpflichten .....	123
4.5	Sanitärräume .....	123
4.6	Beleuchtung.....	124
4.6.1	Allgemeines zu den Anforderungen an die Beleuchtung .....	124
4.6.2	Normen zur Beurteilung der Beleuchtung .....	125
4.6.3	Energetische Optimierung.....	125
4.7	Gebäudeleittechnik .....	126
4.8	Raumluftqualität .....	127



4.8.1	Allgemeines zu den Anforderungen an die Raumluftqualität .....	127
4.8.2	Kohlenstoffdioxid-Grenzwerte .....	128
4.9	Lüftung .....	130
4.9.1	Zentrale und dezentrale Lüftungsanlagen in Schulgebäuden .....	132
4.10	Akustik.....	135
4.10.1	Grundlagen .....	136
4.10.2	Raumakustik .....	138
4.11	Kühlung .....	141
4.12	Green IT - Thin-Clients.....	142
<b>5</b>	<b>Messtechnische Untersuchungen und Analysen nach Durchführung einzelner aktueller Sanierungsmaßnahmen an den Wirtschaftsschulen .....</b>	<b>144</b>
5.1	Umgestaltung eines Computerunterrichtsklassenraumes mit zwei Kühlsystemen an der Wirtschaftsschule Steinfurt .....	144
5.2	Beschreibung der Kühlsysteme.....	145
5.2.1	Kühlsystem 1 – Hochleistungskühldecke .....	146
5.2.2	Kühlsystem 2 – Schwerkraftkühlung .....	151
5.3	Ergebnis .....	152
<b>5.3.1</b>	<b>Schwerkraftkühlung .....</b>	<b>152</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Kühldecke.....</b>	<b>152</b>
5.3.3	Fazit .....	153
<b>6</b>	<b>Entwicklung von Sanierungskonzepten für die Technischen Schulen und die Wirtschaftsschulen.....</b>	<b>156</b>
6.1	Entwicklung einer Planungsmethodik.....	156
6.1.1	Beschreibung des bestehenden Gebäudes der Technischen Schulen .....	157
<b>6.1.2</b>	<b>Simulationsrechnungen für die Technischen Schulen .....</b>	<b>158</b>
6.1.3	Beschreibung der bestehenden Gebäude der Wirtschaftsschulen.....	169
<b>6.1.4</b>	<b>Simulationsrechnung für die Wirtschaftsschulen .....</b>	<b>169</b>
6.2	Erstellung des Sanierungskonzeptes für die Wirtschaftsschulen und die Technischen Schulen .....	188
6.2.1	Green-IT - Thin – Clients .....	188
6.2.2	Zentrale und dezentrale Lüftungsanlagen in Schulgebäuden .....	192
<b>6.2.3</b>	<b>Klimawand .....</b>	<b>193</b>
6.2.4	Latentspeichersystem auf der Basis von PCM-Elementen.....	197
<b>6.2.5</b>	<b>Automatische Fensterlüftung.....</b>	<b>201</b>
<b>7</b>	<b>Entwicklung von Finanzierungsmodellen .....</b>	<b>204</b>
7.1	Fördermittel als Zuschuss .....	204
7.2	Darlehensfinanzierung.....	204
7.3	Contracting & PPP.....	207
<b>8</b>	<b>Ökologisch ökonomische Bilanzierung der vorgeschlagenen Maßnahmen .....</b>	<b>208</b>
8.1	Katalog von Sanierungsmaßnahmen für die Technischen Schulen.....	208
8.1.1	Baukonstruktion (KG 300).....	209

8.1.2	Technische Gebäudeausrüstung .....	214
8.2	Katalog von vorliegenden Erfahrungen aus Sanierungsmaßnahmen an anderen Schulen im Kreis Steinfurt .....	219
8.2.1	Lebenszykluskosten .....	219
8.2.2	Beteiligung der Schulgemeinschaft.....	219
8.2.3	Umsetzung pädagogischer Konzepte .....	219
8.2.4	Forschung .....	220
8.2.5	Gebäudehülle .....	221
8.2.6	Energieeinsparung .....	221
8.2.7	Raumtemperatur.....	221
8.2.8	Raumluftqualität .....	222
8.2.9	Raumakustik .....	222
8.3	Entwicklung des Verbrauchs und der CO <sub>2</sub> Menge durch Sanierungen an der Wirtschaftsschule und den Technischen Schulen Steinfurt.....	223
8.3.1	Wirtschaftsschulen .....	223
8.3.2	Technische Schulen .....	224
<b>9</b>	<b>Erstellung eines Leitfadens .....</b>	<b>228</b>
9.1	Erster Entwurf des Leitfadens .....	228
9.2	Allgemeines zu einem Leitfaden.....	233
9.2.1	Was erwartet der Leser von einem Leitfaden? .....	233
9.2.2	Wie geht der Leser vor? Das Lese(r)verhalten .....	233
9.2.3	Der grundsätzliche Aufbau eines Leitfadens.....	234
9.3	Erstellen des Leitfadens .....	239
9.3.1	Vor dem Schreiben .....	239
9.3.2	Umsetzung des Leitfadens .....	251
9.3.3	Beispiel: Wie gibt man dem Leser Hinweise innerhalb des Leitfadens .....	252
9.3.4	Beispiel: Themenschwerpunkt für den Leser festlegen und in eine Struktur einbetten.....	252
9.3.5	Beispiel: Wie können dem Leser Funktionsweisen näher gebracht werden?.....	256
9.3.6	Beispiel: Wie kann ein Glossar im fertigen Leitfaden aussehen? .....	258
9.4	Was sonst noch zu beachten ist.....	259
9.4.1	Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte.....	259
9.4.2	Deutsche Rechtschreibung .....	260
9.4.3	DIN 5008 .....	260
9.4.4	Informationen aus eigener Hand anbieten.....	261
9.4.5	Einbindung der Schulgemeinschaft.....	263
	<b>Fazit .....</b>	<b>266</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>268</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>269</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>273</b>

## Zusammenfassung

Auf Basis der Wirtschaftsschulen und der Technischen Schulen des Kreises Steinfurt wurde im Laufe des Forschungsprojektes ein Konzept zur integralen Sanierung von Schulen erarbeitet.

Zu Beginn des Projektes wurde eine umfangreiche Bestandsaufnahme der betrachteten Schulen vorgenommen. Hierzu erfolgten messtechnische Untersuchungen in ausgewählten Räumen der Schulen als auch Befragungen der am Schulbetrieb beteiligten Gruppen. Die messtechnischen Untersuchungen umfassten die Raumluftsituation, die Raumtemperatur, die Akustik und die Beleuchtungssituation. Mittels Fragebogen wurde das subjektive Empfinden der Schüler und Lehrkräfte bezüglich der Raumluft, Akustik, Beleuchtung und Behaglichkeit erfasst. (Abschnitt 2.1.6, S. 14 und Abschnitt 2.3 bis 2.5, ab S. 33)

Die Raumtemperaturen, die Akustik und die Beleuchtungssituation zeigten sich sowohl bei den Messungen als auch in den Befragungen überwiegend als nicht auffällig. Eine gravierende Ausnahme hiervon stellten die Raumtemperaturen in den EDV-Räumen der Wirtschaftsschulen dar. Die inneren Wärmelasten durch den Betrieb der Computer lassen die Temperatur in den Räumen im Sommer auf unerträgliche Temperaturen ansteigen. Im Rahmen des Projektes wurde daher in einem EDV-Raum die Wirksamkeit einer Kühldecke und einer Schwerkraftkühlung messtechnisch untersucht. Beide Kühlsysteme wurden mittels Kühlwasser aus Erdsonden betrieben und waren in der Lage, die Temperatur im EDV-Raum im akzeptablen Bereich zu halten. (Kapitel 6, S. 144)

Im Hinblick auf die Überhitzung der Räume und den Stromverbrauch von Computern als Einzelplatzlösung wurden die Vorteile des Green-IT bezüglich der Behaglichkeit, des Stromverbrauchs und der Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit Schulen herausgestellt. (Abschnitt 7.2.1, S. 188)

Die Raumluftsituation stellte sich in fast allen untersuchten Situationen als mangelhaft heraus. Das Ergebnis bestätigt Untersuchungsergebnisse anderer Institutionen im In- und Ausland und verlangt einen Paradigmenwechsel bezüglich der Belüftung von Schulräumen. Weitergehende messtechnische Untersuchungen an einem Proberaum der Technischen Schulen zeigten, dass auch die Lüftung über gekippte Fenster unzureichend ist (Abschnitt 2.3.5, S. 44 bzw. Abschnitt 7.2.5, S. 201). Alles in allem ist bei normaler Personenzahl in einem Klassenraum eine mechanische Lüftung unerlässlich. In den Technischen Schulen werden diese Erkenntnisse durch den Einbau von Lüftungstechnischen Anlagen umgesetzt.

Nach Abschluss von Sanierungsmaßnahmen an den Wirtschaftsschulen wurden erneut akustische Messungen in Klassenräumen durchgeführt. Es zeigte sich, dass die vor der Sanierung guten Ergebnisse sich durch akustisch wirksame Wandpaneele erneut einhalten lassen. Das Ergebnis bestätigt, dass pflegeleichte, schallharte Böden in Kombination mit durchdachten akustischen Maßnahmen problemlos funktionieren.

Die energetische Sanierung von Gebäuden setzt einen bekannten Ist-Zustand des spezifischen Energieverbrauchs voraus, um Zielstellungen für die durch die Sanierung zu erwartenden Einsparungen formulieren zu können. Erhebungen bei den kommunalen Schulträgern sollten dazu dienen, diesen Ist-Zustand der Schulen zu beschreiben und den energetischen Erfolg bereits durchgeführter Sanierungen zu dokumentieren. Es stellte sich heraus, dass die Dokumentation der entsprechenden Daten bei den Schulträgern in den überwiegenden Fällen nicht vorliegen und auch nicht bereitgestellt werden können. Wesentliche Ursachen hierfür sind die Personalsituation und fehlendes Energiemanagement in den Verwaltungen. Der im Arbeitsplan vorgesehene Erstellung einer Datenbank zu Sanierungsauswirkungen auf

den Energieverbrauch von Schulen fehlte damit die Basis. Die zeitliche Entwicklung der spezifischen Energieverbräuche konnte für einige Schulen zusammengetragen werden. (Abschnitt 2.2, S. 23; Kapitel 1, S. 85 und Kapitel 4, S. 103)

Die Erstellung des Sanierungskonzeptes für die Wirtschaftsschulen war zu Projektbeginn bereits erfolgt. Im Rahmen des Projektes wurden die anstehenden und darüber hinausgehenden Sanierungsschritte mittels dynamischer Simulationsrechnungen hinsichtlich ihrer energetischen Auswirkungen beurteilt und wirtschaftlich bewertet. Darüber hinaus konnten mit der dynamischen Simulationsrechnung Energieeinsparpotenziale aufgezeigt werden, die mittels Optimierung der Betriebstechnik erreicht werden können. (Abschnitt 7.1.4, S. 169)

Im Rahmen des Sanierungskonzeptes der Technischen Schulen wurde für die Frischluftzufuhr und Temperierung der Klassenräume nach einem kombinierten, alternativen System gesucht. Daraus entwickelte sich die Klimawand. Diese benötigt aufgrund der flächigen Ausführung in Verbindung mit unterstützenden Konvektionsströmungen in Konvektionsschächten zur Temperierung nur geringe Über- bzw. Untertemperaturen. Gleichzeitig wird die Klimawand für die Frischluftzufuhr mit einem zentralen Belüftungssystem kombiniert. Die Klimawand ist unauffällig, robust mit geringem Platzbedarf und ist somit weitestgehend aus dem Wirkungsbereich der Schüler ausgenommen. (Abschnitt 7.2.3, S. 193)

Das Sanierungskonzept der Technischen Schulen wurde im Rahmen des Projektes erstellt. Die jetzt beginnende bautechnische Umsetzung des Konzeptes beinhaltet die wesentlichen Ergebnisse des Projektes. Der Einbau von Lüftungstechnischen Anlagen sowie die mittels dynamischer Simulation erarbeitete bauphysikalische Optimierung sind Ergebnisse der Projektarbeit. Die dynamische Simulation hat sich als starkes und wichtiges Werkzeug bezüglich der Erstellung von Sanierungskonzepten erwiesen (Abschnitt 7.1.2, S. 158 und Abschnitt 7.1.4, S. 169). **Durch die Sanierung wird der spezifische Primärenergiebedarf der Technischen Schulen von 73 auf rund 25 kWh pro Quadratmeter und Jahr sinken.**

## Einleitung

Wer als Mutter oder Vater das Vergnügen einer Elternpflegschaftssitzung hatte, wird wissen, was gemeint ist, wenn man von erschwerten Lernbedingungen spricht.

Besonders aus der Sicht eines TGA-Planers oder ausführenden Unternehmens gerät man ins Nachdenken, wenn man an den Aufwand denkt, der in üblichen Nichtwohngebäuden betrieben wird, um das Arbeitsklima akzeptabel zu gestalten.

Den üblichen Klassenräumen (von den sanitären Anlagen oft ganz zu schweigen) ist ihr Alter anzusehen und neben den üblichen Gebrauchsspuren ist auch der technische Zustand der Gebäudetechnik oft beklagenswert.

Nach Angaben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gibt es deutschlandweit in der Hälfte der etwa 40.000 Schulen, ungefähr 48.000 Kindergärten, Kindertagesstätten und Krippen sowie mehrere zehntausend (Schul-)Turnhallen dringenden energetischen Sanierungsbedarf. Angetrieben durch diesen Sanierungsstau und die oft leeren Kassen der Träger in Verbindung mit steigenden Energiekosten suchen diese nach Lösungen. Das durch die Bundesregierung initiierte Konjunkturpaket II kommt daher zur rechten Zeit und lässt die Kommunen die Ärmel hochkrepeln, um nun endlich Abhilfe zu schaffen.

Dabei wird allerdings oft vergessen, dass die einzelnen Gewerke eines Gebäudes miteinander verzahnt sind. Unwissende versuchen, durch triviale Ansätze wie der Sanierung der Fassade nach EnEV-Standard, einem einfachen Fenstertausch oder einer Dachsanierung eine Reduzierung der Energieverbräuche zu erreichen. Ernüchternd muss man dann nach der Sanierung feststellen, dass keine oder nur geringe Einspareffekte erzielt wurden. Oft wird dann die Sanierung zum Sanierungsfall. Woran liegt das?

Mit der Einführung der EnEV (aktueller Stand EnEV 2009) werden für den Neubau und Sanierungsfall Wärmedurchgangskoeffizienten definiert, die für übliche Klassenräume einen Gesamtwärmebedarf deutlich unter 1000 W bedingen. Setzt man nach der VDI 2078 übliche Wärmeabgaben der Schüler an ( $\approx 100$  W sensible Wärmeleistung), ergibt sich im Winter aufgrund üblicher Klassenstärken eher ein Kühlfall als ein Heizfall.

Allerdings wird jeder Lehrende nach wenigen Minuten die Fenster öffnen, da bei fehlender Lüftungsanlage die  $\text{CO}_2$ -Konzentration nach kurzer Zeit unerträgliche Größen annimmt. Ein Mensch atmet ca. 10 - 20 l/h  $\text{CO}_2$  aus, wodurch sich bei üblicher Klassenraumbelastung nach ca. 30 bis 40 Minuten eine Raumluftkonzentration von über 1.000 ppm  $\text{CO}_2$  ergibt.

Die nachfolgende Abbildung 0-1 zeigt den  $\text{CO}_2$ -Konzentrationsverlauf in einem nur schlecht belüfteten Klassenraum. Die grüne Linie markiert den bereits nach Pettenkofer 1858 empfohlenen Grenzwert von 1.000 ppm. Die rotbraune Linie zeigt die Personendichte im Klassenraum auf und die blaue Linie zeigt den  $\text{CO}_2$ -Konzentrationsverlauf als Funktion der Zeit.

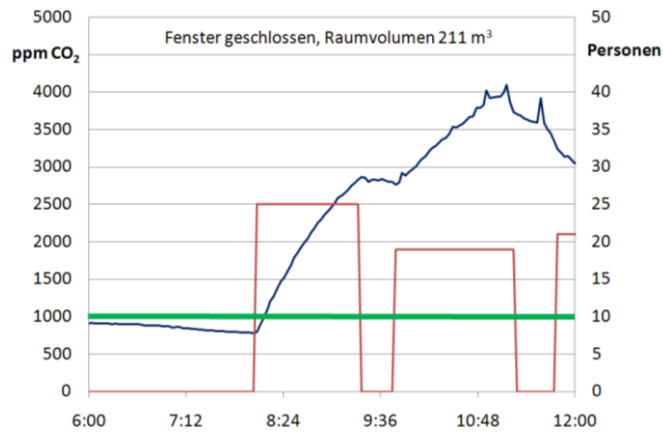


Abbildung 0-1: CO<sub>2</sub>-Konzentrationsverlauf in einem Klassenraum

Da das Konzentrationsvermögen der Schüler ab ca. 1.000 ppm CO<sub>2</sub> stark nachlässt, kann aufgrund der oben aufgezeigten Messwerte (die im Übrigen in weiteren untersuchten Klassenräumen bestätigt wurden) die in der Öffentlichkeit oft diskutierte Frage des internationalen Leistungsvergleiches in der schulischen Ausbildung offensichtlich auch an der Qualität der Lüftungsanlage für Klassen- und Schulräume festgemacht werden. Diese Messwerte spiegeln dabei keine Ausnahme sondern die Regel in schlecht belüfteten Schulräumen wider. Ein durch das niedersächsische Landesgesundheitsamt (NLGA) erstelltes Berechnungsprogramm (QUIRL/CO<sub>2</sub>) errechnet aufgrund vergleichbarer Randbedingungen zwingend die vorgefundenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Abbildung 0-2 zeigt den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration, der mit der Software QUIRL/CO<sub>2</sub> erstellt wurde.

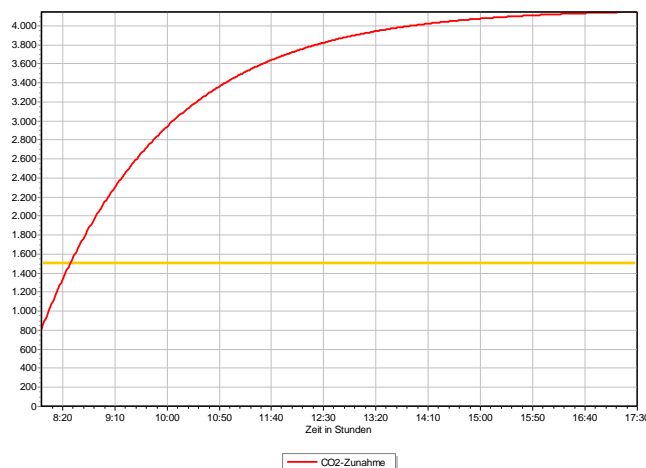


Abbildung 0-2: Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration berechnet mit der Software QUIRL/CO<sub>2</sub>

Somit wird bei einer Sanierung neben der trivialen Forderung nach erhöhtem Wärmeschutz vornehmlich die Frage zu diskutieren sein, wie Klassenräume effektiv und energetisch optimal zu belüften sind.

Wie bereits aufgezeigt sind auch in der Winterzeit die inneren sensiblen Lasten der Klassenräume (vornehmlich die Schüler und die Beleuchtung) ausreichend für die Beheizung. Untersuchungen an der Fachhochschule Münster haben gezeigt, dass diese überschüssige Wärme-

leistung in Verbindung mit einer effektiven Wärmerückgewinnung (Rückwärmzahl  $\Phi > 65 \%$ ) vollkommen ausreichend ist, um den Lüftungswärmebedarf zu decken.

Auf der Basis der EPBD (engl.: Energy Performance of Buildings Directive = europäische Richtlinie für energieeffiziente Gebäude) wurde die EnEV initiiert, deren Umsetzung durch Regelwerke wie die DIN EN V 18599, DIN EN 15251 und DIN EN 13779 geregelt werden. Darin sind auch die für Schulgebäude anzusetzenden Außenluftvolumenströme definiert. Die Innenraumluftqualitäten (engl.: IDA = Indoor Air Quality) werden darin in 4 Qualitätsstufen unterschieden. Unter Fachleuten wird dabei aus energetischer und hygienischer Sicht die Stufe IDA 2 empfohlen, die im Übrigen mit den bereits seit Jahrzehnten in der DIN 1946 definierten Luftvolumenströmen zu erreichen ist. Hält man sich an diese Werte, wären  $\approx 40 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Schüler anzusetzen. Übliche Klassenstärken ( $\approx 30$  Schüler) und stark schwankende Belegungszahlen im Tagesverlauf machen daher Außenluftvolumenströme zwischen  $600 \text{ m}^3/\text{h}$  und  $800 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Klassenraum sinnvoll. Diese Luftmengen können in keinem Fall, wie umfangreiche Untersuchungen an der Fachhochschule Münster gezeigt haben, durch freie Fensterlüftung abgedeckt werden. Wobei der dabei zusätzliche Wärmeenergieverlust erheblich wäre.

Somit wird deutlich, dass eine Schulsanierung bei Missachtung der zwingend erforderlichen Lüftung zum Sanierungsfall wird, denn kein Lehrer oder Schüler wird sich der Luftqualität aussetzen wollen, die sich in einem nach EnEV-Standard erbauten oder sanierten Klassenraum ohne Lüftung ergibt. Die Fenster, die dann geöffnet werden, führen die vorherige Sanierung ad absurdum.

Im Sanierungsfall ist der unter Berücksichtigung des integralen Gedankens erste Schritt eine detaillierte Gebäudeaufnahme in Verbindung mit einer möglichst saisonbereinigten Energieverbrauchsermittlung. Wobei bei der Ermittlung der Verbrauchsenergien auch die elektrische Anschlussleistung zu berücksichtigen ist. Diese erzeugt in älteren Beleuchtungseinrichtungen neben homöopathischer Lichtausbeute primär Wärme, die ebenfalls bei späteren Betrachtungen zu bilanzieren ist. Abbildung 0-3 zeigt eine Darstellung der Wirtschaftsschulen, erstellt mit der Software DesignBuilder.



Abbildung 0-3: Darstellung der Wirtschaftsschulen mit der Software DesignBuilder für die thermische Gebäudesimulation<sup>1</sup>

Anschließend erfolgte eine thermische Gebäudesimulation, die den Ist-Zustand möglichst exakt ( $\pm 10 \%$ ) abbildet. Abbildung 0-4 zeigt den Vergleich des tatsächlichen Verbrauchs mit dem simulierten Verbrauch.

---

<sup>1</sup> Diplomarbeit Jens Willmes, Simulationsrechnungen zur energetischen Optimierung der Wirtschaftsschulen in Steinfurt, März 2008

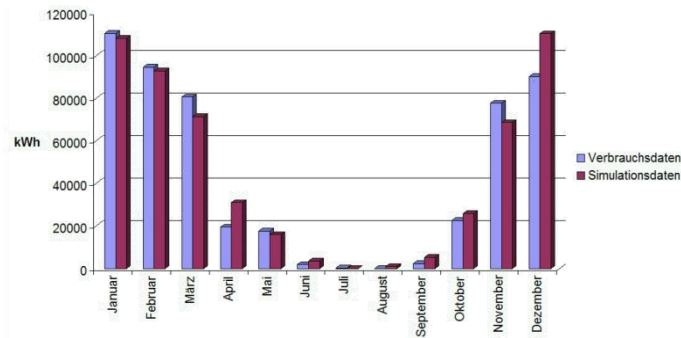


Abbildung 0-4: Vergleich des tatsächlichen Verbrauchs mit dem simulierten Verbrauch <sup>1</sup>

So wie nun für den Sanierungsfall ein numerisches Modell geschaffen wurde, lässt sich dieser Schritt auch für ein noch zu erstellendes Gebäude durchführen. An diesem Modell lassen sich Maßnahmen im Bereich der Gebäudehülle (Außenfassade, Dach, ...), der Gebäudetechnik (Heizung, Lüftung, Beleuchtung, ...) aber auch der Regelungstechnik (Schaltzeiten für Heizung, Kühlung, Lüftung, Licht, ...) testen, energetisch bewerten und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten priorisieren.

Dabei kann oft erkannt werden, dass Investitionen in die Gebäudetechnik, vor allem die Regelungstechnik, die wirtschaftlichsten sind.

Als nächster Schritt sollte die wissenschaftliche Erkenntnis beherzigt werden, dass nur sogenannte Low-Ex-Heizungs- und Kühlungssysteme wirklich Primärenergie einsparend sind. Darunter versteht man flächige Systeme wie Fußbodenheizungen und Klimadecken in Verbindung mit nur geringen Unter- oder Übertemperaturen zum Heizen und Kühlen. Dazu eignen sich primär Brennwertheizungssysteme und Wärmepumpen. Bedenken gegen Klimadeckensystem zur Heizung in Klassenräumen konnten vollkommen ausgeräumt werden. In bereits durchgeführten Sanierungsfällen konnte aufgezeigt werden, dass diese während des Unterrichts ihre Leistung aufgrund der ausreichenden inneren Lasten gegen Null fahren. Größere Leistungen werden nur dann gefordert, wenn der Klassenraum nicht belegt ist. Ein großer Vorteil dieser Deckensysteme ist zusätzlich die einfache Nachrüstung im Sanierungsfall. Die nur geringen Aufbauhöhen der Klimadecken und die geringen Leitungsquerschnitte der Anschlussleitungen machen eine Deckeninstallation unproblematisch.

Klimadeckensysteme besitzen darüber hinaus die Möglichkeit zur Kühlung. Verbindet man Klimadeckensystem mit einer geothermischen Anlage, die für Wärmepumpensysteme benötigt wird, geschieht dies nicht nur zu minimalsten Kosten (nur Pumpenstrom), sondern regeneriert zusätzlich den Boden für die folgende Heizperiode, wodurch die Wärmepumpe in ihrer Effizienz weiter gesteigert wird.

Während Kühlung in Schulung für die meisten Träger von schulischen Einrichtungen noch ein rotes Tuch ist, stöhnen Lehrer und Schüler seit Jahren unter den unerträglichen Temperaturen in EDV-Räumen während der Sommerzeit. Temperaturen weit über 35 °C sind nicht die Ausnahme, sondern die Regel. Eine Kühldecke in Verbindung mit einer geothermischen Anlage schafft hier bei geringen Betriebskosten Abhilfe.

Bei der Belüftung der Klassenräume sollten zentrale oder dezentrale Lüftungssystem gewählt werden, die die Zuluft als Quellluft in die Räume einbringen, um im Sommer möglichst lange die frei Kühlung nutzen zu können. Dieses System sollten wie nach DIN EN 13779 zulässig CO<sub>2</sub>-gesteuert geplant und ausgeführt werden. Der Frage nach einer zentralen oder dezentralen Wärmerückgewinnung kommt hierbei eine große Bedeutung zu und muss projektspezifisch gelöst werden.



Bei allen hier diskutierten Vorschlägen und Verfahrensweisen darf aber in keinem Fall vergessen werden, dass die Gesamtkosten eines Gebäudes (engl.: LCC-Life-Cycle-Cost = Lebenszykluskosten) nur zu einem Bruchteil aus den Bau- bzw. Sanierungskosten bestimmt werden und sich zum allergrößten Teil aus den anschließenden Betriebskosten (Heizung, usw.) kumulieren. Wer also an der Technik und Ausführung spart, wird durch hohe Betriebskosten bestraft.

Am besten man plant mit einem kompetenten Planungsbüro, das die obigen Ansätze beherrscht, denn die nächste Sanierung lässt wieder 40 Jahre auf sich warten ...



## **2 Bestandsaufnahme an den Wirtschaftsschulen und an den Technischen Schulen**

### **2.1 Beteiligung der Schulgemeinschaften**

Die Sanierung von Schulen setzt zwingend auch die Einbeziehung der jeweiligen Nutzer, also Schüler, Schulleitung und Lehrer voraus.

Entsprechend wurden in der Vorbereitungsphase dieser Untersuchung die Schulleitungen beider Schulen zu einem ersten Gespräch in das Kreishaus eingeladen.

Neben den beiden Schulleitern, nebst Stellvertretern, nahmen an diesem Gespräch die verantwortlichen Personen aus dem Bau- und Liegenschaftsmanagement des Kreises Steinfurt, der verantwortliche Leiter des Gesundheitsamtes des Kreises Steinfurt und die im Projekt einbezogenen Fachleute des Fachbereiches Energie · Gebäude · Umwelt der Fachhochschule Münster teil.

In diesem ersten Gespräch wurde das Projekt vorgestellt, welches bei den Schulleitern auf reges Interesse stieß. Eine erfolgreiche Zusammenarbeit wurde von beiden Schulleitern zugesichert.

Nach Absprache der beteiligten Schulleitungen wurden auf Schulkonferenzen den Lehrern und Schülervvertretungen das Projekt durch Vorträge, Präsentationen und einen Informationsflyer vorgestellt. Das Projekt wurde von allen Beteiligten angeregt diskutiert.

Neben dem allgemeinen Charakter und Ablauf der Erarbeitung des Leitfadens stand die Ermittlung der Innenraumluftqualität und der Raumsituation im Mittelpunkt des Vortrags und auch im Interesse von Lehrern und Schülern. Dazu wurde die Vorgehensweise der Messungen (Innenraumluftqualität, Licht, Akustik) erläutert und die Bedeutung der Mitarbeit der Lehrer und Schüler erklärt.

#### **2.1.1 Einbindung der Schulleitung der Wirtschaftsschulen**

In einem 10-Punkte-Papier begründet die Schulleitung der Wirtschaftsschulen die Notwendigkeit baulicher Sanierungs- und Erweiterungsmaßnahmen auch unter pädagogischen Gesichtspunkten, wie folgt:

- **Schülerzahlen steigen weiter**

Die Zahl der Schülerinnen und Schüler der Wirtschaftsschulen, so die Mai-Prognose zum Schulentwicklungsplan des Amtes für Schule, Kultur und Sport, nimmt an beiden Standorten (Steinfurt und Emsdetten) mittelfristig weiter zu. Zusätzliche Aufgaben der Berufskollegs sind in der Berechnung mengenmäßig nicht erfasst worden.

- **Duale Berufsausbildung an Kapazitätsgrenze**

Die quantitative Leistungsfähigkeit des dualen Systems der Berufsausbildung stagniert seit Jahren. Über 40 % der Jugendlichen, die eine Berufsausbildung beginnen wollen, befinden sich in einer Warteschleife. Die Forderung nach zusätzlichen Angeboten vollzeitschulischer Berufsausbildung wird auch im neuen nationalen Bildungsbericht begründet. Das Berufsbildungsreformgesetz schafft neue Rahmenbedingungen dafür.

- **Mehr Jugendliche mit Defiziten**

Die Zahl der Schülerinnen und Schüler mit besonderem Förderbedarf nimmt weiter zu. Über 11 % der Jungen verlassen die Schule ohne Abschluss. Berufskollegs müssen hier

zusätzliche Angebote auch in Kooperation mit anderen Trägern machen. Lerngruppen zur Berufsvorbereitung und zur Berufsorientierung müssen ausgebaut werden. Das Werkstattjahr kann ein Regelangebot werden.

- **Höhere Abiturienten-Quote an Berufskollegs**

Mit dem neuen Schulgesetz wird der Weg zur allgemeinen Hochschulreife über die Berufskollegs forciert. Ein früherer Berufsbezug und mehr Durchlässigkeit im Schulsystem werden als Argumente genannt. Mit der Errichtung von Berufsgymnasien an den Berufskollegs soll dafür ein organisatorischer Rahmen geschaffen werden. Die Situation im Bundesland Baden-Württemberg ist das Leitbild. Dort kommen ca. 1/3 der Abiturientinnen und Abiturienten von den beruflichen Schulen.

- **Guter Unterricht braucht gutes Lernumfeld**

Im Konzept „Lehren und Lernen für die Zukunft“ des Projektes „Selbstständige Schule“ wird der didaktische Entwicklungsbedarf der Schulen beschrieben. Der Aspekt der beruflichen Handlungsorientierung und das Lernfeldkonzept stellen für die Berufskollegs noch eine zusätzliche Herausforderung dar. Offene Lernformen, kooperatives Arbeiten und Lernen, eigenverantwortliches Arbeiten in Selbstlernphasen, Projektarbeit als regelmäßige Unterrichtsvorhaben, berufspraktische Lernräume, Teamarbeit der Lehrenden, IT-Unterstützung für den Regelunterricht, intensive Beratungsarbeit, Ganztagsbetrieb: Diese Stichworte verdeutlichen die Forderung nach gutem und ausreichendem Schulraum.

- **Schulraum fehlt grundsätzlich**

In einer Sitzung des Ausschusses für Schule, Kultur und Sport des Kreises hat das zuständige Fachamt den Schulraummangel an unserem Berufskolleg quantifiziert: In der Spitze fehlen am Schulort Steinfurt 15 Räume, am Schulort Emsdetten sind 3 Räume ermittelt worden. Tatsächlich stellen wir insbesondere in Emsdetten schon heute einen höheren Bedarf fest und bieten bestimmte Bildungsgänge deshalb dort nicht an. Die Schulkonferenz unseres Berufskollegs hat in ihrer letzten Sitzung den Schulraummangel ausdrücklich bestätigt und die Schulleitung zur Intervention beim Schulträger aufgefordert.

- **Gute Substanz an Schulraum**

Der Kreis Steinfurt als Schulträger unseres Berufskollegs hat vor allem in den letzten Jahren erheblich und nachhaltig in die Schulgebäude und die Schulgelände investiert. Dies hat die Schulkonferenz in einem Beschluss besonders betont.

- **Sanierungsbedarf im Haus III**

Der 1938 errichtete Altbau unseres Berufskollegs ist sanierungsbedürftig. Im Jahre 2005 erstellten Sanierungsrahmenplan hat das Technische Gebäudemanagement des Kreises Steinfurt die Dringlichkeit der Sanierung festgestellt. Im Schulalltag werden die dort festgestellten Defizite bemerkt. Hinzu kommt der unzweckmäßige Zuschnitt der Räume, die große ungenutzte Fläche durch die Flure, die Notwendigkeit der regelmäßigen Nutzung des Dachgeschosses für Unterrichtsräume etc. Im Altbau befinden sich 18 Unterrichtsräume.

- **Struktureller Schulraumbedarf**

Die Umsetzung von curricularen Veränderungen (s. Pkt. „Guter Unterricht braucht gutes Lernumfeld“) benötigt eine angemessene Lernumgebung. Der Zuschnitt von Unterrichtsräumen muss methodische Variationen zulassen. Kooperative Lernformen benötigen flexible Raumkonzepte. Angesagt ist eine multifunktionale Raumkonzeption, die auch

Neben- und Zwischenräume einbezieht. Unterrichtsräume mit den Normgrößen der alten Schulbaurichtlinien entsprechen schon länger nicht mehr den pädagogischen Erfordernissen. Der Frontalunterricht als methodische Grundform und die Kreidetafel als zentrales Medium sind nicht zukunftsfähig. Auch der Fachraumbedarf steigt mit der Erweiterung des Angebots an vollzeitschulischer Berufsausbildung.

- **Schule ist mehr als Unterricht**

Betreuung, Beratung und individuelle Unterstützung von Lernenden hat eine immer größere Bedeutung im Schulalltag. Eine längere tägliche Verweildauer in der Schule aufgrund von Unterrichtszeiten und ungünstigen Verbindungen im ÖPNV erfordert zusätzliche Angebote. Dies hat räumliche Konsequenzen.

Ein großes Berufskolleg braucht multifunktionalen Schulraum für Sondersituationen. Es geht nicht um eine Aula. Es geht um ein pädagogisches Zentrum als „Allraum“ für zentrale Klausuren, Präsentationen von Projektergebnissen, Theater-, Musik- und Firmarbeit, Informationsveranstaltungen, Konferenzen der Gremien (Lehrer, Schüler, Eltern), Fortbildungen, Begrüßungs- und Abschlussveranstaltungen etc. Auch die notwendige „Öffnung der Schule“ für Zwecke der regionalen Bildungs- und Kulturarbeit hätte dann ein Forum.

## **2.1.2 Beurteilung der Schulraumsituation durch das Schul-, Kultur- und Sportamt**

Eine aktuelle Prognose zur Schulentwicklung für den Bereich der Berufskollegs wurde dem Schul-, Kultur- und Sportausschuss in seiner Sitzung am 22.05.2006 vorgelegt. Danach kann davon ausgegangen werden, dass die Schülerzahlen an den Berufskollegs im Kreis Steinfurt in den beiden kommenden Schuljahren ihren Höchststand erreichen und anschließend bis zum Schuljahr 2025/26 rückläufig sein werden. Dieser Rückgang basiert auf der angenommenen Entwicklung der Schülerzahlen in den einzelnen Schulformen in NRW, wie sie vom Schulministerium in einer Prognose im April 2005 erstellt wurde; er beträgt – bezogen auf das Basisjahr 2004/05 (1.859 SchülerInnen) – rd. 20 %. Einer Anschlussstudie der Bezirksregierung Münster aus 10/05 ist entnehmbar, dass der Rückgang der Schülerzahlen im Kreis Steinfurt aufgrund höherer Geburtenraten und Wanderungsgewinnen gegenüber dem Landesdurchschnitt, erheblich geringer ausfällt (ca. 14 %) und auch zeitlich verzögert (3 Jahre) eintritt.

Für die Wirtschaftsschulen stellt sich die Situation wie folgt dar:

Aktuell besuchen 2.540 Schülerinnen und Schüler die Schule; prognostiziert waren für das laufende Schuljahr 2.433. Davon besuchen 537 die Schule am Standort Emsdetten und rd. 2.000 den Standort Steinfurt. Bei der Ermittlung des Raumbedarfs ergibt sich eine Unterversorgung am Standort Steinfurt um 18 Klassenräume und am Standort Emsdetten um 5 Klassenräume, die am Standort Emsdetten eine Schulpavillion-Lösung erfordern und am Standort Steinfurt – auch bei langfristiger Betrachtung - eine Erweiterung des Raumangebots (die Schule spricht in ihrem Positionspapier unter Abschnitt 1.1.1 von 15 und 3 Klassenräumen; dabei handelt es sich um Prognosedaten, die von der Realität im Schuljahr 2006/07 überholt wurden.).

Geprüft wurde in diesem Zusammenhang auch, ob Räumlichkeiten der Technischen Schulen zur Unterrichtung von SchülerInnen der Wirtschaftsschulen genutzt werden könnten; denn

an den Technischen Schulen ergibt sich ein rechnerischer Überhang von aktuell 10 Räumen. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

In Abstimmung mit dem Technischen Gebäudemanagement wurden zunächst alle Bereiche im Gebäude der Technischen Schulen dargestellt, die ausschließlich für speziellen Fachunterricht hergerichtet sind, als Sammlungsräume oder zur Unterrichtsvorbereitung dienen oder aufgrund der Belichtung (Dunkelraum) nicht für Unterrichtszwecke dauerhaft genutzt werden können und daher von weiteren Nutzungsüberlegungen auszuschließen sind. Die verbleibenden Unterrichtsräume, die auch für Unterricht der Wirtschaftsschulen nutzbar sind, wurden anhand des Belegungsplans der Technischen Schulen auf ihre aktuelle Belegung hin untersucht, um freie Kapazitäten zu ermitteln. Dabei ergaben sich nur punktuelle Nutzungsmöglichkeiten, die zudem überwiegend in der Nachmittagszeit liegen (70 % in der 7. und 8. Stunde). Das würde den ohnehin schon hohen Anteil an Nachmittagsunterricht in den Wirtschaftsschulen in unzumutbarer Weise erhöhen.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die Technischen Schulen zwar freie Raumkapazitäten haben, die rein rechnerisch die Größe von aktuell etwa 6 Klassen haben; damit kann der zusätzliche Raumbedarf der Wirtschaftsschulen aus den dargestellten Gründen jedoch bei Weitem nicht gedeckt werden.

Eine Erweiterung um 4 Klassenräume ist damit auch mittelfristig und bei zurückgehenden Schülerzahlen am Standort Steinfurt unumgänglich.

Zudem muss berücksichtigt werden, dass zusätzliche Aufgaben, die von den Berufskollegs im Prognosezeitraum wahrgenommen werden, in der Schulentwicklungsplanung nicht berücksichtigt sind, weil sie nur schwerlich vorhersehbar sind und deshalb zahlenmäßig nicht gewichtet werden können. Die Wirtschaftsschulen haben sich stark engagiert in der Versorgung der lernschwächeren SchülerInnen im Rahmen des Werkstattjahres. Zielstrebig wird an beiden Schulstandorten das Angebot zur Ausbildung und Qualifizierung von Fachkräften in der Speditions- und Logistikbranche ausgebaut. Diese erweiterten Aufgabenfelder führen aller Voraussicht nach nicht zu dem prognostizierten Rückgang der Schülerzahlen auf rd. 1.820 im Schuljahr 2025/26.

### **2.1.3 Stellungnahme des Baudezernats**

Die Wirtschaftsschulen in Steinfurt bestehen aus drei Häusergruppen, die im Laufe der vergangenen Jahrzehnte an der Bahnhofstraße 28 in Steinfurt errichtet wurden und durch Flurerschließungen miteinander verbunden sind. Zur Unterscheidung und zur besseren Übersicht wurden die jeweiligen Gebäudeeinheiten mit Haus I, II und III bezeichnet. Die Bruttogeschossfläche der Schule beträgt 10.191 m<sup>2</sup>. Die Fläche des Schulgeländes beträgt 9.163 m<sup>2</sup>.

Haus I wurde 1983 errichtet und 1996 durch einen kleineren Anbau vergrößert.

Haus II besteht seit 1959 und wurde im Jahr 2000 aufgrund wachsender Schülerzahlen, um ein weiteres Geschoss durch eine umfangreiche Aufstockung mit 9 zusätzlichen Unterrichtsräumen erweitert.

Das Haus III wurde 1938 gebaut und ist nahezu im unveränderten Zustand erhalten. Im Sanierungsrahmenplan wurde die Sanierung dieses Gebäudeteils durch das Fachamt umfangreich beschrieben.

Sie ist danach die größte Schule des Kreises Steinfurt und hat unter den Berufskollegs die geringste Nutzfläche und die kleinste Grundstücksfläche. Seit der Aufstockung des Hauses II im Schuljahr 2000/01 um ein weiteres Vollgeschoss mit weiteren 9 Unterrichtsräumen ist die Schülerzahl von 1.901 auf 2.540 im Schuljahr 2006/07 um 640 Schüler angestiegen.

Zum Vergleich dazu hat das Berufskolleg in Ibbenbüren eine Bruttogeschossfläche von 21.750 m<sup>2</sup> bei aktuell rd. 2.270 Schülern.

Die Wirtschaftsschulen Steinfurt haben im Vergleich zu den anderen Schulen des Kreises die höchste Schülerzahl bei der geringsten Nutzfläche.

Unter Zugrundelegung des erforderlichen Raumbedarfs nach der Schulbaurichtlinie herrscht an den Wirtschaftsschulen in Steinfurt ganz akute Raumnot.

#### **2.1.4 Einbindung des Gesundheitsamtes**

Die Erarbeitung des Leitfadens erfolgt durch die „Fachhochschule Münster“ und dem „Kreis Steinfurt“ mit seinen vielfältigen internen Fachdisziplinen. Hierzu zählt neben dem Gebäudemangement und dem Schulamt das Gesundheitsamt. Die Gesundheitsvorsorge mit den Aufgabenbereichen der Hygiene- und Trinkwasserüberwachung sowie die Schadstoffbewertung sind dabei Schwerpunktthemenfelder des Projektes. Aspekte wie die CO<sub>2</sub>-Belastung in Räumen, Nachhallzeiten und Raumkühlung sind nur einige gemeinsame Themenfelder der Gesundheitsvorsorge und des Leitfadens. Dabei erfolgte die Ausgestaltung des Untersuchungsrahmens und der Lösungsansätze unter Beteiligung der dem Kreis Steinfurt eigenen Dienststellen.

### **2.1.5 Auswahl repräsentativer Klassenräume für messtechnische Untersuchungen**

In Zusammenarbeit mit den Schulleitungen, den Lehrerkollegien, den Schülervertretungen, dem Bauträger und der Fachhochschule Münster wurden an den Wirtschaftsschulen und den Technischen Schulen verschiedene Unterrichts- und EDV-Räume für anstehende Untersuchungen des Ist-Zustands hinsichtlich der Raumluftqualität, Akustik und Beleuchtung ausgewählt.

Bei der Auswahl der repräsentativen Schulräume wurden die Ausrichtung (Himmelsrichtung), Anordnung (innenliegend/außen liegend), Lichteinfall, Ausrüstung, Lüftung, Akustik, Inventar und die entsprechende Behaglichkeit berücksichtigt.

Insgesamt wurden an beiden Schulen zehn Räume, acht Klassenräume und zwei EDV-Klassenräume, messtechnisch untersucht.

Bei einem Klassenraum und einem EDV-Klassenraum handelt es sich um innenliegende Räume, welche über Lichtkuppeln bzw. kein Fenster verfügen. Diesen Räumen steht eine Lüftungsanlage bzw. Abluftanlage zur Verfügung, die bei Bedarf für eine bestimmte Zeit eingeschaltet werden kann.

Im Anhang A 1. befinden sich ausführliche Steckbriefe für jeden untersuchten Klassenraum.

### **2.1.6 Fragebogenaktion zur individuellen Beurteilung der messtechnisch untersuchten Klassenräume**

Um die messtechnischen Untersuchungen hinsichtlich des Nutzerempfindens bewerten zu können, wurde parallel zu den messtechnischen Untersuchungen eine Fragebogenaktion durchgeführt. Diese fand während der Untersuchungszeit in den jeweiligen Klassenräumen statt.

Am Ende einer Doppelstunde füllte jeder Schüler einen Fragebogen aus, in dem Angaben zur jeweiligen Unterrichtsstunde, zum Charakter der vorherigen Unterrichtsstunde (theoretischer Unterricht, Werkunterricht oder Sport), zum körperlichen Befinden, zur Raumsituation wie Beleuchtung, Akustik, Lüftung, Luftqualität und Temperatur gemacht wurden.

Von den Lehrern wurde ein gesonderter Fragenbogen erhoben, in dem zusätzlich die Lüftungsgewohnheiten während der Unterrichtsstunde und die Belegung des Raumes abgefragt wurden.

Insgesamt wurden über 3.700 Fragebögen ausgefüllt und der Auswertung zugeführt. Die Verteilung der Fragebögen auf die untersuchten Räume ist in Tabelle 2-1 aufgeführt. Die teilweise niedrige Zahl von Fragebögen in einigen Räumen der Technischen Schulen rührt aus der geringen Schüleranzahl in einigen Kursen.



Tabelle 2-1: Auszuwertende Fragebögen

Raumbezeichnung (WS: Wirtschaftsschulen TS: Technische Schulen)	Anzahl Fragebogen (Lehrer + Schüler)
WS 111	475
WS 118	436
WS 231	497
WS 326	524
TS 17	180
TS 29	196
TS 38	545
TS 104	325
TS 126	196
TS 136	368
<b>Gesamt</b>	<b>3742</b>

Mit dem Fragebogen wurde das Empfinden der Schüler bezüglich

- der Raumtemperatur,
- der Luftqualität,
- der Akustik,
- des störenden Einflusses von Außengeräuschen und
- der Lichtverhältnisse abgefragt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Befragung zusammengefasst.

In Abbildung 2-1 und Abbildung 2-2 sind die Befragungsergebnisse zum Empfinden der Raumtemperatur dargestellt. Die überwiegende Anzahl der Befragten beurteilt die Raumtemperatur als angenehm. Der Raum TS136 fällt durch einen vergleichsweise hohen Anteil von Kaltempfinden auf. Dieses Maximum korrespondiert mit einem sehr geringen Anteil von Warmempfinden. Ein sehr ausgeglichenes Empfinden ist beim Raum TS17 festzustellen. Zwar überwiegt hier auch das Empfinden „angenehm“, die Anteile „kalt“ und „warm“ liegen etwa gleichhoch nur 10 Prozent darunter.

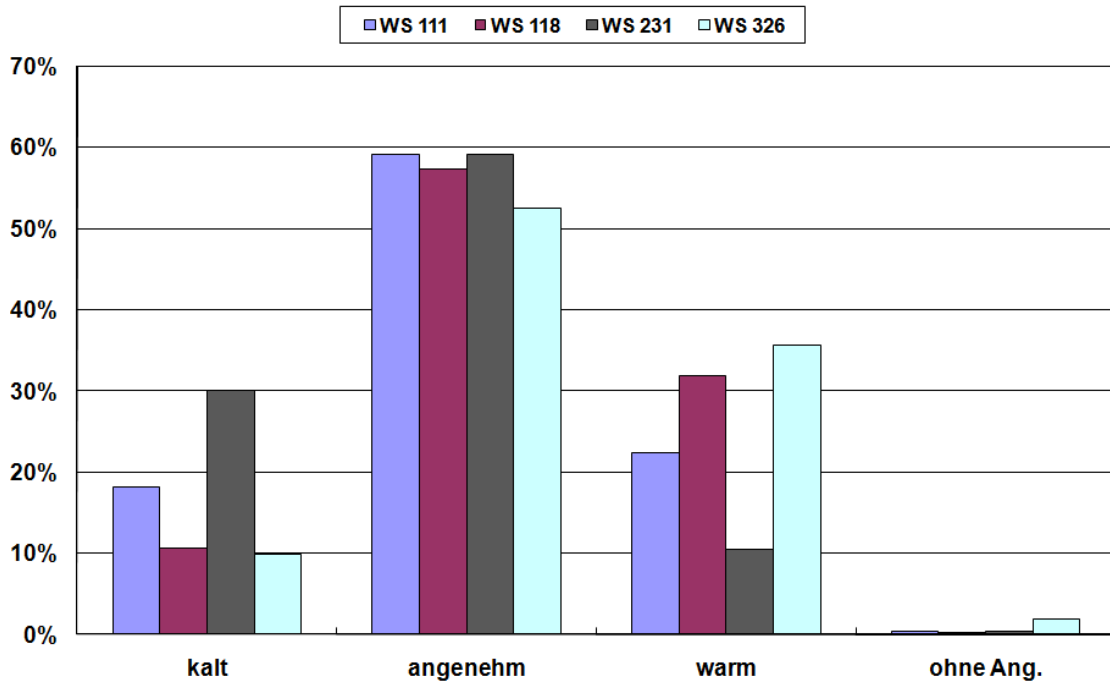


Abbildung 2-1: Empfinden der Raumtemperatur in den Räumen der Wirtschaftsschule

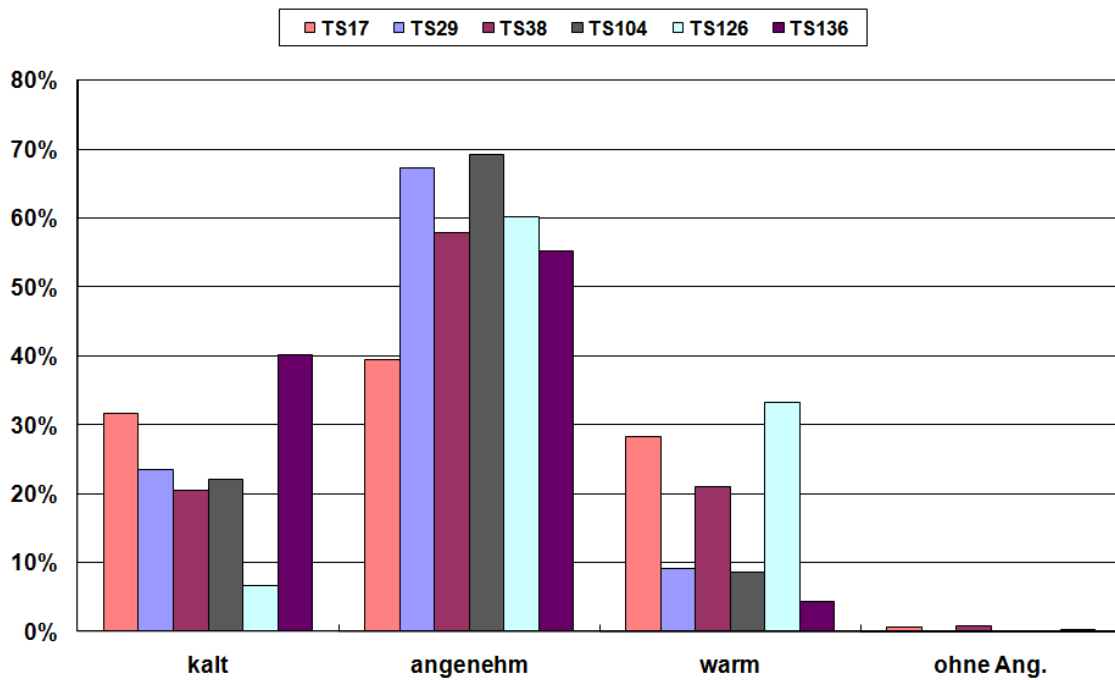


Abbildung 2-2: Empfinden der Raumtemperatur in den Räumen der Technischen Schulen

Das Empfinden der Luftqualität ist in Abbildung 2-3 und Abbildung 2-4 dargestellt. Insgesamt wird die Luftqualität der untersuchten Räume beider Schulen als schlecht bewertet. Im Mittel finden 75 Prozent der Befragten die Qualität der Raumluft als schlecht. Selbst im „besten“ Raum (TS104) empfindet über die Hälfte der Befragten die Raumluft nicht gut. In den am schlechtesten bewerteten Räumen liegt die Quote der positiven Beurteilungen knapp über zehn Prozent aller Befragten.

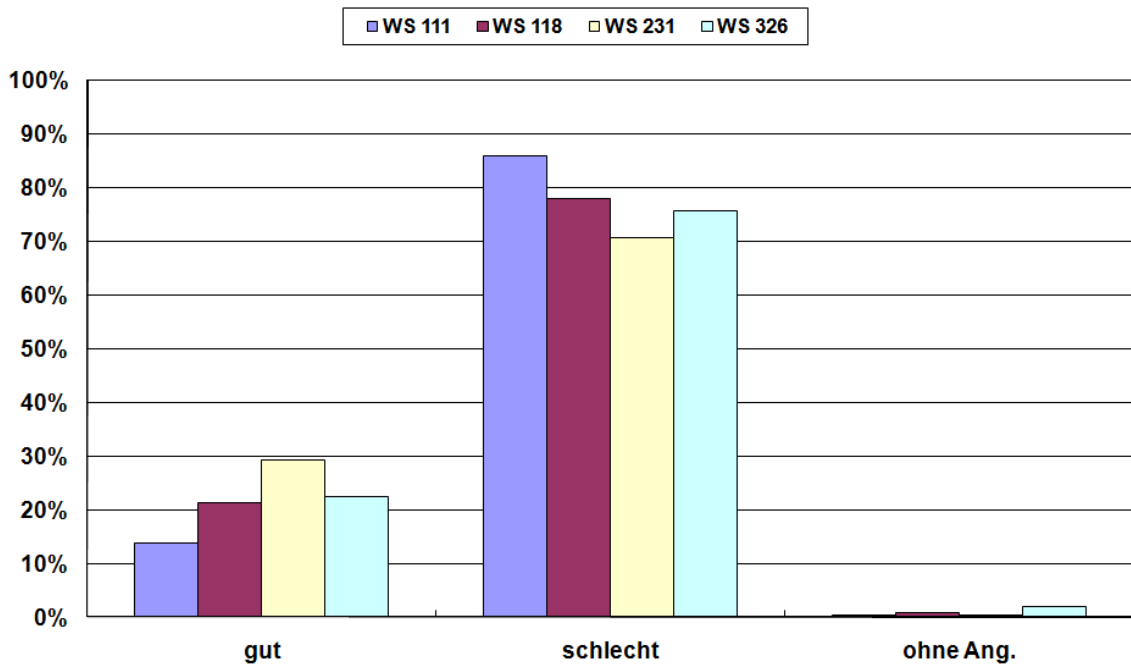


Abbildung 2-3: Empfinden der Luftqualität in den Räumen der Wirtschaftsschule

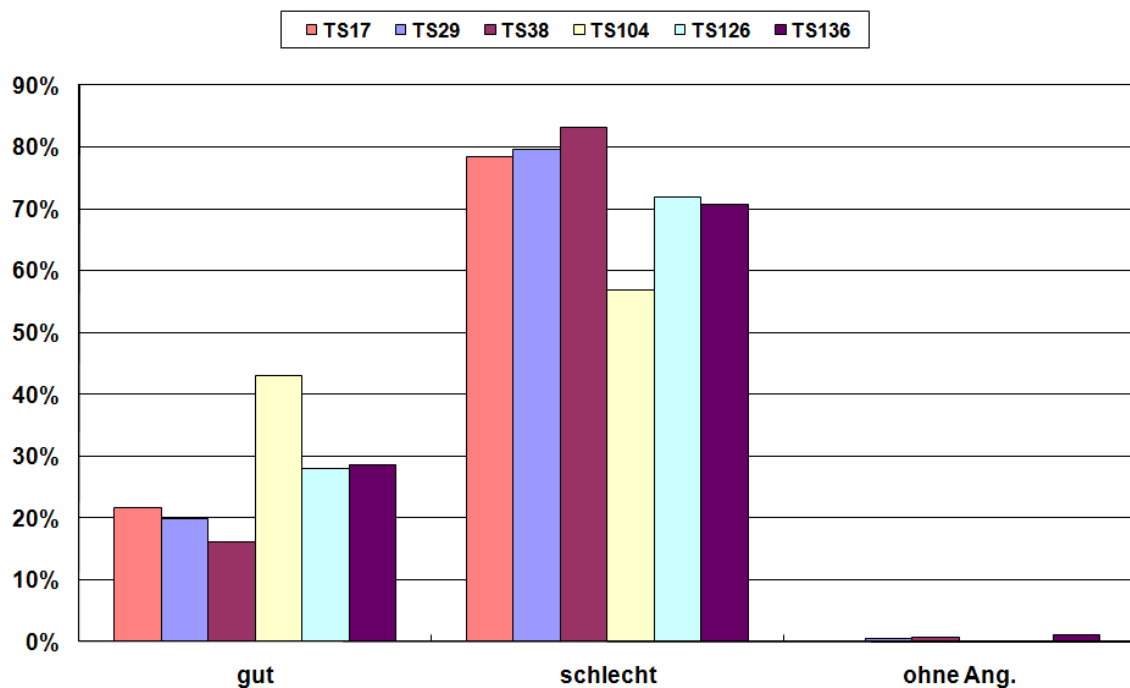


Abbildung 2-4: Empfinden der Luftqualität in den Räumen der Technischen Schulen

Abbildung 2-5 zeigt anhand einer weitergehenden Auswertung der Fragebögen der Technischen Schulen, dass das schlechte Empfinden der Luftqualität unabhängig vom Öffnungszustand der Fenster ist. Sowohl bei geschlossener als auch gekippter Stellung einiger bzw. aller Fenster eines Raumes wird die Luftqualität von 70 Prozent und mehr der Schüler als schlecht empfunden.

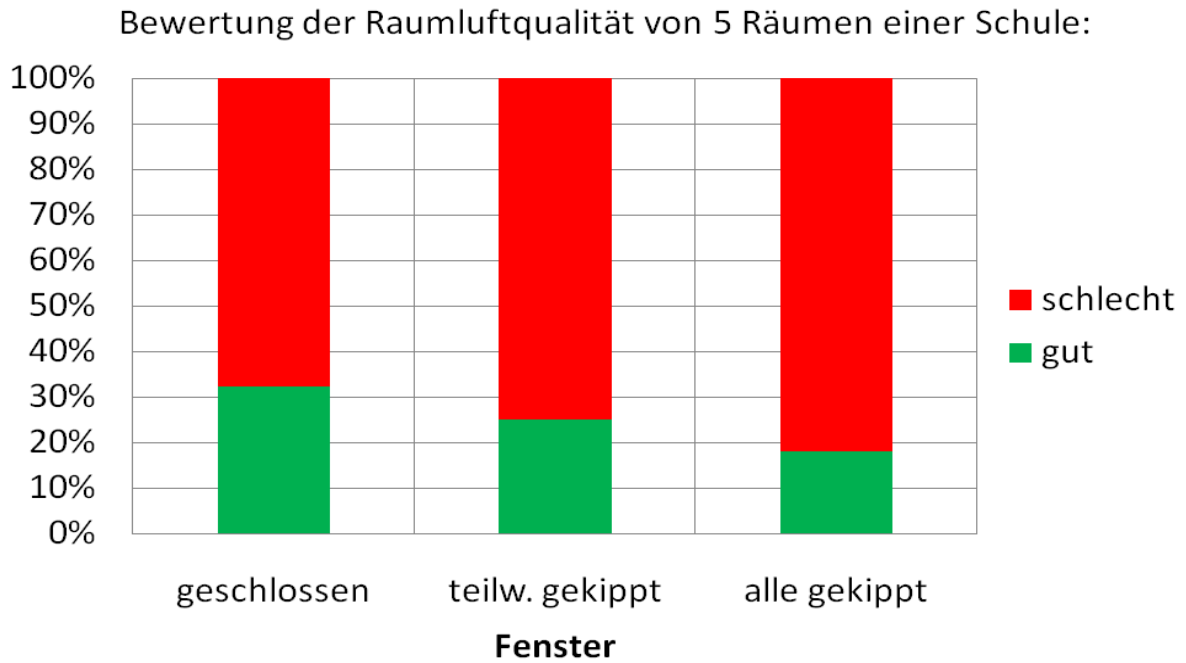


Abbildung 2-5: Einfluss der Fensterstellung auf das Empfinden der Luftqualität

Die Veränderung des Empfindens der Luftqualität in Abhängigkeit von der Unterrichtsdauer zeigt Abbildung 2-6. Bereits in der ersten Schulstunde wird die Luftqualität von mehr als der Hälfte der Schüler als schlecht empfunden, weil die frische Luft, die bis zum Morgen in den Raum eingeströmt ist, bereits kurz nach Schulbeginn verbraucht ist. Das schlechte Empfinden der Luftqualität steigt mit fortschreitender Unterrichtsdauer an. Zum einen ist der Luftaustausch in den Räumen während der Pausenzeiten unzureichend, zum anderen steigern Ermüdungserscheinungen der Schüler das schlechte Empfinden.

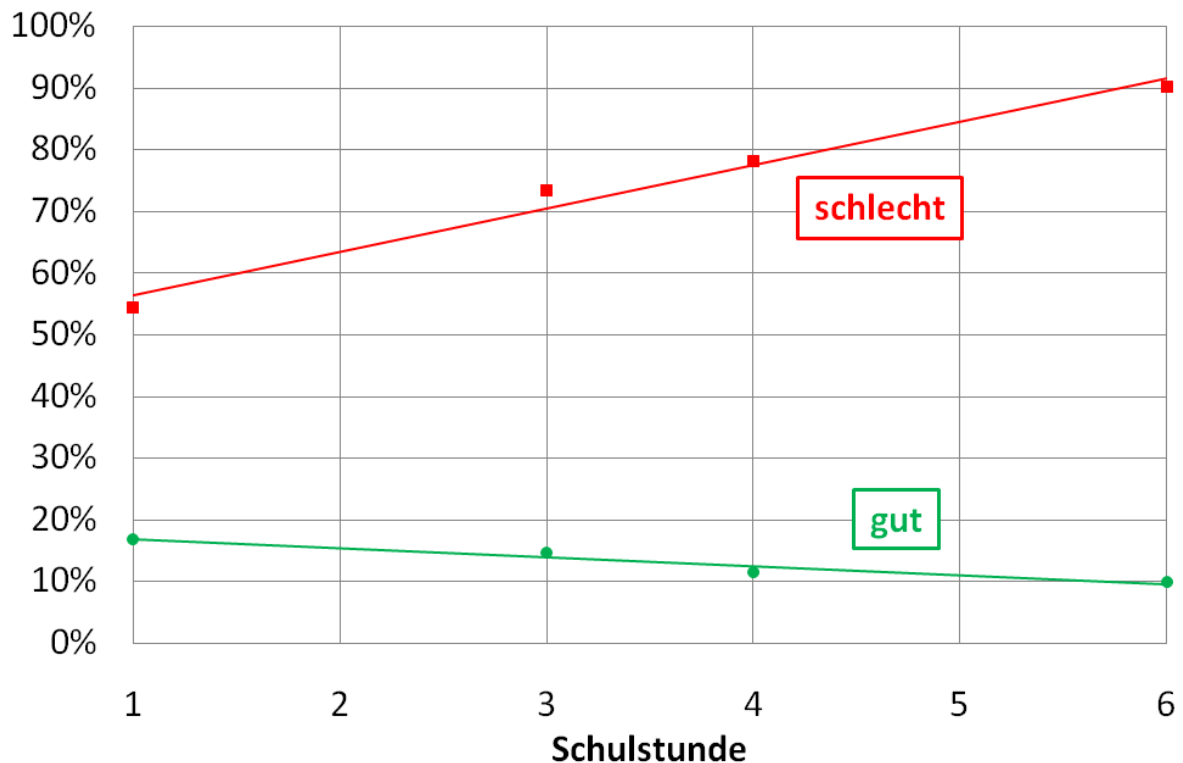


Abbildung 2-6: Empfinden der Luftqualität in Abhängigkeit von der Unterrichtsdauer

Im Gegensatz zur Luftqualität wurde die Akustik in den untersuchten Räumen überwiegend normal empfunden (Abbildung 2-7 und Abbildung 2-8). Lediglich Raum WS111 fällt durch ein erhöhtes Empfinden einer lauten Akustik auf.

Die Außengeräusche werden an den Wirtschaftsschulen als störender empfunden als an den Technischen Schulen (vgl. Abbildung 2-9 und Abbildung 2-10). Dieses Ergebnis kann auf die durch Bautätigkeiten im Zuge der Sanierungsmaßnahmen erhöhte Geräuschkulisse an den Wirtschaftsschulen während der Befragung zurückgeführt werden.

Die Lichtverhältnisse wurden in allen untersuchten Räumen überwiegend als ausreichend empfunden (Abbildung 2-11 und Abbildung 2-12).

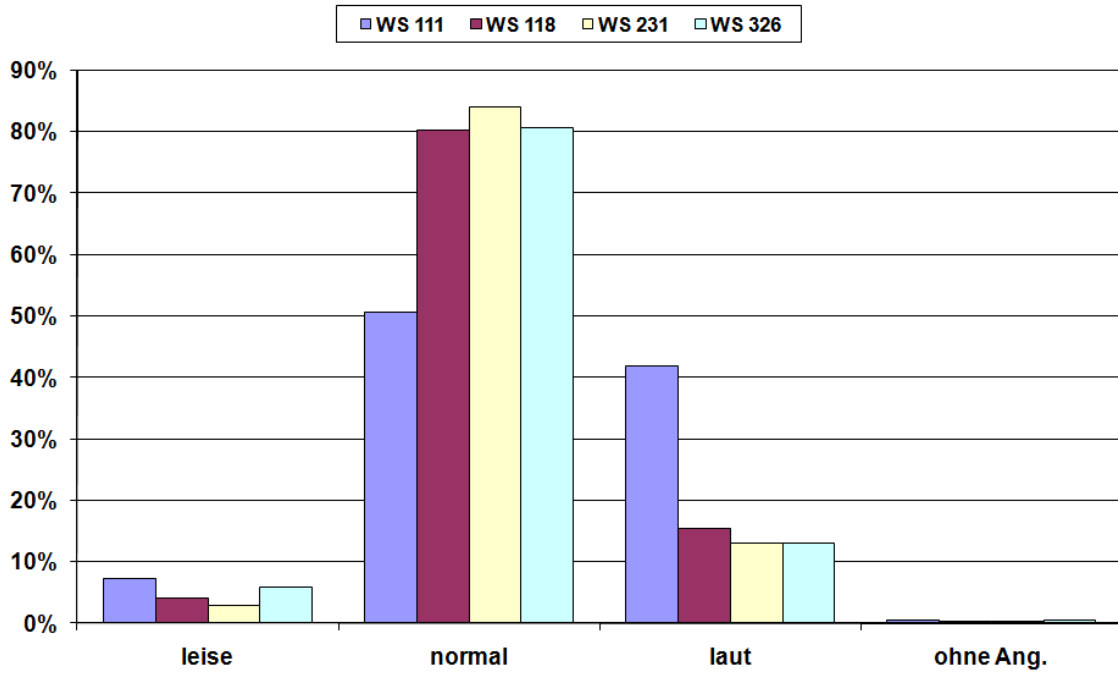


Abbildung 2-7: Empfinden der Akustik an der Wirtschaftsschule

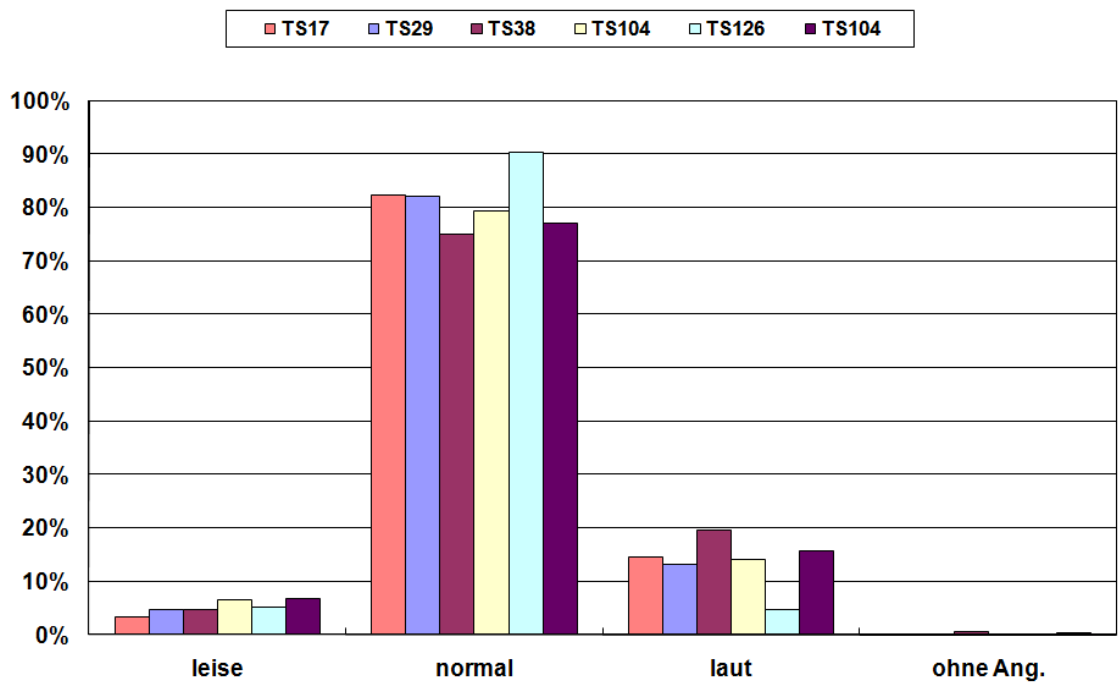


Abbildung 2-8: Empfinden der Akustik an der Technischen Schulen

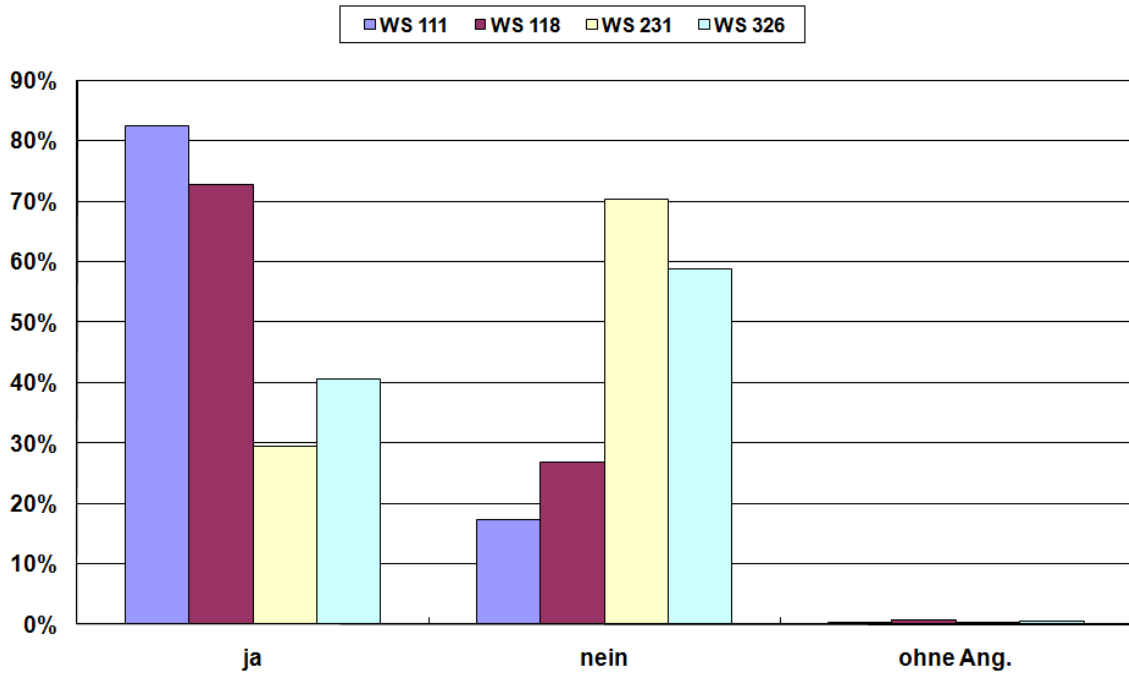


Abbildung 2-9: Empfinden störender Außengeräusche an der Wirtschaftsschule

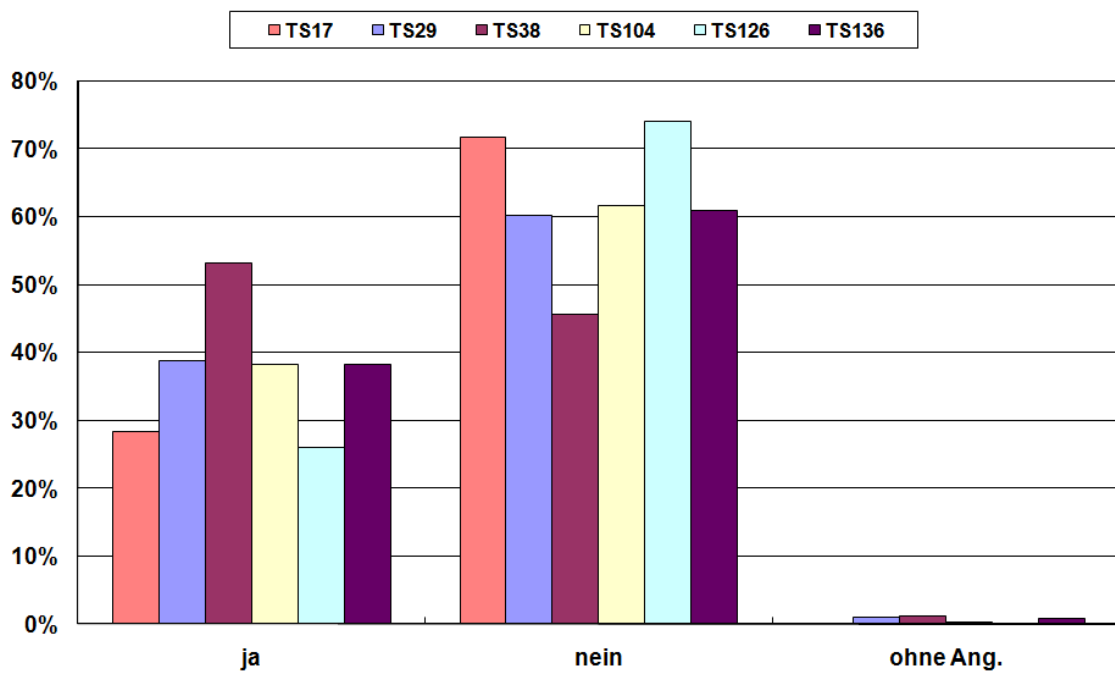


Abbildung 2-10: Empfinden störender Außengeräusche an der Technischen Schulen

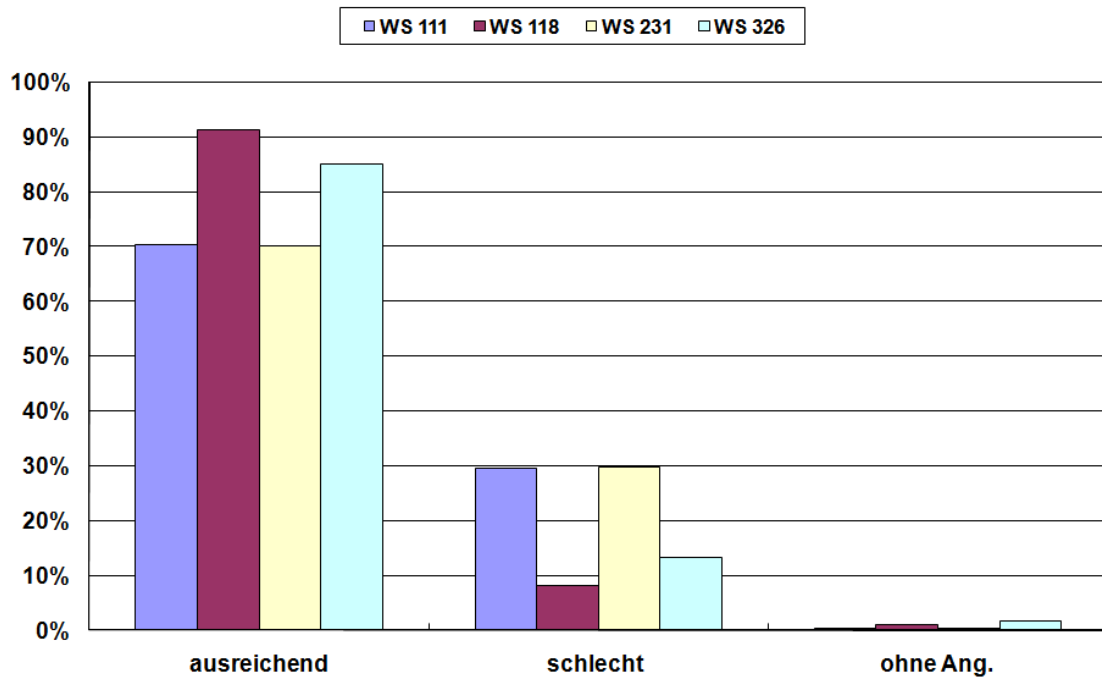


Abbildung 2-11: Empfinden der Lichtverhältnisse an den Wirtschaftsschulen

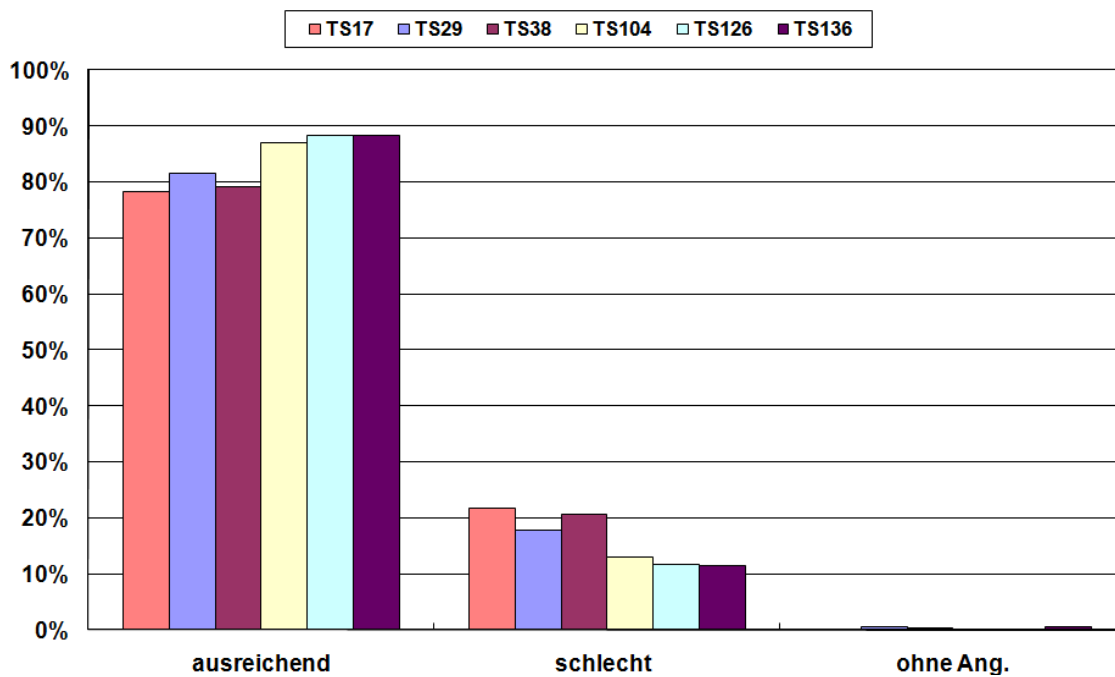


Abbildung 2-12: Empfinden der Lichtverhältnisse an den Technischen Schulen



## 2.2 Erfassung der Bestandsdaten der Gebäude

Bei den zu untersuchenden Gebäuden handelt es sich um die Wirtschaftsschulen Steinfurt und die Technischen Schulen Steinfurt. Beide Schulen sind in Trägerschaft des Kreises Steinfurt.

### 2.2.1 Beschreibung der bestehenden Gebäude der Wirtschaftsschulen Steinfurt (Stand 2007)

Die Wirtschaftsschulen in Steinfurt sind Teil der berufsbildenden Schulen im Kreis Steinfurt, welche im Jahr 1925 aus mehreren örtlichen Lehranstalten hervorgingen. Im Jahr 1976 erhielt die Schule in Burgsteinfurt den Namen „Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt“. Heute ist sie Bildungsstätte für circa 2.500 Schüler an den Standorten in Steinfurt und Emsdetten und befindet seit dem Zusammenschluss in der Trägerschaft des Kreises Steinfurt. Der Standort Steinfurt wird von ca. 2.000 Schülern besucht.

Die Wirtschaftsschule in Steinfurt besteht aus drei zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellten Gebäuden und deren Erweiterungen an der Bahnhofstraße 28 in Steinfurt. Durch Flurerschließungen sind die Gebäude miteinander verbunden. Dadurch, dass zwischen der Errichtung der einzelnen Gebäude mehrere Jahrzehnte liegen, sind unterschiedliche Baustrukturen im Bestand vorzufinden.

Die nachfolgende Abbildung 2-13 wurde im Rahmen der energetischen Simulation der Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt erstellt und zeigt die im Folgenden beschriebenen drei Gebäudeteile der Liegenschaft. Zur Unterscheidung und zur besseren Übersicht wurden die jeweiligen Gebäudeeinheiten mit Haus I, II und III bezeichnet.

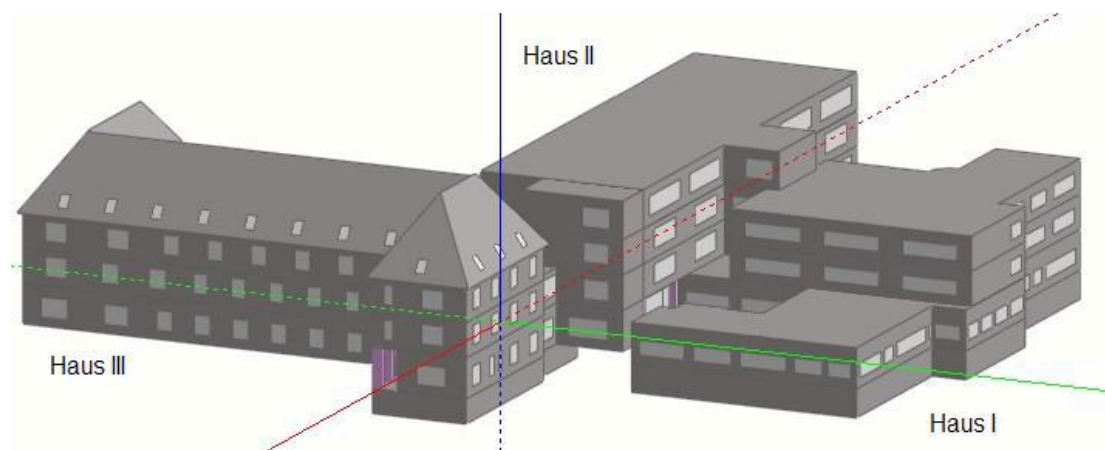


Abbildung 2-13: Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt vor der Sanierung (2007)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Diplomarbeit Jens Willmes, Simulationsrechnungen zur energetischen Optimierung der Wirtschaftsschulen in Steinfurt, März 2008

### **2.2.1.1 Beschreibung Haus I**

Das Haus I wurde im Jahr 1983 gebaut und ist das jüngste Gebäude der Wirtschaftsschulen, wenn man von kleineren späteren Erweiterungen absieht. 1996 wurde das Gebäude durch einen kleineren Anbau vergrößert.

Neben den beiden Obergeschossen und dem Erdgeschoss besitzt dieses Gebäude ein Kellergeschoss. In dem Gebäude sind neben einigen Klassenräumen der Großteil der Verwaltung und das Lehrerzimmer untergebracht.

Die Außenwände des Hauses I bestehen aus einem Mauerwerk aus Kalksandstein (17,5 cm), Dämmung (4,5 cm), Luftschicht (5,5 cm) und Verblendung (11 cm). Der errechnete U-Wert beträgt  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Das Dach ist eine Betonkonstruktion, bestehend aus einer Schicht von 17,5 cm Beton, 8 cm Dämmung, 2 cm Bitumendachbahnen und einer Steinschüttung. Der errechnete U-Wert beträgt  $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

In diesem Gebäude sind noch die ursprünglichen, bei der Errichtung eingesetzten, Fenster aus dem Jahr 1983 vorhanden. Verbaut wurde die damalige Thermopen-Isolierverglasung. Der U-Wert für diese Fenster beträgt circa  $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Außerhalb der regelmäßigen Gebäudeunterhaltung ist aus gegenwärtiger Sicht des Fachamtes des Kreises Steinfurt in den nächsten Jahren keine größere Sanierung an Haus I durchzuführen.

### **2.2.1.2 Beschreibung Haus II**

Nachdem in den fünfziger Jahren die Anzahl der Schüler stieg und ein weiterer Bedarf an Klassenräumen abzusehen war, wurde der Altbau (Haus III) 1959 durch ein weiteres Gebäude erweitert. Der Rohbau dieses nicht unterkellerten Gebäudes ist ein Stahlbetonskelettbau. In diesem Gebäude sind in den oberen Stockwerken neben Klassenräumen auch Computerräume und ein Aufenthaltsraum untergebracht. Im Erdgeschoss befindet sich die große Pausenhalle. Im Jahr 2000 wurde das Gebäude durch ein weiteres Geschoss in Holzständerbauweise umfangreich aufgestockt.

Die Außenwände des alten Gebäudeteils (EG bis 2. OG) bestehen aus einem Mauerwerk aus Lochziegeln (24 cm) mit Schalenfuge (2 cm) und Verblendung (11,5 cm). Der hierfür errechnete U-Wert beträgt  $1,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Das neue dritte Geschoss dieses Gebäudes wurde im Jahr 2000 nach der Wärmeschutzverordnung von 1995 errichtet. Die Außenwände des dritten Obergeschosses (außer Holzständerbauwerk) bestehen aus einem mehrschaligen Aufbau aus Kalksandstein (24 cm), einer Mineralwolldämmung (8 cm), einer Luftschicht (2 cm) und einer 11,5 cm starken Verblendung aus Klinker. Der U-Wert wurde zu  $0,37 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  errechnet.

Das neue Dach des Haus II nach der Aufstockung besteht aus einer wärme gedämmten Trapezblechabdeckung und besitzt laut Wärmeschutznachweis aus dem Jahr 1999 einen U-Wert von  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Die Fenster sind im Haus II insgesamt auf neuerem Stand. Die Fenster im Erdgeschoss und auch die auf der Ostseite im ersten und zweiten Obergeschoss wurden im Jahr 1994 erneu-

ert und haben einen U-Wert von  $1,90 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Die Fenster im ersten und zweiten Obergeschoss in Richtung Westen wurden im Jahr 2005 erneuert und haben einen U-Wert von  $1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Im dritten Obergeschoss befinden sich weiterhin die im Jahr der Aufstockung eingebauten Fenster mit einem U-Wert von  $1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Es bleibt festzuhalten, dass in Haus II in den nächsten Jahren kein größerer Sanierungsaufwand zu erwarten ist. Die Investitionen aus dem Jahr 2005 belaufen sich auf ein Gesamtinvestitionsvolumen von rd. 110.000 €.

Außerhalb der regelmäßigen Gebäudeunterhaltung ist aus gegenwärtiger Sicht des Fachamtes des Kreises Steinfurt in den nächsten Jahren keine größere Sanierung an Haus II durchzuführen.

Im Jahre 2007 wurde Haus II um einen Multifunktionsraum erweitert. Dieser Raum kann mittels einer Trennwand in zwei nutzbare Unterrichtsräume geteilt werden. Er bietet aber auch die Möglichkeit eines großen Raumes, der für diverse, auch außerschulische, Veranstaltungen genutzt werden kann.

### **2.2.1.3 Beschreibung Haus III**

Das Haus III aus dem Jahr 1938 ist der Altbau der Wirtschaftsschulen und ist nahezu im unveränderten Zustand erhalten. Dieses Gebäude wurde lediglich dem veränderten Nutzerverhalten der vergangenen Jahre angepasst und in Teilen modernisiert, erfüllt in weiten Teilen jedoch nicht mehr die Anforderungen an moderne Unterrichtsräume. Errichtet wurde das Gebäude mit einem Mauerwerk aus 41 cm Vollziegel (Reichsformat) und einem 11 cm Verblend-Klinker. Zur Bestimmung der Rohdichte und der Festigkeit wurden zwei Bohrproben durchgeführt. Der mit den Stoffwerten berechnete U-Wert beträgt  $1,46 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Das Steildach in Holzbalkenkonstruktion aus dem Jahr 1938 ist mit 4 cm Styropor gedämmt und mit einer Rigipsverkleidung zu den Klassenräumen versehen. Der U-Wert beträgt circa  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Das Dach mit einer Fläche von rd.  $1.250 \text{ m}^2$  basiert auf dem Originalzustand aus dem Jahre 1938. Die Satteldachkonstruktion ist mit Tondachpfannen, die in großen Teilen schadhaft sind, eingedeckt. Diese Dachflächen sind nur zum Teil geringfügig in den Klassenraumbereichen wärmegeklämt. Der Spitzboden, der als Lagerraum genutzt wird, besitzt überhaupt keine Dämmung. Eine Dampfsperre ist nicht berücksichtigt. Um die Klassen- und Flurbereiche zu belichten und bessere Kopfhöhen in den Schrägen zu erreichen, befinden sich auf den Dachflächen Schlepp- und Satteldachgauben. Das geplante neue Flachdach des Hauses III wird nach den Berechnungen des planenden Büros einen U-Wert von  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  aufweisen.

Die alten Fenster des Hauses III wurden im Rahmen einer Sanierung im Jahr 1977 durch weiße Kunststofffenster mit einem U-Wert von  $3,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  ersetzt. Diese Fenster weisen in großen Teilen Mängel auf. Die Profile sind teilweise beschädigt und bedingt durch eine starke Nutzung und Witterungseinflüsse erheblich verschmutzt. Eine Profilreinigung ist nicht mehr möglich. Für die Elemente der Flur- und Klassenbereiche wurde als Verglasung Isolierglas verwandt, ebenfalls mit, nach heutigen Ansprüchen sehr geringen Wärmedämmeigenschaften. Einzelne, vordringliche Klassenräume wurden im Jahre 2001 mit einem außen liegenden Sonnenschutz versehen. Aufgrund der Gegebenheiten ist es zukünftig jedoch notwendig, alle Räume mit Außenraffstores auszustatten. 2005 wurde die Eingangstür im Haus III erneuert.

Das gesamte Heizungs- und Trinkwassernetz und auch die Entwässerung wurde Anfang der 80 Jahre installiert. Genauso wie die Elektroinstallation und die Beleuchtung.

Die folgende Abbildung 2-14 zeigt Haus III der Schule im Jahr 2007.



*Abbildung 2-14: Haus III der Wirtschaftsschule Steinfurt (2007), Baujahr 1938*

In dem nachfolgenden Gebäudesteckbrief (Abbildung 2-15) sind die wichtigsten Daten der Schule und Angaben zum Verbrauch zusammengefasst. Der dargestellte Stand bezieht sich auf November 2008.

Gebäudesteckbriefe aller erfassten Schulen befinden sich im Anhang A 2.

Übersicht der Wirtschaftsschulen Steinfurt		Stand: Nov. 08							
<b>1. Gebäudekennung</b>									
Bezeichnung:	Wirtschaftsschulen Steinfurt								
Baujahr:	1938								
Gebäudeteil:	Hauptgebäude								
Anschrift:	Bahnhofstraße 28 48565 Steinfurt								
<b>2. Eigentümer/Flächen</b>									
Eigentümer:	Kreis Steinfurt								
Änderung der BGF im Jahr:	2001								
	<b>vorher</b>	<b>aktuell</b>							
Bruttogrundfläche (BGF):	9807,0 m <sup>2</sup>	10191,0 m <sup>2</sup>							
Nettogrundfläche (NGF):	8826,3 m <sup>2</sup>	9171,9 m <sup>2</sup>							
<b>3. Beschreibung durchgeführter Sanierungen</b>									
Neubau Haus II (BGF 5.589,00 m <sup>2</sup> )			1962						
Umbau Hausmeisterwohnung zu Klassenräumen Haus III			1980						
Neubau Haus I (BGF 9035,00 m <sup>2</sup> )			1983						
Erweiterung Haus I durch Bürotrakt (BGF 9.087,00 m <sup>2</sup> )			1996						
Aufstockung Haus II (BGF 10.191,00 m <sup>2</sup> )			2001						
Multifunktionsraum Erdgeschoss u Gründung; Haus II EG Durchbruch Treppenhauswände (Fluchtweg)			2007						
Verbindungsbau Haus II / Haus III Geschossdecken und Gründung			2007						
Haus III 3. Obergeschoss Aufstockung (BGF 10.657,00 m <sup>2</sup> )			2008						
<b>4. Beschreibung von Nutzungsänderungen</b>									
Da die Datendarstellung nur bis 2007 geht, ist nur die BGF bis 2007									
wichtig für die Berechnung									
<b>5. Kennzahlen</b>									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Schülerzahl		1598	1775	1797	1858	1913	1856	2024	1928
Wärmekeennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>		107,0	101,5	98,1	89,8	73,3	62,9	57,5	56,4
Stromkeennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>			13,8	14,5	15,4	16,5	16,7	17,0	17,4
Wasserkennzahl L/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>			120,4	120,7	131,4	84,2	144,2	167,3	158,1
Energieträger		Kohle	Kohle	Kohle	Kohle	Kohle	Kohle	Kohle	Kohle
Wärmeerzeuger		FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS
PE Wärmebereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*		130,7	124,0	119,9	109,8	89,6	76,9	70,2	69,0
PE Strombereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*			41,5	43,5	46,2	49,4	50,0	50,9	52,1
Primärenergieeinsatz gesamt in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*			165,5	163,4	156,0	139,0	126,9	121,2	121,1
<b>6. Diagramm</b>									
<p> <span style="color: black;">—</span> PE gesamt(kWh/(m<sup>2</sup>·a))*  <span style="color: red;">—</span> PE Wärme kWh/(m<sup>2</sup>·a)*  <span style="color: blue;">—</span> PE Strom kWh/(m<sup>2</sup>·a)*         </p>									
*PE nach EnEV/DIN V 18599 Teil 1, nicht erneuerbarer Anteil									

Abbildung 2-15: Gebäudesteckbrief der Wirtschaftsschulen Steinfurt (Stand: Nov. 08)

### 2.2.2 Beschreibung des bestehenden Gebäudes der Technischen Schulen

Das Gebäude der Technischen Schulen Steinfurt steht an der Liederkerker Straße am Orts-  
eingang von Burgsteinfurt in unmittelbarer Nachbarschaft zum Kreishaus. Es besteht aus  
einem Schulgebäude und einer freistehenden 3-fach Sporthalle. Die Schule wurde 1972 er-  
baut und 1973 fertiggestellt bzw. in Benutzung genommen. Die Schule wird von ca. 1.900  
Schülern besucht. Die Nutzfläche der Schule beträgt 8.013 m<sup>2</sup>, die der Sporthalle 2.723 m<sup>2</sup>.  
Abbildung 2-16 zeigt die Technischen Schulen des Kreises Steinfurt.

Der Baukörper des Schulgebäudes hat zwei Vollgeschosse mit zusätzlichen kleineren Tech-  
nikgeschossen.

Schulgebäude und Sporthalle wurden in Stahlbetonskelett-Bauweise errichtet. Die Brüs-  
tungselemente der Fassade bestehen aus Betonfertigteilen mit geringer Wärmedämmung.  
Während die Stützen und Querriegel ungedämmt sind.

Beide Gebäudeteile sind mit einem Flachdach ausgestattet. Das Schulgebäude hat eine 6 cm  
starke Wärmedämmung. Während die Sporthalle mit einer 5 cm starken Wärmedämmung  
ausgestattet ist.



Abbildung 2-16: Technische Schulen des Kreises Steinfurt; Baujahr 1972

Abbildung 2-17 und Abbildung 2-18 zeigen Thermografieaufnahmen der Schule aus dem Jahr  
2006.

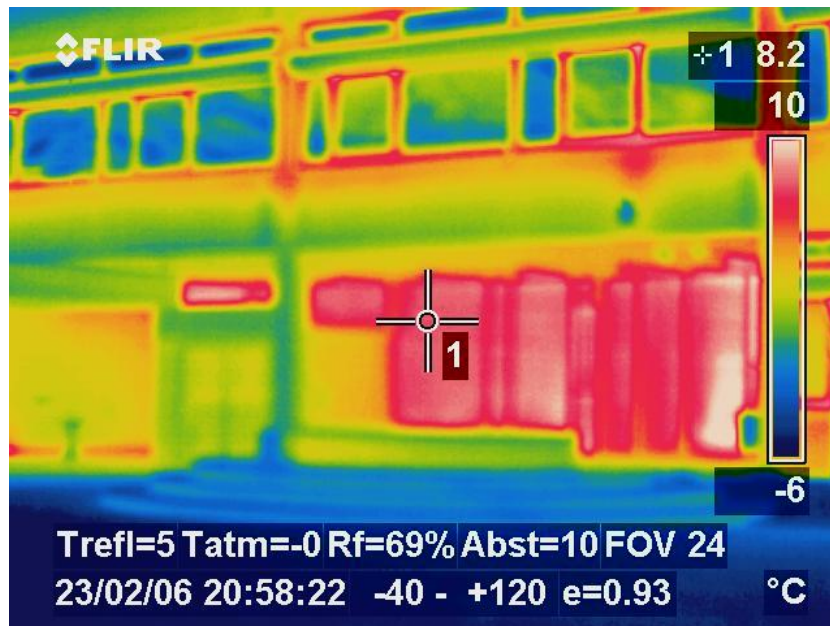


Abbildung 2-17: Technische Schulen Steinfurt – Thermografie der Ansicht des Haupteingangsbereich mit Einscheibenverglasung. Es zeigt sich die bauphysikalische Mängelsituation im Bereich der ungedämmten Fensterprofile und der fehlenden Dämmungen im Bereich der Stützen und Balken.

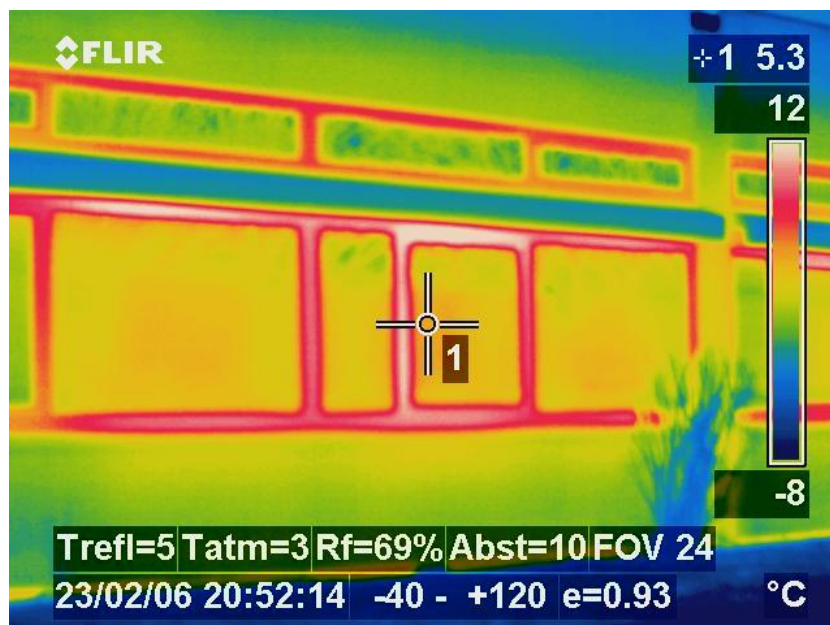


Abbildung 2-18: Technische Schulen Steinfurt – Thermografie Ansicht Nordfassade zeigt bereits isolierverglaste Fensterscheiben. Die Fensterprofile und besonders die Betonbalken sind hingegen ohne jegliche Dämmung.

### **2.2.2.1 Beschreibung des baulichen Zustandes**

#### **Flachdach**

Die Technischen Schulen besitzen ein Flachdach mit folgendem Dachaufbau, 8 cm Beton, 6 cm Kunstharzschaumisolierung und 5 cm Glasvliesbahnen. Um die innenliegenden Flure zu belichten, sind in das Flachdach 164 doppelschalige Lichtkuppeln installiert worden, die gleichzeitig als Rauch- und Wärmeabzug (RWA) dienen. Im Jahr 1992 wurden umfangreiche Sanierungen an der Hälfte der Lichtkuppeln und der Dachhaut des Schulgebäudes durchgeführt. Die Wärmedämmung wurde dabei nicht erhöht. Der U-Wert der Lichtkuppeln beträgt sowohl für die ersten als auch für die nachgerüsteten doppelschaligen Lichtkuppeln nach Herstellerangaben  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Die Flachdächer des Schulgebäudes und der Sporthalle erfordern einen erheblichen Reparaturaufwand. Im Rahmen der Gebäudeunterhaltung werden die sich häufenden Schäden beseitigt. Allein schon die 164 Lichtkuppeln der Schule und die weiteren 24 Lichtkuppeln der Sporthalle verursachen verstärkt Reparaturkosten.

Die vorhandene Wärmedämmung auf den Flachdächern ist nach heutigen Anforderungen völlig unzureichend.

#### **Fassade**

Alle Stützen und Querriegel der Fassade bestehen aus massiven Betonteilen und ragen ungedämmt in das Innere des Gebäudes. Lediglich auf die Innenseite der Brüstungselemente wurde eine 3,5 cm starke Wärmedämmung aufgebracht.

Stützen und Fensterriegel wurden ohne jegliche Wärmedämmung gebaut, wodurch die Kälte in den kühleren Jahreszeiten direkt ins Gebäude geleitet wird. Nur durch ständiges Lüften lassen sich Tauwasserschäden vermeiden.

#### **Fenster**

Die bestehende Aluminium-Fensterkonstruktion ist seit Errichtung des Gebäudes bis auf kleinere Teilbereiche unverändert geblieben.

Die Fenster des Schulgebäudes sind von 1972 und bestehen aus Aluminiumprofilen ohne thermische Trennung. Alle Fensterprofile sind ungedämmt. Die Verglasung besteht aus einfachem Isolierglas bis hin zur Einscheibenverglasung. Isolierverglasung wurde im Rahmen der Gebäudeunterhaltung 1994 bereits an ca. 70 Fensterelementen eingebaut. Der weitaus größere Teil des gesamten Schulgebäudes ist aber noch mit einer Einscheibenverglasung versehen.

In den hohen Fensterbereichen des Obergeschosses wurden in den Glasöffnungen ungedämmte Dreh-Kipp-Einfachfenster integriert. Der Wärmeschutz blieb in der damaligen Bauphase unberücksichtigt.

Undichter Randverbund der Scheiben ist ursächlich für das Beschlagen (Erblinden) der Verglasungen im Scheibenzwischenraum. Deshalb wurden in den vergangenen Jahren immer wieder defekte Scheiben ausgetauscht.



### **Fenstertyp 1:** Klassenfenster

Diese isolierverglasten Fenster mit den ungedämmten Fensterprofilen sind auch nach fast 40 Jahren noch funktionstüchtig und zeigen keine schwerwiegenden technischen Mängel. Die bauphysikalischen Berechnungen ergeben jedoch, dass die Fenster in Verbindung mit dem ungedämmten Stahlbeton-Baukörper zu hohen Wärmeverlusten führen.

Reparaturen an den Dreh-Kippbeschlägen der Fenster und Auswechseln der Isolierverglasungen werden aber in den nächsten Jahren steigende Kosten verursachen, so dass hier ein Austausch der Fenster durch zeitgemäße wärmegeämmte Konstruktionen mit entsprechender Isolierverglasung nicht zu umgehen ist.

Um den hohen Energietransport der Fassaden zu verringern, ist die Aufbringung eines Wärmedämmverbundsystems auf die ungedämmte Betonkonstruktion dringend erforderlich.

### **Fenstertyp 2:** Eingangsbereiche, geschosshoch mit Einfachverglasung

Vor den Fenstern befinden sich Heizkörper für die Eingangshalle. Die abgegebene Wärme fließt in hohem Maße durch die ungedämmten Scheiben ins Freie ab.

### **Fenstertyp 3:** Werkstattbereich, geschosshoch mit Einfachverglasung

Fenstertyp 2 und Fenstertyp 3 können gleichwertig betrachtet werden. Durch regelmäßige Reparaturarbeiten konnten diese Anlagen noch in einem gebrauchsfähigen Zustand gehalten werden. Sowohl an den Eingangsanlagen als auch im Bereich der Werkhallen sind vor allen Dingen bei den beweglichen Öffnungsflügeln starke Abnutzungserscheinungen festzustellen. Über diese großflächigen, geschosshohen, einfach verglasten Elemente entstehen große Wärmeverluste. Ein Austausch dieser Elemente durch zeitgemäße wärmegeämmte Konstruktionen mit entsprechender Isolierverglasung ist hier in den nächsten Jahren unbedingt zu empfehlen.

### **Fenstertyp 4:** Oberlichter mit Einfachverglasung

In dem nachfolgenden Gebäudesteckbrief (Abbildung 2-19) sind die wichtigsten Daten der Technischen Schulen Steinfurt und Angaben zum Verbrauch zusammengefasst. Der dargestellte Stand bezieht sich auf November 2008.

Gebäudesteckbriefe aller erfassten Schulen befinden sich im Anhang A 2.

## Übersicht der Technische Schulen Steinfurt

Stand: Nov. 08

### 1. Gebäudekennung

Bezeichnung:	Technische Schulen Steinfurt
Baujahr:	1972
Gebäudeteil:	Hauptgebäude
Anschrift:	Liederkerkerstraße 85 48565 Steinfurt



### 2. Eigentümer/Flächen

Eigentümer:	Kreis Steinfurt	
Änderung der BGF im Jahr:		
	<b>vorher</b>	<b>aktuell</b>
Bruttogrundfläche (BGF):	10536,0 m <sup>2</sup>	10536,0 m <sup>2</sup>
Nettogrundfläche (NGF):	9482,4 m <sup>2</sup>	9482,4 m <sup>2</sup>



### 3. Beschreibung durchgeführter Sanierungen

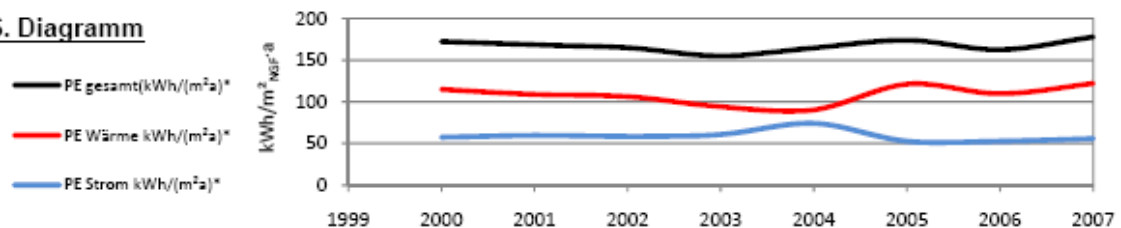
Betonsanierung	1996

### 4. Beschreibung von Nutzungsänderungen


### 5. Kennzahlen

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Schülerzahl		1746	1834	1872	1840	1859	1933	1900	1876
Wärme Kennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>		94,2	89,2	87,0	77,2	62,7	84,0	76,1	84,6
Strom Kennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>		19,1	19,9	19,5	20,3	24,7	17,5	17,6	18,6
Wasserkennzahl L/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>				228,5	200,9	96,5	93,8	81,9	74,2
Energieträger		Gas	Gas	Gas	Gas	FW	FW	FW	FW
Wärmeerzeuger		BW	BW	BW	BW	FW	FW	FW	FW
PE Wärmebereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*		115,1	109,0	106,4	94,3	90,6	121,3	109,9	122,2
PE Strombereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*		57,3	59,6	58,5	60,8	74,2	52,6	52,7	55,7
Primärenergieeinsatz gesamt in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*		172,4	168,6	164,9	155,1	164,7	173,9	162,6	177,9

### 6. Diagramm



\*PE nach EnEV/DIN V 18599 Teil 1, nicht erneuerbarer Anteil

Abbildung 2-19: Gebäudesteckbrief der Technischen Schulen Steinfurt

## 2.3 Messung der Raumluftqualität

### 2.3.1 Einleitung/Problemstellung

Die Luft in Klassenräumen kann aufgrund vielfältiger Ursachen mit luftfremden Stoffen belastet sein.

So können Emissionen aus Baustoffen und Einrichtungsgegenständen zu diesen Belastungen beitragen. Diese lassen sich aber bei einer ausreichend sensiblen Auswahl der Baustoffe und Einrichtungsgegenstände vermeiden. Gleiches gilt für die Emissionen, die aus Reinigungs- und Putzmittel austreten und zu Belästigungen oder Beschwerden führen können. Die Emissionen, die bspw. bei Versuchen im naturwissenschaftlichen Unterricht oder bei der Durchführung von Werkarbeiten freigesetzt werden können, sind meistens von kurzfristiger Dauer und die Konzentration der freigesetzten Stoffe kann durch gezieltes Lüften verringert werden.

Während die genannten Emissionsursachen innerhalb des Gebäudes gut beherrschbar bzw. vermeidbar sind, sind Emissionsquellen im Umfeld des Schulgeländes weniger oder gar nicht durch Maßnahmen zu beeinflussen. Ein zunehmendes Problem stellt hier der Feinstaub dar, der unterschiedlichsten Emissionsquellen zugeordnet werden kann. Darüber hinaus sind vielfältige Emissionsquellen im Umfeld einer Schule denkbar. Das Eindringen des Feinstaubes und anderer Emissionen kann nur durch eine Filterung bzw. Behandlung der zugeführten Außenluft vermieden werden. Die freie Zufuhr von Außenluft in die Schulräume sollte in diesen Fällen vermieden werden.

Ein in den letzten Jahren verstärkt diskutiertes Problem ist die aufgrund unzureichender Lüftung auftretende Anreicherung der Raumluft mit Stoffwechselprodukten, wobei hier insbesondere das Kohlenstoffdioxid zu nennen ist. Dieses Problem der Verschlechterung der Luftqualität tritt in allen Räumen auf, die über längere Zeit mit einer großen Anzahl von Menschen belegt sind und eine ausreichende Lüftung unterbleibt. Zu diesen Räumen zählen Gruppenräume in Kindergärten genauso wie die Klassenräume in Schulen. Darüber hinaus tritt dieses Problem zwangsläufig auch in allen Versammlungsräumen, die bis zu 200 Menschen Platz bieten und nicht unter die Versammlungsstättenverordnung fallen.

Der zeitliche Verlauf der Kohlendioxidkonzentration in Räumen hängt von

- dem Volumen des betrachteten Raumes  $V$ ,
- der im Raum emittierten Kohlendioxidmenge  $Q$  (Quellstärke),
- der Kohlendioxidkonzentration in der Außenluft  $c_{Umg}$  und
- dem Luftwechsel  $n$

ab und kann ausgehend von der Konzentration des Kohlenstoffdioxids zu Beginn der Betrachtung  $c_0$  durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$c(t) = c_0 \cdot e^{-nt} + \left( c_{Umg} + \frac{Q}{nV} \right) (1 - e^{-nt}) \quad 2-1$$

Die Quellstärke d. h., die im Raum freigesetzte Kohlendioxidmenge hängt von der Anzahl der anwesenden Personen, deren Alter und Aktivitätsgrad ab. In Tabelle 2-2 sind die spezifischen Abgaberraten pro Person angegeben.

Tabelle 2-2: CO<sub>2</sub>-Abgaberraten pro Person in Liter/Stunde<sup>3</sup>

Alter [Jahre ]	1 - 3	4 - 6	7 – 9	10 - 14	>14
Ruhe	2,3	4,8	14	20	22
Leichte Aktivität	4,8	9,7	28	38	43
Mäßige Aktivität	9,7	20	25	77	85
Intensive Aktivität	17	33	102	135	152

Durch die innere und äußere Gebäudeaerodynamik d. h., durch die windbedingte Gebäudeumströmung und den thermischen Auftrieb im Gebäude entstehen Druckdifferenzen, die zu einem Austausch von Innen- mit Außenluft führen, den sogenannten natürlichen Luftwechsel. Die Stärke des Luftwechsels hängt insbesondere von den Öffnungen in der Gebäudehülle ab. In diesem Zusammenhang sind das Alter und die Stellung der Fenster von Bedeutung, vgl. Tabelle 2-3.

Tabelle 2-3: Abhängigkeit des Luftwechsels  $n$  von Alter und Stellung von Fenstern <sup>1</sup>

Lüftungsart	Luftwechselzahl [h <sup>-1</sup> ]
Isolierfenster geschlossen	0,2 – 0,4
Einfache Fenster geschlossen	0,5 – 0,8
Oberlichter geöffnet	1,0 – 2,0
Kipplüftung	3 – 10
Fenster weit geöffnet	10 – 20

### 2.3.2 Kohlenstoffdioxid-Grenzwerte

Für den Fall, dass keine anderen Emissionsquellen wie z. B. Baustoffe oder Einrichtungen wirken, hängt die Lufthygiene in einem Raum nur von der Außenluftqualität und den Stoffwechselprodukten der Nutzer ab. Wie Pettenkofer bereits im 19. Jahrhundert feststellte, lässt sich eine Aussage über die Qualität der Raumluft anhand der Kohlendioxidkonzentration festmachen. Er sprach als erster von einem in der Raumluft einzuhaltenden Grenzwert des Kohlenstoffdioxids in Höhe von 1.000 ppm (0,1 Vol-%) (Pettenkofer-Zahl).

<sup>3</sup> Quelle: Handbuch zum QUIRL/CO<sub>2</sub>, Niedersächsisches Landesgesundheitsamt

Bei einer Kohlendioxidkonzentration von 1.000 ppm in der Raumluft setzten die ersten Reaktionen bei Probanden ein und rund 20 % der Personen empfinden die Raumluft als unbefriedigend<sup>4</sup>. Es setzen Ermüdungserscheinungen und Konzentrationsschwächen ein.

Grenzwerte für die Kohlendioxidkonzentration in der Raumluft werden in Deutschland nur bei Vorhandensein raumluftechnischer Anlagen vorgegeben. Bis 2005 war nach DIN 1946 T.2 in Räumen mit raumluftechnischen Anlagen der Grenzwert 1.500 ppm einzuhalten. Bei dieser Konzentration sind 35 % der Personen im Raum mit der Raumluftqualität unzufrieden.

In der Nachfolgenorm DIN EN 13779 (09.2007) (vgl. Tabelle 2-4) wird die Raumluft in Abhängigkeit der Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration gegenüber der Außenluft in vier InDoor-Air-Qualitätsstufen (IDA) klassifiziert, um darüber ein bedarfsgerechtes Lüftungssystem auslegen zu können.

Eine hohe Raumluftqualität ist erreicht, wenn die Kohlendioxidkonzentration maximal 400 ppm über der Umgebung liegt. Eine schlechte Raumluftqualität liegt vor, wenn die Kohlendioxidkonzentration in der Raumluft um mehr als 1.000 ppm über der Außenluft liegt. Die erforderlichen Außenluftvolumenströme, die zum Erreichen einer IDA-Klasse erforderlich ist, können anhand der Lüftungsrate ermittelt werden.

Der ASHRAE-Standard 62-2001<sup>5</sup> empfiehlt als obere Grenze für Klassenräume eine Kohlendioxidkonzentration, die 700 ppm über der Konzentration in der Außenluft liegt.

*Tabelle 2-4: Klassifizierung der Raumluftqualität nach DIN EN 13779*

Klasse	Raumluftqualität	Erhöhung der CO <sub>2</sub> -Konzentration gegenüber der Außenluft [ppm]	Resultierende CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Raumluft bei 400 ppm CO <sub>2</sub> in der Außenluft [ppm]	Lüftungsrate [l/s/Pers.]
IDA 1	hoch	≤ 400	≤ 800	> 15
IDA 2	mittel	> 400 - 600	> 800 – 1.000	> 10 - 15
IDA 3	mäßig	> 600 – 1.000	> 1000 – 1.400	> 6 - 10
IDA 4	schlecht	> 1.000	> 1.400	< 6

Der im August 2008 vom Umweltbundesamt (im folgenden UBA) veröffentlichte Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden<sup>6</sup> schildert die von einer Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygienekommission und der obersten Landesgesundheitsbehörden vorgelegten Bewertung für Kohlenstoffdioxid in der Innenraumluft. Danach werden Leitwerte für die Kohlendioxidkonzentrationen in der Innenraumluft festgelegt, die bezogen auf die aktuelle

<sup>4</sup> Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Luftqualität in Innenräumen, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287, 1997, Wien

<sup>5</sup> ANSI/ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for acceptable indoor air quality, 12, 2001

<sup>6</sup> Umweltbundesamt – Innenraumluftthygiene – Kommission des Umweltbundesamtes: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, 2008, Dessau-Roßlau

vorliegende Konzentration als Momentwerte zu sehen sind. Es werden drei Stufen unterschieden:

- $\text{CO}_2 < 1.000 \text{ ppm}$ : hygienisch unbedenklich
- $\text{CO}_2 1.000 - 2.000 \text{ ppm}$ : hygienisch auffällig
- $\text{CO}_2 > 2.000 \text{ ppm}$ : hygienisch inakzeptabel

Es werden folgende Handlungsempfehlungen gegeben:

- Bei Überschreitung von 2000 ppm muss gelüftet werden.
- Bei Überschreitung von 1000 ppm soll gelüftet werden.

In beiden Fällen ist eine Unterschreitung von 1.000 ppm anzustreben. Sollte die Situation auf Dauer durch Lüften nicht verbessert werden, so fordert der Leitfaden Lüftungstechnische Maßnahmen oder eine Verringerung der Zahl der Schülerinnen und Schüler im Klassenraum.

Die in der Schule von den Schülern erbrachte Leistung wird von der Raumluftqualität maßgebend beeinflusst. In zahlreichen Untersuchungen wurde dies experimentell bestätigt<sup>7</sup>. Eine Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration von 500 bis 1.000 ppm über der Konzentration in der Außenluft hat beispielsweise eine Verschlechterung der schulischen Leistung von 20 Prozent zur Folge.

### 2.3.3 Durchführung der Messungen

Die Messungen der Raumluftqualität in den Wirtschaftsschulen und Technischen Schulen starteten im Herbst 2007 und wurden während der anschließenden Wintermonate weitergeführt. Als Grundlage für die Messung lag die VDI-Richtlinie 4300 Blatt 9<sup>8</sup> zugrunde. Danach soll sich die Probenahmestelle etwa 1,5 m über dem Fußboden und im Abstand von mindestens 1 bis 2 Meter von der Wand befinden. Die Richtlinie empfiehlt die Verwendung von mehreren Probenahmestellen für Räume mit einer Grundfläche größer als 50 m<sup>2</sup>, um eventuell auftretende Konzentrationsgradienten zu erfassen.

Da die Grundflächen der untersuchten Räume größer als 50 m<sup>2</sup> waren, wurden zu Beginn der Messkampagne zwei Probenahmestellen in den Räumen eingerichtet. Die Messwerte der beiden Probenahmestellen wichen um wenige ppm voneinander ab. Da die  $\text{CO}_2$ -Werte lediglich als Indikator für die Frischluftzufuhr dienten und somit der zeitliche Verlauf der Konzentration von größerer Bedeutung für die anschließenden Betrachtungen war als die auf wenige ppm exakte Höhe der Konzentration wurden die Messungen zum größten Teil mit einem Messgerät pro Klassenraum durchgeführt.

Für einen Raum betrug die Messdauer ein bis zwei Wochen bzw. fünf bis zehn Unterrichtstage. Für die Messung stand das Multifunktionsmessgerät Testo 435-2 mit einer IAQ-Sonde zur Verfügung. Dies ermöglicht Messung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts, der Raumtemperatur, der relativen

---

<sup>7</sup> Olesen, B. W.: Steigerung der Leistungsfähigkeit bei einem optimalen Raumklima in Schulen. Technische Universität Dänemark, CCI Fachveranstaltung 2009 Stuttgart

<sup>8</sup> Kommission Reinhaltung von Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL: VDI Richtlinie VDI 4300 Blatt 9; Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), 2005 -08

Luftfeuchtigkeit und des Luftdrucks. Durch die elektronische Messwertaufzeichnung wurden pro Stunde 24 Datenpunkte erfasst und anschließend aufbereitet.

In Zusammenarbeit mit den Schulvertretern wurden an den Technischen Schulen und den Wirtschaftsschulen die Räume für die Messungen ausgewählt. An beiden Schulen wurden insgesamt 10 Räume messtechnisch untersucht. Dabei handelt es sich um acht Klassenräume und zwei EDV-Klassenräume. Bei einem der Klassenräume und einem der EDV-Klassenräume handelt es sich um innen liegende Räume, welche über Dachluken bzw. gar kein Fenster verfügen. Diesen Räumen steht eine Lüftungsanlage bzw. Abluftanlage zur Verfügung, die bei Bedarf für eine festgelegte Zeitdauer eingeschaltet werden können.

Das durchgeführte Messprogramm ist in Tabelle 2-5 zusammengefasst.

*Tabelle 2-5: Messprogramm CO<sub>2</sub>-Messungen*

Raumnummer	Raumfunktion	Messzeitraum
WS111	Klassenraum	15.10. – 23.10.07
WS118	Klassenraum	29.10. – 11.11.07
WS231	Klassenraum	13.11. – 18.11.07
WS326	EDV-Raum	19.11. – 29.11.07
TS17	Klassenraum (innen liegend)	18.01. – 06.02.08
TS29	Klassenraum	07.01. – 18.01.08
TS38	Klassenraum	21.01. – 31.01.08
TS104	Klassenraum	10.12. – 18.12.07
TS126	EDV-Raum (innen liegend)	07.01. – 18.01.08
TS136	Klassenraum	10.12. – 18.12.07

Zusätzlich zu der messtechnischen Erfassung in einem Raum interessierte auch das Empfinden der Nutzer zur selben Zeit. Dazu wurde ein Fragebogen entwickelt, der nach Absprache mit den Schulvertretern und Lehrern nach jeder Doppelstunde von den Schülern und Lehrern auszufüllen war.

Unter anderem enthielt der Fragebogen der Lehrkräfte Angaben über die Anzahl der Schüler, die sich während des Unterrichts im untersuchten Klassenraum aufhielt. Darüber hinaus sollten Angaben zum Öffnungszustand der Fenster gemacht werden.

#### **2.3.4 Messergebnisse**

In Abbildung 2-20 ist beispielhaft die in Raum WS111 gemessene CO<sub>2</sub>-Konzentration über dem gesamten Messzeitraum aufgetragen. Die Abbildung enthält darüber hinaus die anhand der Fragebogen ermittelten Angaben zur Anzahl der anwesenden Personen im Unterrichtsraum. Über die Stellung der Fenster wurden in den Fragebogen nur unzureichende Angaben gemacht, sodass auf die Darstellung dieses Parameters in der Abbildung verzichtet wird.

Unabhängig von der Fensterstellung zeigt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Anwesenheit der Personen im Unterrichtsraum und dem Anstieg der Kohlendioxidkonzent-

ration. Im Diagramm sind vier Unterrichtstage erkennbar. Ein im Messzeitraum liegender Wochentag war unterrichtsfrei.

Die Spitzenwerte der Kohlendioxidkonzentration liegen gemessen an den Festlegungen des UBA weit im hygienisch auffälligen Bereich und erreichen am Ende der Messperiode auch Werte deutlich oberhalb der 2.000 ppm, was nach den Festlegungen des UBA inakzeptabel ist.

In den Nachtstunden reduzieren sich die Konzentrationen auf ca. 400 ppm. Dieser Wert liegt im Bereich der Umgebungskonzentration. Die Raumluftqualität während der Unterrichtszeiten ist somit in Anlehnung an die DIN EN 13779 überwiegend als mäßig bis schlecht zu bezeichnen.

In Anlehnung an immissionsschutzrechtliche Betrachtungen wurde aus den Einzelmessungen des Raumes WS111 gleitende Halbstundenmittelwert der Kohlenstoffdioxidkonzentration berechnet. Dieser ist in Abbildung 2-21 den Einzelwerten gegenübergestellt. Wie zu erwarten war, dämpft der Halbstundenmittelwert den zeitlichen Verlauf der Einzelmessungen. Maximalwerte werden dadurch verringert. Ebenso werden die relativen Minima unterdrückt. Insgesamt stimmt das erreichte Niveau der Kohlendioxidkonzentrationen bei der Betrachtung der Halbstundenmittelwerte mit dem der Einzelwerte überein, sodass auf eine weitere Darstellung von gleitenden Halbstundenmittelwerten verzichtet wird.

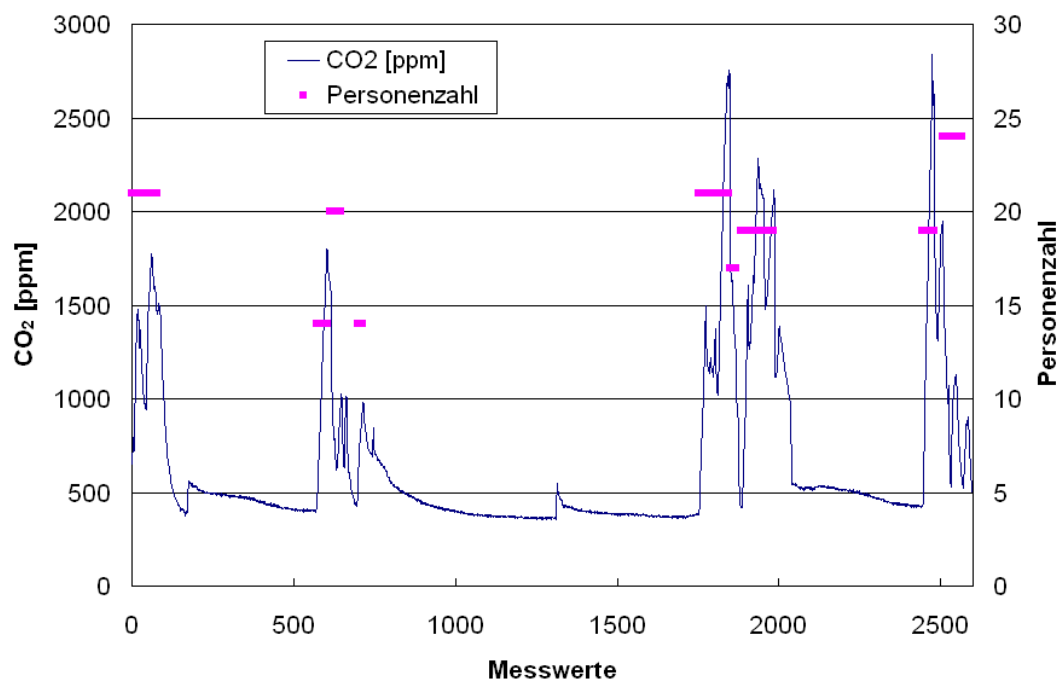


Abbildung 2-20: Im Messzeitraum gemessene CO<sub>2</sub>-Konzentration in Raum WS111



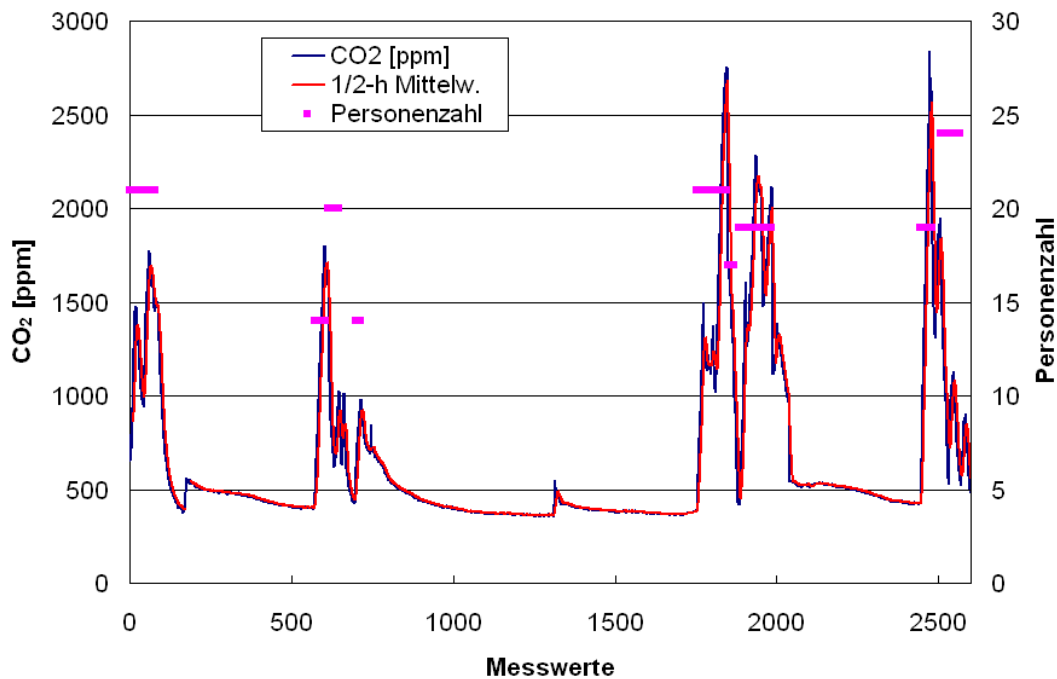


Abbildung 2-21: Vergleich von Einzelmessungen und gleitenden Halbstundenmittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration in Raum WS111

In Abbildung 2-22 sind die Messwerte aufgetragen, die in Raum TS17 während der Messkampagne in der Zeit zwischen 8 bis 14 Uhr aufgenommen wurden. Die Messwerte sind nach Größe sortiert. Der Raum TS17 ist ein innenliegender Fachraum der Technischen Schulen mit einer Grundfläche von 84,1 m<sup>2</sup> und wird für den Unterricht im Fach Automatisierungstechnik genutzt. Der Raum besitzt eine manuell zuschaltbare Lüftungsanlage. Die Schülerzahl lag während des gesamten Messzeitraums im Durchschnitt bei etwa 9 Schülern. Pro Person stehen hiermit somit rund 8,4 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Bei einer Raumhöhe von 3,22 m beträgt das Raumvolumen pro Person rund 27,1 m<sup>3</sup>.

Der gemessene Maximalwert der Kohlendioxidkonzentration lag bei 3.125 ppm. Etwa 10 Prozent der dargestellten Messwerte liegen oberhalb von 2.000 ppm und sind damit nach Festlegung des UBA nicht akzeptabel. Da der dem Diagramm zugrundeliegende Betrachtungszeitraum auch Pausenzeiten einschließt, in sich denen die Kohlendioxidkonzentration abbaut, kann gefolgert werden, dass mehr als 10 Prozent des Unterrichts bei nicht akzeptablen Raumluftverhältnissen durchgeführt werden. Rund 30 Prozent der Messwerte liegen oberhalb von 1.000 ppm und damit nach UBA im hygienisch auffälligen Bereich. Somit findet selbst bei einem von wenigen Personen frequentierten Raum etwa ein Drittel des Unterrichts unter hygienisch auffälligen Raumluftbedingungen statt.

Das Ergebnis zeigt, dass eine manuell zuzuschaltende Lüftungsanlage hohe Kohlendioxidkonzentrationen nicht verhindern kann, da die Personen, die sich im Raum befinden, den Konzentrationsanstieg nicht registrieren und somit nicht reagieren. „Verbrauchte“ Luft wird meistens nur von Personen wahrgenommen, die nach einiger Unterrichtszeit den Raum betreten.

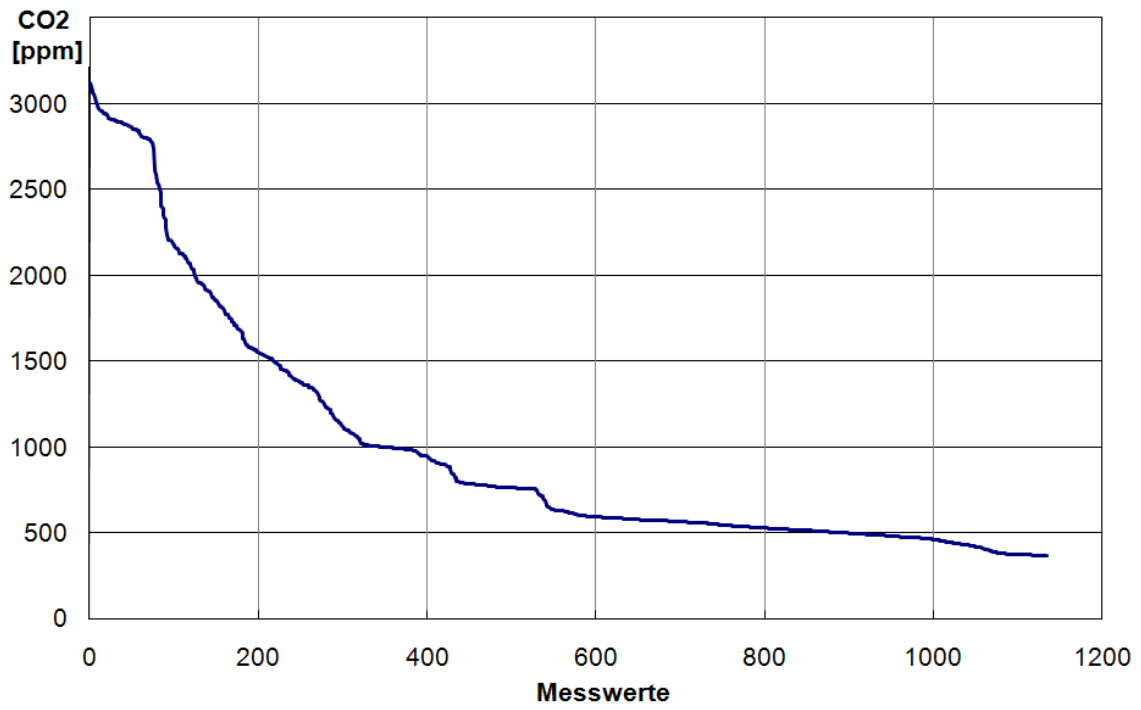


Abbildung 2-22: Nach Größe geordnete Konzentrationsmesswerte Raum TS17

In Abbildung 2-23 sind die sind die Messwerte aufgetragen, die in Raum TS136 während der Messkampagne in der Zeit zwischen 8 bis 14 Uhr aufgenommen wurden. Die Messwerte sind ebenfalls nach Größe sortiert. Der Raum TS136 ist ein Klassenraum der Technischen Schulen mit einer Grundfläche von 65,2 m<sup>2</sup> und wird für den allgemeinen Unterricht genutzt. Die Schüleranzahl lag während des gesamten Messzeitraums im Durchschnitt bei etwa 20 Schülern. Pro Person stehen hiermit somit rund 3,1 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Bei einer Raumhöhe von 3,21 m beträgt das Raumvolumen pro Person rund 10 m<sup>3</sup>.

Der gemessene Maximalwert der Kohlendioxidkonzentration lag bei 4.100 ppm. Etwa 42 Prozent der dargestellten Messwerte liegen im nicht zu akzeptierenden Bereich oberhalb von 2.000 ppm. Drei Viertel der Messwerte liegen oberhalb von 1.000 ppm und damit nach UBA im hygienisch auffälligen Bereich. Die Werte unterhalb von 1.000 ppm sind den Pausenzeiten zuzurechnen. In durchschnittlich frequentierten Klassenräumen finden 75 % des Unterrichts unter hygienisch auffälligen bzw. inakzeptablen Raumluftbedingungen statt.

Das Diagramm in Abbildung 2-23 enthält alle Messwerte unabhängig vom Öffnungszustand der Fenster in Raum TS136. Die Auswirkungen der Fensterstellung auf den Konzentrationsverlauf werden anhand der beiden folgenden Abbildungen diskutiert.

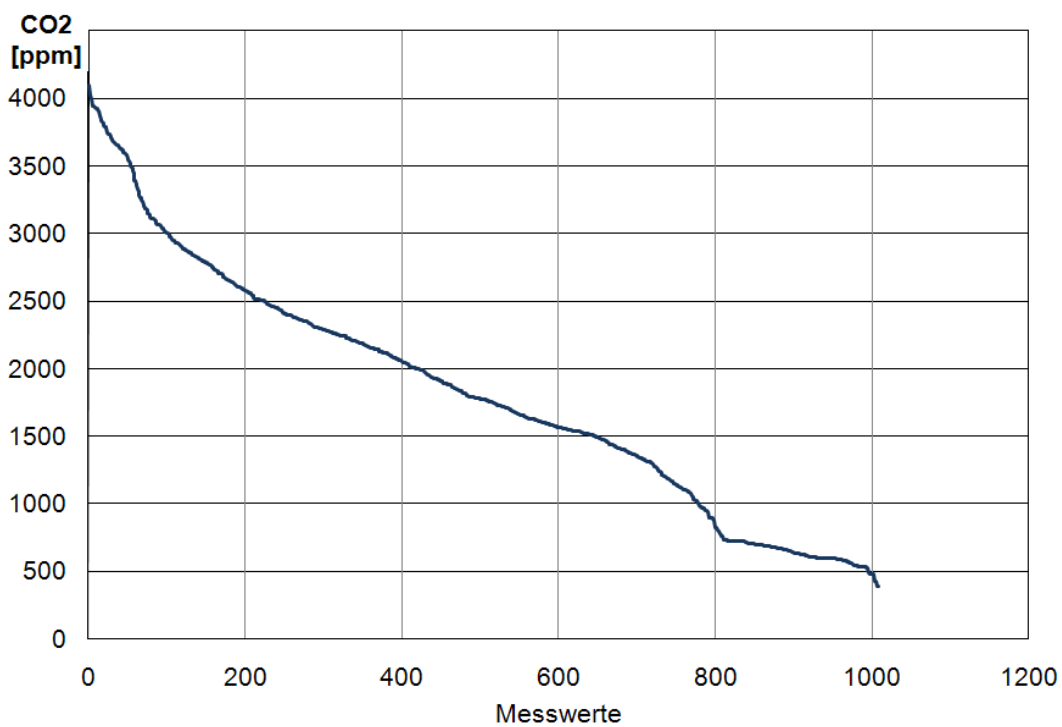


Abbildung 2-23: Nach Größe geordnete Konzentrationsmesswerte Raum TS136

Abbildung 2-24 zeigt den Konzentrationsverlauf an einem Schultag im Raum TS38. Während der gesamten Dauer des Schultages waren die *Oberlichter geöffnet*. Die Anzahl der Personen betrug 22 bis 26. Der Klassenraum hat eine Grundfläche von 87,9 m<sup>2</sup> und ein Raumvolumen von 280,5 m<sup>3</sup>. Pro Person stehen somit zwischen 10,8 und 12,8 m<sup>3</sup> Raumvolumen zur Verfügung. Die Kohlendioxidkonzentration liegt – abgesehen von der ersten halben Stunde - während des gesamten Betrachtungszeitraums im hygienisch auffälligen Bereich. Der Luftwechsel über die Oberlichter reicht während der Unterrichtszeit nicht aus, den Anstieg der Kohlendioxidkonzentration zu vermeiden. Während der Pausenzeiten baut sich die Kohlendioxidkonzentration nicht in ausreichendem Umfang ab, um zu Beginn der nächsten Unterrichtsstunde eine akzeptable Konzentration sicherzustellen.

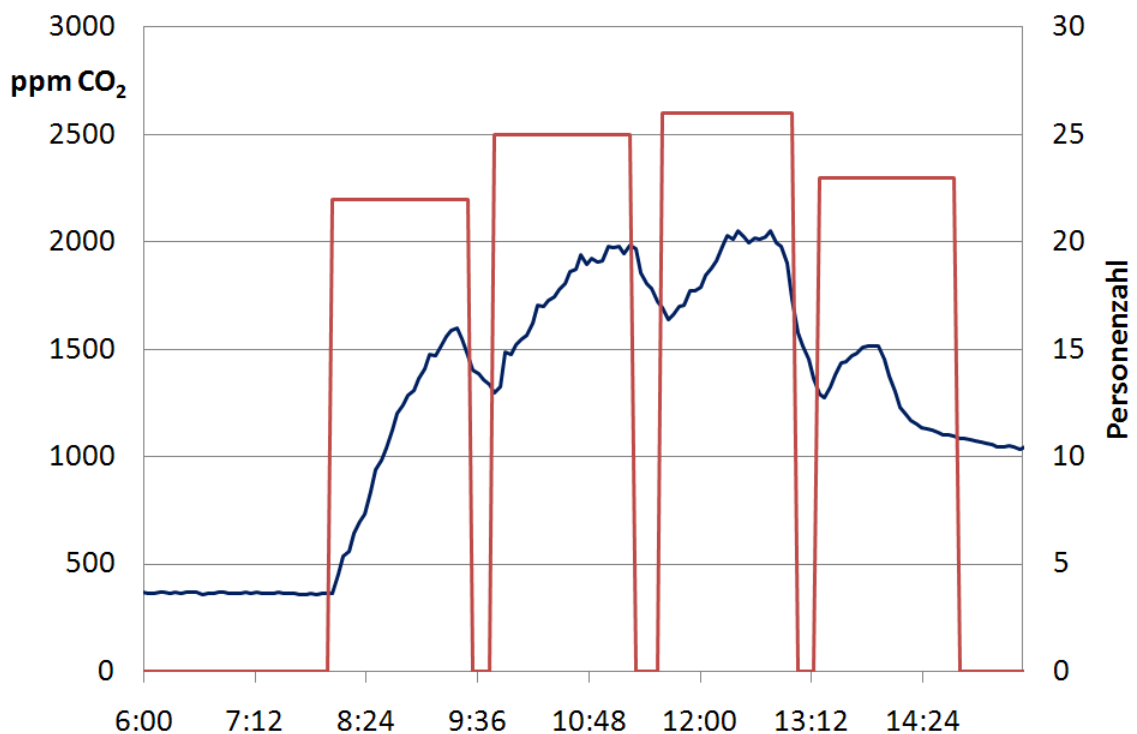


Abbildung 2-24: Konzentrationsverlauf TS38 bei geöffneten Oberlichtern

Der zeitliche Verlauf der Kohlendioxidkonzentration bei *geschlossenen Fenstern* ist in Abbildung 2-25 am Beispiel eines Unterrichtstages in Raum TS136 dargestellt. Der Klassenraum hat ein Raumvolumen von 209 m<sup>3</sup> und ist mit 19 bis 25 Personen belegt. Pro Person stehen somit zwischen 8,4 und 11 m<sup>3</sup> Raumvolumen zur Verfügung. Die Kohlendioxidkonzentration erreicht nach einer knappen Stunde inakzeptabel hohe Werte und sinkt während der gesamten nachfolgenden Zeit nicht mehr unter 2.000 ppm. Ein Abbau der Konzentration während der Pausen ist kaum wahrzunehmen. Die maximale Konzentration liegt knapp über 4.000 ppm.

Vor dem Hintergrund, dass im Schulbau einem Schüler eine Fläche von 2 m<sup>2</sup> und damit etwa ein Raumvolumen von 6 m<sup>3</sup> zugerechnet wird, kann anhand der zuletzt diskutierten Diagramme, denen jeweils höhere Flächen- bzw. Volumenanteile pro Person zugrunde liegen, erahnt werden, wie schlecht es um die Raumluftqualität in den bestehenden Unterrichtsräumen bestellt ist.

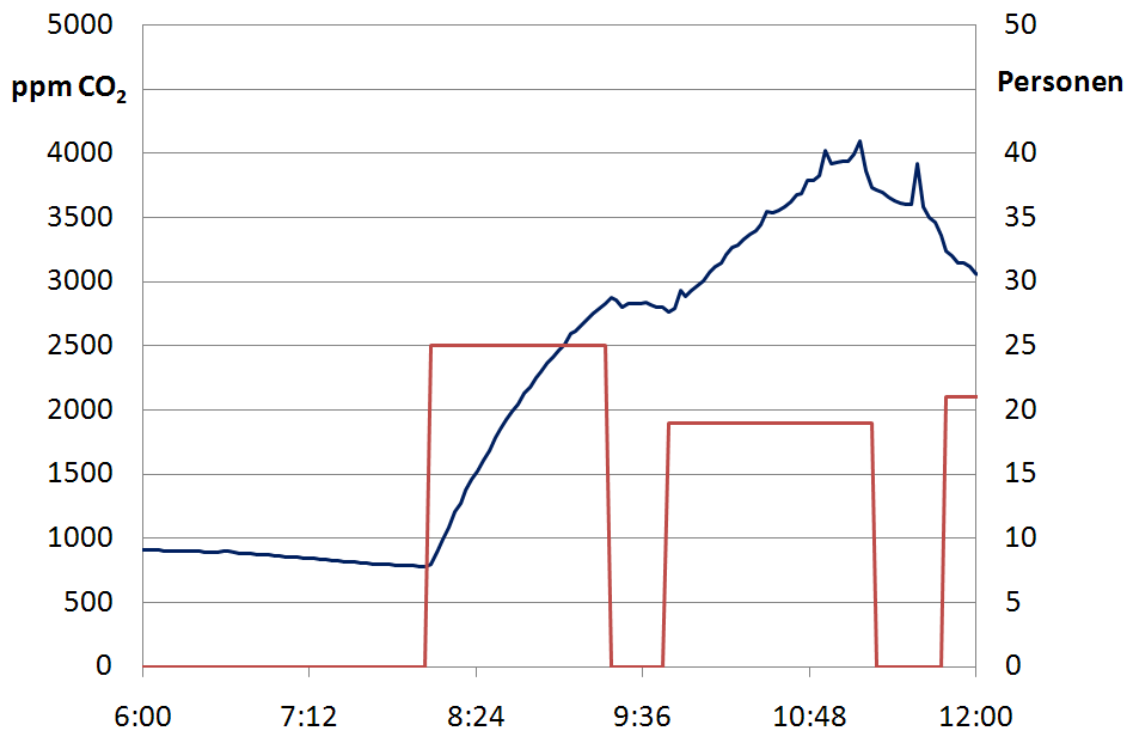


Abbildung 2-25: Konzentrationsverlauf TS136 bei geschlossenen Fenstern

### 2.3.5 Automatische Fensterlüftung

Im Rahmen des Projektes wurde die Wirksamkeit einer automatischen Fensterlüftung erprobt. In Abhängigkeit von der Kohlendioxidkonzentration in dem entsprechend ausgerüsteten Klassenraum TS27 wurden Oberlichter von einer Steuerung geöffnet bzw. geschlossen. Bei Erreichen einer Konzentration von 1.000 ppm wurde geöffnet. Bei Unterschreitung der Konzentration von 800 ppm wurde geschlossen. Während der Pausen öffnete die Steuerung grundsätzlich die Oberlichter.

Insgesamt erwies sich die Belüftung über Oberlichter auch hier als unzureichend. In Abbildung 2-26 sind die Auswirkungen der automatischen Belüftung auf die Kohlendioxidkonzentration in der Raumluft dargestellt. Die Zahl der Schüler betrug in allen Unterrichtsstunden 21. Die Steuerung erfüllte ihre Aufgabe und öffnete und schloss das Fenster exakt bei den vorgegebenen Konzentrationen. Insgesamt konnte die Kohlendioxidkonzentration aber nicht unterhalb von 1.000 ppm gehalten werden. Der größte Teil des Unterrichts fand unter hygienisch auffälligen Bedingungen statt.

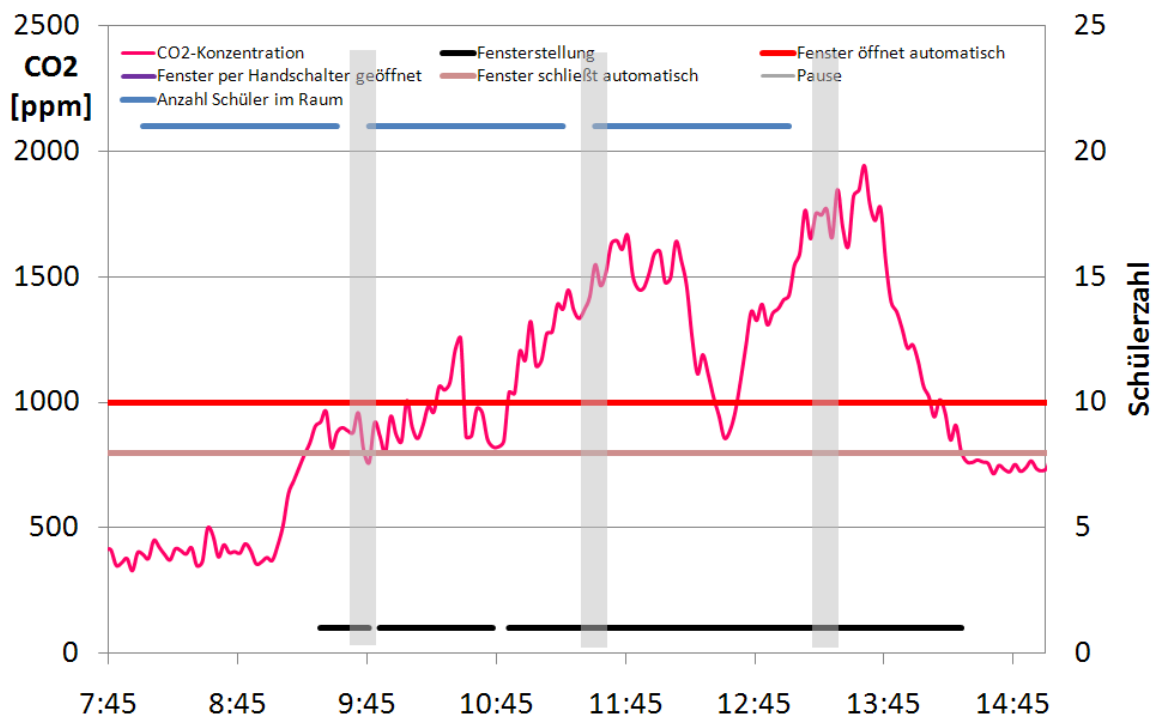


Abbildung 2-26: Auswirkungen eines automatischen Lüftungssystems

### 2.3.6 Parameterstudie

Um die Situation unabhängig von Messergebnissen zu verdeutlichen, soll eine Parameterstudie mittels der Gleichung 2-1 zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration durchgeführt werden.

In Abbildung 2-27 ist der Einfluss des pro Person zur Verfügung stehenden Raumvolumens auf den Anstieg der Kohlendioxidkonzentration dargestellt. Das personenspezifische Volumen wurde zwischen 6 und 25 m<sup>3</sup> variiert. Der untere Wert entspricht etwa dem Volumen, das sich aufgrund heutiger Festlegungen in Schulbauvorgaben pro Person ergibt. Bei den Berechnungen zu Abbildung 2-27 wurde von einer Kohlendioxidkonzentration in der Außenluft von 380 ppm ausgegangen. Dieser Wert entspricht der Startkonzentration in der Raumluft. Die Quellstärke pro Schüler wurde mit 20 Liter Kohlenstoffdioxid pro Stunde angenommen. Dieser Wert ergibt sich bei Kindern im Alter zwischen 10 und 14 Jahren, die sich in Ruhe befinden. Der angenommene Luftwechsel entspricht mit  $n = 1$  einem wenig wirksamen geöffneten Oberlicht.

Bei einer typischen Raumgröße von 6 m<sup>3</sup> pro Person erreicht die Kohlendioxidkonzentration bereits innerhalb der ersten Unterrichtsviertelstunde den Wert von 1.000 ppm. Nach 40 Minuten ist der Wert von 2.000 ppm erreicht. Mehr als zwei Drittel der ersten Unterrichtsstunde werden somit unter hygienisch auffälligen Bedingungen absolviert. Bereits vor Beendigung der ersten Schulstunde hat die Raumluft eine nicht akzeptable Kohlendioxidkonzentration erreicht.

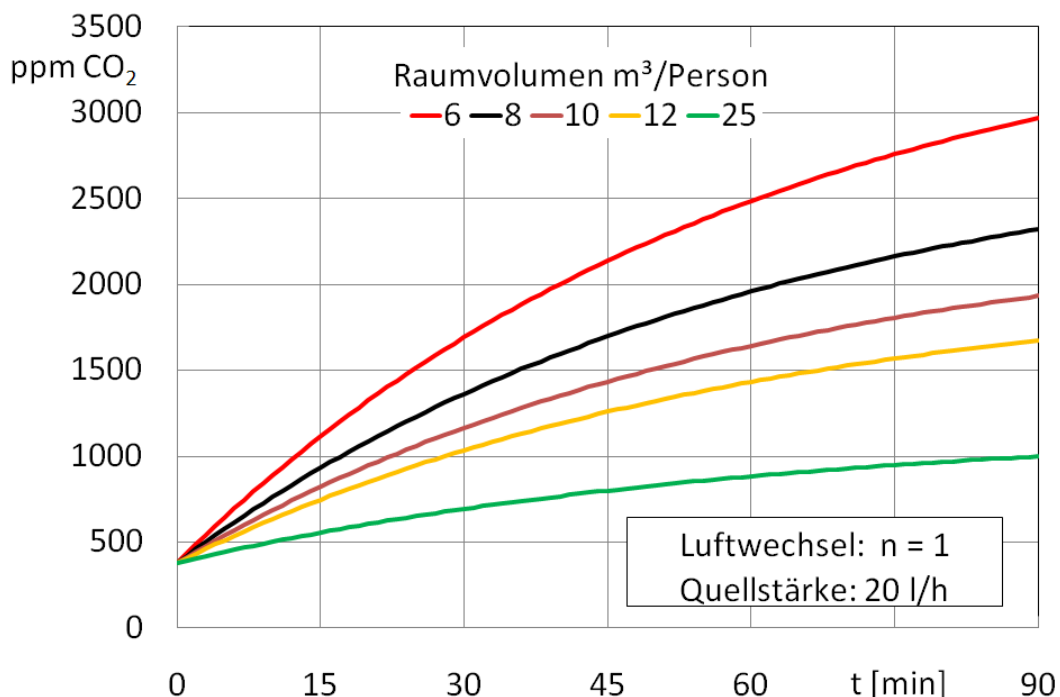


Abbildung 2-27: Einfluss des Raumvolumens auf die zeitliche Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration

Mit zunehmender Raumgröße verbessert sich die Situation. Bei einer Raumgröße von 25 m<sup>3</sup> pro Person würde der Grenzwert von 1.000 ppm nach einer Doppelstunde erreicht. Nach 45 Minuten würde dieser Grenzwert bei einer Raumgröße von 17 m<sup>3</sup> pro Person erreicht.

Unter Annahme einer Raumhöhe von 3 m wäre somit aus hygienischer Sicht eine spezifische Fläche von 8,3 m<sup>2</sup> bei Doppelstunden und 5,7 m<sup>2</sup> bei Einzelstunden pro Person erforderlich, was der drei- bis vierfachen heute üblichen Flächen entspricht.

Mit zunehmendem Alter der Schüler steigt die freigesetzte Kohlendioxidmenge an. In Abbildung 2-28 ist der Einfluss der Quellstärke auf den Anstieg der Kohlendioxidkonzentration für den Fall eines Raumvolumens von 6 m<sup>3</sup> pro Person und einen Luftwechsel von n = 1 dargestellt. Dabei wurden die Quellstärken betrachtet, die bei Grundschulern (14 l/h), Schülern der Eingangsklassen der weiterführenden Schulen (20 l/h) und Teenagern und jungen Erwachsenen (22 l/h) anzusetzen sind.

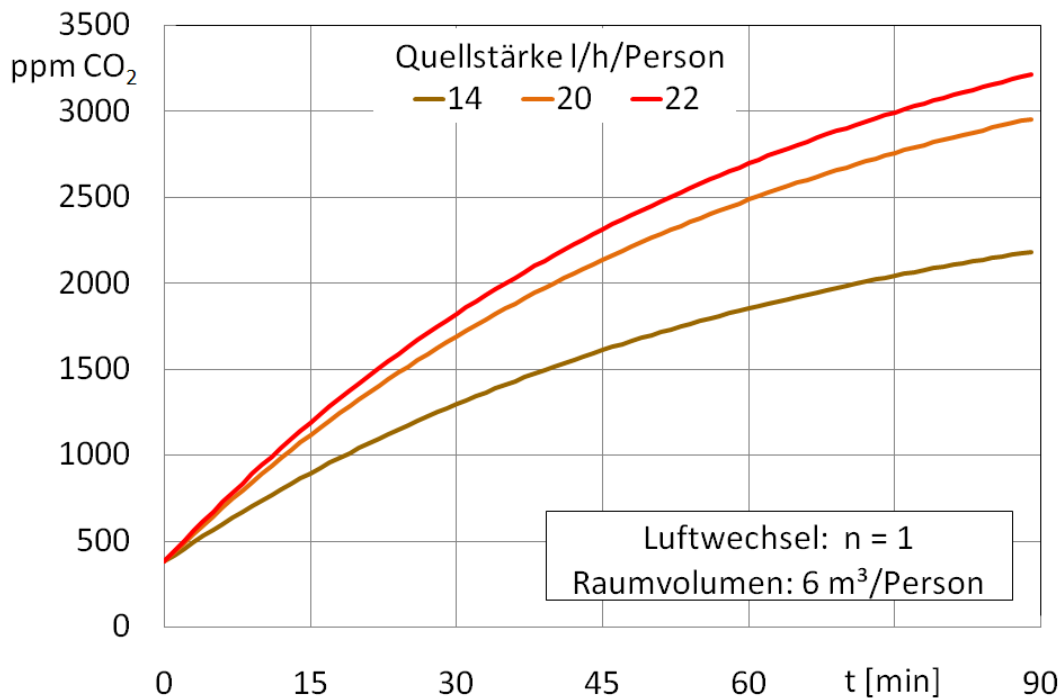


Abbildung 2-28: Einfluss der Quellstärke auf die zeitliche Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration

Grundschulen finden sich hinsichtlich der Raumluftproblematik im hygienisch auffälligen Bereich wieder, weil hier vor allem auch kürzere Unterrichtseinheiten von 45 Minuten Länge der Regel entsprechen. Weiterführende Schulen liegen entsprechend den Festlegungen des UBA im nicht akzeptablen Bereich.

Bei heute üblichen Belegungsdichten der Schulräume wäre die Einhaltung einer Konzentration von 1.000 ppm in Grenzen nur mittels permanenter Kipplüftung zu erreichen. Dieser Wert markiert den Beginn der hygienisch auffälligen Raumluftqualität nach UBA. Nach DIN EN 13779 liegt bei dieser Konzentration der Übergang von der mittleren zu mäßigen Raumluftqualität.

Abbildung 2-29 verdeutlicht anhand des Vergleichs der Auswirkungen verschiedener Luftwechsel auf den Anstieg der Kohlendioxidkonzentration. Bei Kipplüftung ist ein Luftwechsel von 5 erreichbar. Je nach Windsituation kann aber auch die Kipplüftung unzureichend sein.



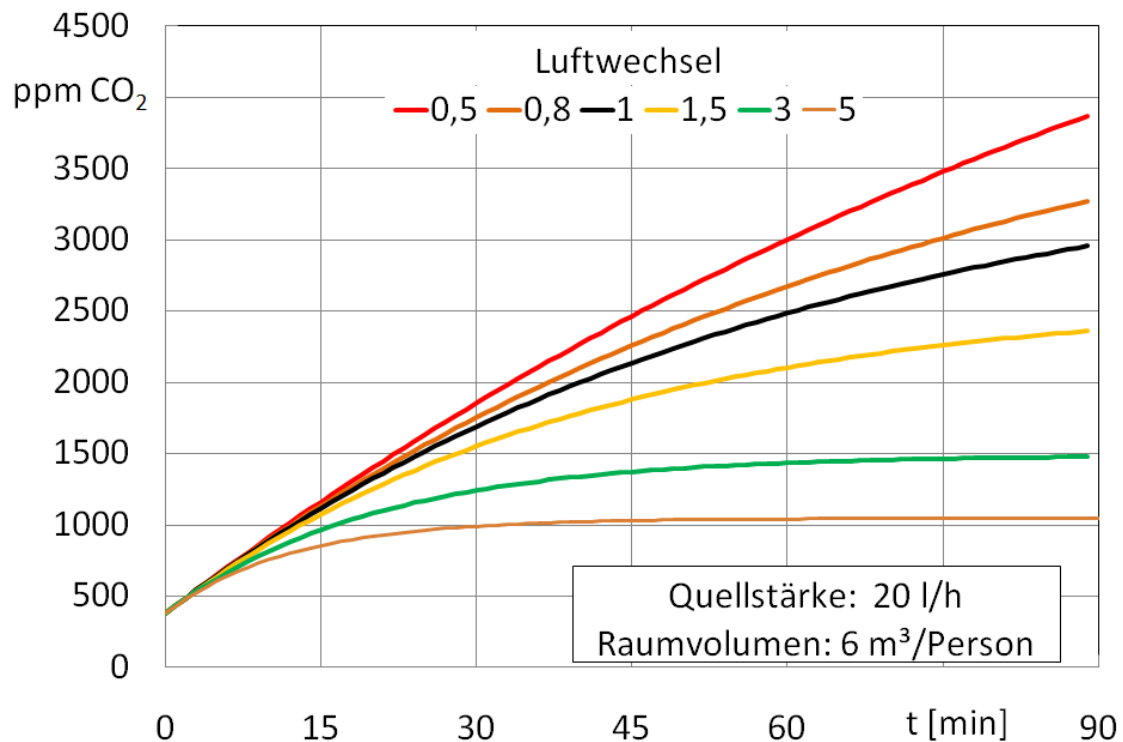


Abbildung 2-29: Einfluss des Luftwechsels auf die zeitliche Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration

Ein weitaus größeres Problem stellt die Anwendbarkeit der permanenten Kipplüftung im praktischen Betrieb dar. Aus Behaglichkeitsgründen ist vor allem an kalten Tagen eine Kipplüftung für die im Fensterbereich sitzenden Schüler nicht tragbar.

Ein weiterer wesentlicher Grund betrifft die Energieverluste durch diese Art der Lüftung. Der Lüftungswärmeverlust durch diese Art von Lüftung würde bei einem dreizügigen Gymnasium mit sechs Stunden Unterrichtsdauer bei einer Außentemperatur 0 °C pro Tag rund 700 kWh betragen.

Aus Abbildung 2-29 kann darüber hinaus auch die Konsequenz abgelesen werden, die für die Raumluftqualität durch den Einbau fugendichter Fenster zu erwarten ist. Moderne Fenster reduzieren den natürlichen Luftwechsel auf Werte um  $n = 0,3$ . Die Kohlendioxidkonzentration in Schulklassen, die mit solchen Fenstern ausgerüstet werden, steigt stärker an, als durch die Linie mit  $n = 0,5$  dargestellt ist. Konzentrationen in der Größenordnung von 4.500 bis 5.000 ppm müssen erwartet werden.

### 2.3.7 Messungen an der Peter-Pan-Schule

Zusätzlich zu den Wirtschaftsschulen und den Technischen Schulen bot sich die Möglichkeit, Untersuchungen der Raumluft in einer Grundschule durchzuführen, in denen die Räume mit einer Lüftungsanlage ausgerüstet sind. Ausgewählt wurden zwei Räume mit der gleichen Himmelsausrichtung, ähnlicher Geometrie und Anzahl von Schülern. Durch die Lüftungsanlage (vgl. Abbildung 2-30) wird über das obere Gitter Raumluft abgesaugt und über das untere Gitter gelangt Zuluft in den Raum eingebracht. Die Zuluft kann dreistufig eingelassen werden. Auf höchster Stufe gelangen etwa 275 m<sup>3</sup>/h in den Raum. In diesem Zustand wurde der ausgewählte Proberaum P1 gefahren mit der Bitte an die Lehrerin, die Fenster während der gesamten Unterrichtszeit geschlossen zu halten. Im Proberaum P2 wurde die Lüftungsanlage ausgeschaltet, ohne die Lehrerin davon in Kenntnis zu setzen. Die Lehrerin war aufgefordert, das Lüftungsverhalten zu protokollieren.

Die Messung fand im Winter über einen Zeitraum von sechs Schultagen statt. Während dieser Zeit lag der CO<sub>2</sub>-Wert in Raum P1 zu jedem Zeitpunkt unter 1.500 ppm, der Maximalwert betrug 1.130 ppm. In Raum P2 kam es an jedem Tag zu Überschreitung der CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1.500 ppm, der Maximalwert lag bei 2.170 ppm. Der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Wertes steht in direktem Zusammenhang mit den Lüftungsintervallen. Dabei zeigte sich, dass nur das Öffnen der Fenster zu einer merkbaren Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes führte. Das alleinige Öffnen der Tür hat keinen nennenswerten Effekt auf den CO<sub>2</sub>-Gehalt.

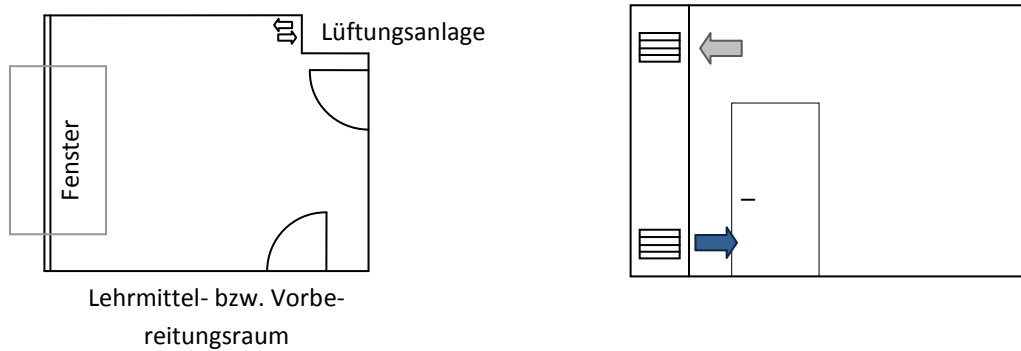


Abbildung 2-30: Lüftungsanlage Peter-Pan-Schule

## 2.4 Akustische Messungen

### 2.4.1 Einleitung

Die sich innerhalb eines Raumes einstellenden akustischen Bedingungen sind eine direkte Folge der innerhalb des Raumes aktiven Geräuschquellen und der Ausgestaltung des Raumes.

In den im Rahmen dieser Untersuchung untersuchten Schul- und Unterrichtsräumen sind die sich einstellenden akustischen Bedingungen speziell unter der dem Gesichtspunkt der Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen (DIN 18041, Ausgabe Mai 2004) zu beurteilen. Dabei sind weitere Normen und Richtlinien zu berücksichtigen, in den zugehörige Parameter und Berechnungsverfahren geregelt werden.

Grundsätzliches Ziel bei der Ausgestaltung eines Unterrichtsraumes muss es sein, die durch den Unterrichtenden/Lehrenden vorgetragenen Ausführungen gut verständlich an die Schüler zu übertragen. Dabei sollen Störgeräusche von außerhalb der Klasse durch geeignete Maßnahmen ebenso gedämpft werden, wie Geräusche durch raumluftechnische Anlagen. Ebenfalls zu berücksichtigen sind raumakustische Absorptionsflächen, die den Grundpegel in den durch Schüler besetzten Klassenräumen entsprechend absenken.

Werden die im Weiteren aufgeführten Planungs- und Ausführungshinweise nicht oder nur sehr unzulänglich berücksichtigt, wird Unterricht nur begrenzt und im Allgemeinen nur sehr ineffektiv möglich sein.

Die durch zu hohe Grundpegel in Aufenthaltsräumen bzw. an Arbeitsplätzen zu erwartenden Probleme können nach VDI 2058 sein:

psychisch:

- Verärgerung,
- Anspannung,
- Resignation,
- Angst,
- Nervosität,

physisch:

- Erhöhung des systolischen und/oder diastolischen Blutdrucks,
- Verengung der peripheren Blutgefäße,
- Erhöhung von Stresshormonwerten,
- verstärkte Magnesium-Ausscheidung,
- Veränderung von Atem- und Herzrhythmus,
- Verringerung der Magen- und Darmbewegung.

## 2.4.2 Grundlagen

Um die im Weiteren aufgezeigten Untersuchungsergebnisse und Ausführungs- sowie Planungsvorschläge korrekt umsetzen zu können, sind sowohl die hier aufgeführten akustischen Grundlagen wichtig, als auch die Ausführungen unter Kapitel 2.4.3.

Die in einem Raum installierten akustisch wirksamen Maßnahmen sollten ihre Hauptwirkung in den Bereichen der menschlichen Sprache haben. Diese bewegt sich im Bereich von wenigen 100 Hz bis etwa bei 5.000 Hz. Das menschliche Ohr kann allerdings Geräusche und Töne über diesen Bereich hinaus von ca. 20 Hz bis 20.000 Hz wahrnehmen. Dieses maximale Spektrum wird allerdings nicht von jedem wahrgenommen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass speziell die höheren Frequenzbereiche mit zunehmendem Alter schlechter oder gar nicht mehr gehört werden können. Übermäßige Belastungen der Ohren (z. B. durch zu laute Musik), aber auch Erkrankungen und Stress können dieses Spektrum einschränken, als auch selektiv beeinflussen.

Die durch Schallquellen an die Luft abgegebenen Druckschwankungen breiten sich in der Luft bis an das Ohr aus. Das menschliche Ohr empfindet aufgrund seiner organischen Konstruktion die Geräusche als Druckschwankungen, die als Nervenregungen an das Gehirn weitergeleitet werden. Die kleinste von einem gesunden Ohr empfundene Schalldruckschwankung ist der international definierte Bezugsdruck von  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ . Schalldrücke ab ca. 20 N/m<sup>2</sup> werden bereits als sehr schmerzvoll wahrgenommen und sind zu vermeiden. Es hat sich international durchgesetzt den tatsächlich physikalischen Schalldruck auf die Hörschwelle zu beziehen. Da sich wie aufgezeigt das Empfindungsvermögen des menschlichen Ohres über mehrere 10er-Potenzen erstreckt, wird dieser Quotient logarithmiert. Der so definierte Schalldruckpegel ergibt sich zu

$$L_p = 10 \cdot \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 [\text{dB}].$$

Neben dem am Ohr empfundenen Schalldruckpegel ist vor allem die tatsächliche Leistung der Schallquelle relevant. Diese wird einerseits durch Effekte wie Absorption abgebaut, andererseits auf eine mit dem Abstand zur Quelle zunehmende Fläche verteilt. Dadurch nimmt der lokale Eindruck ( $L_p$ ) in Abhängigkeit vom Abstand zur Geräuschquelle und der Raumbeschaffenheit ab. Der diesbezügliche Schalleistungspegel ist wie folgt definiert:

$$L_w = 10 \cdot \log \left( \frac{W}{W_0} \right) [\text{dB}].$$

Die zugehörige Bezugsgröße (kleinste wahrnehmbare Leistung) ist:  $W_0 = 10^{-12}$  Watt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass beide Größen ( $L_p$ ,  $L_w$ ) in gleichen Einheiten gemessen werden, aber grundsätzlich verschiedene physikalische Größen sind. Im akustischen Freifeld ergibt sich zwischen der Schalleistung und dem lokal empfundenen Schalldruckpegel als Funktion des Abstandes zur Quelle folgender Zusammenhang:

$$L_w = L_p + 10 \cdot \log \left( \frac{S}{S_0} \right).$$

Mit  $S_0 = 1 \text{ m}^2$  und  $S$  = Kugeloberfläche einer ungestört in alle Richtung abstrahlenden Schallquelle.

Neben der Definition des Schalldruck- und des Schalleistungspegels ist es wichtig, die Empfindung des menschlichen Ohres auf die unterschiedlichen Frequenzen beurteilen zu können. Im Bereich der menschlichen Sprache hört bzw. empfindet das Ohr gut während es speziell im unteren Frequenzbereich in seinem Empfinden stark nachlässt. Physikalisch exakt arbeitende Messinstrumente, wie sie im Rahmen dieser Untersuchung verwendet wurden,

bedienen sich daher technischer Einrichtungen, um das Hörvermögen des menschlichen Ohres zu berücksichtigen. Dazu werden die in den Terz- bzw. Oktav-Bändern gemessenen Schalldruckpegel korrigiert (A-Bewertung).

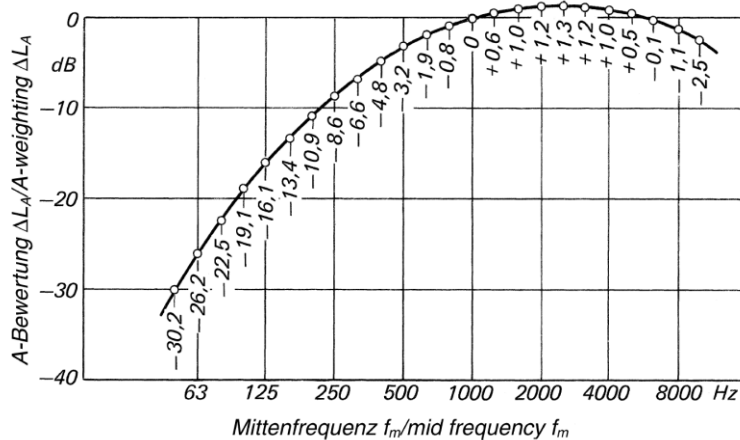


Abbildung 2-31: Korrekturwerte bei entsprechenden Mittenfrequenzen der Terzbänder nach VDI 2081

Abbildung 2-31 gibt nach VDI 2081 die Korrekturwerte bei entsprechenden Mittenfrequenzen der Terzbänder an, mit denen die tatsächlich gemessenen Schalldruckpegel korrigiert werden. Es hat sich allgemein als nützlich erwiesen, einen Einzahlwert als Gesamtschalldruckpegel anzugeben, der aus den Einzel-Schalldruckpegeln in den Frequenzbändern gebildet wird:

$$L_{p_{ges.}} = 10 + \log \left( \sum_{i=f_u}^{f_o} 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)} \right) \quad 2-2$$

Dieser Schalldruckpegel, der am jeweiligen Arbeitsplatz lokal am Ohr empfunden wird, sollte je nach Anforderung an die Tätigkeit bestimmte Grenzwerte (z. B. nach VDI 2081) nicht überschreiten. Für Klassen- und Seminarräume liegt dieser Wert zwischen 35 dB(A) und 40 dB(A).

### 2.4.3 Raumakustik

Aufbauend auf den zuvor genannten Grundlagen muss die sich einstellende Raumakustik abgeleitet und bei der Planung und Sanierung von Schul- und Seminarräumen berücksichtigt werden. Grundsätzlich wurde bereits auf die Zusammenhänge zwischen der Schallleistung und dem am Ohr empfundenen Schalldruck eingegangen. Wichtig sind die physikalischen Phänomene, die zu einer Abnahme des Schalldruckpegels im Raum führen und eine Reflexion der Schalldruckwellen und damit einen Nachhall unterdrücken.

Der Nachhall und die Reduzierung des lokalen Schalldruckpegels beruhen neben anderen Phänomenen primär auf dem Absorptionsvermögen der Oberflächenmaterialien der Schul- und Seminarräume. Die auf diese Oberfläche treffenden Schalldruckwellen werden, entsprechende Porosität und Materialbeschaffenheit vorausgesetzt, durch Reibung und Verformungsarbeit primär in Wärme gewandelt und somit absorbiert.

Dieser Vorgang unterbindet Reflexionen und unterstützt den Abbau des Schalldruckfeldes, wodurch gute sprachliche und gesangliche Verständigung möglich wird. Dieser Zusammenhang lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$L_w = L_p - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right) [dB] \quad 2-3$$

mit  $Q$  = Richtungsfaktor,  $r$  = Abstand zur Schallquelle und  $A$  = Absorptionsfläche des Raumes in  $m^2$ -Sabine (siehe auch VDI 2081).

Aufgrund des mit dem Abstand rasch abnehmenden Einflusses des Richtungsfaktors wird deutlich, dass die sich im Raum einstellende Raumakustik maßgeblich durch die Absorptionsfläche des Raumes bestimmt wird.

Die Absorptionsfläche eines Raumes lässt sich im Planungsfall theoretisch abschätzen und im bereits ausgeführten Fall messtechnisch erfassen bzw. überprüfen.

Im Planungsfall erfolgt die Berechnung der Absorptionsfläche nach DIN EN 12354 Teil 6. Hierzu müssen die akustischen Stoffdaten als Eingangsgrößen bekannt sein. Diese können neben der DIN EN 12354 Teil 6 weiteren Datenbanken entnommen werden. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die so berechneten äquivalenten Absorptionsflächen eines Raumes hinreichend genau sind, um bereits im Planungsfall die sich einstellende Raumakustik abzuschätzen.

Im bereits ausgeführten Fall kann der zuvor berechnete Wert überprüft bzw. im Sanierungsfall ermittelt werden. Über die sogenannte Sabine-Gleichung sind Raumvolumen, Absorptionsfläche und messtechnisch zu ermittelnde Nachhallzeit eines Raumes gekoppelt:

$$A = 0,163 \cdot \frac{\text{Raumvolumen [m}^3\text{]}}{\text{Nachhallzeit [s]}} [m^2 \text{ Sabine}] \quad 2-4$$

Dabei gilt der Koeffizient für eine von der Raumtemperatur abhängige Schallgeschwindigkeit von 345,6 m/s. Die Nachhallzeit wird vorzugsweise in den für die menschliche Sprache relevanten Terzbändern von 125 Hz bis 8000 Hz gemessen.

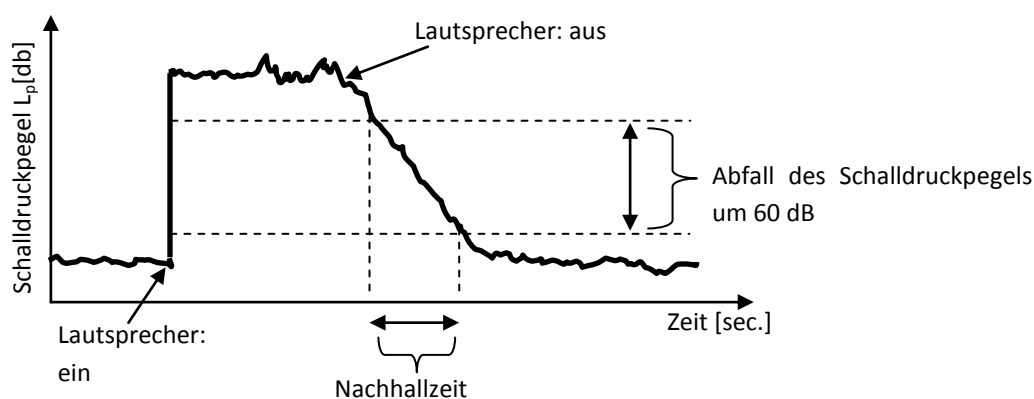


Abbildung 2-32: Messverlauf zur Ermittlung der Nachhallzeit

Abbildung 2-32 gibt den typischen Messverlauf zur Ermittlung der Nachhallzeit an. Mittels vorzugsweise weißem oder rosa Rauschen wird der Schalldruckpegel über einen Lautsprecher in einem zu untersuchenden Raum auf einen Maximalwert angeregt. Nach Abschaltung des Geräusches wird die Zeit als Nachhallzeit im jeweiligen Frequenzband erfasst, in der der Schalldruckpegelabfall um 60 dB abfällt.

Aufgrund der sabinschen Gleichung ist direkt zu erkennen, dass die Nachhallzeit entscheidenden Einfluss auf die Raumakustik und damit Sprachverständlichkeit in z. B. Schul- und Seminarräumen hat.

In der DIN 18041 (Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen) ist daher die einzuhaltende Nachhallzeit geregelt.

Für Sprache ergibt sich eine Nachhallzeit von maximal:

$$T_{NZsoll} = 0,37 \cdot \log(\text{Raumvolumen}) - 0,14 \text{ [s]} \quad 2-5$$

In Unterrichtsräumen gilt:

$$T_{NZsoll} = 0,32 \cdot \log(\text{Raumvolumen}) - 0,17 \text{ [s]} \quad 2-6$$

Grafisch nach DIN 18041 ergibt sich für die verschiedenen Nutzungsarten eines Raumes folgendes Diagramm in Abhängigkeit des Raumvolumens:

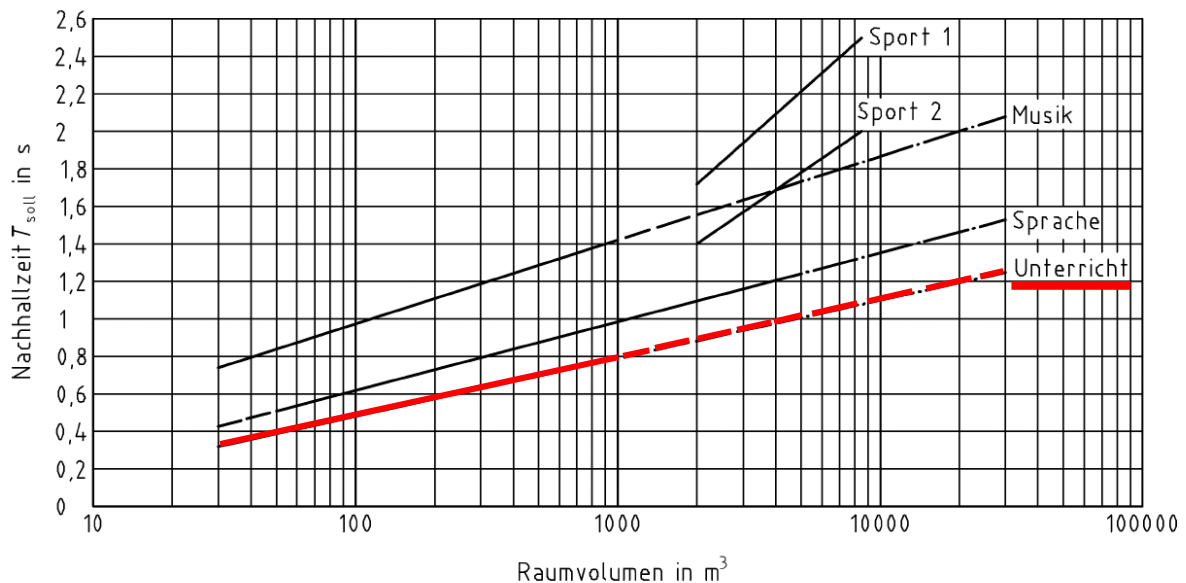


Abbildung 2-33: Sollwert  $T_{soll}$  der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten<sup>9</sup>

Die in den meisten hier untersuchten Klassenräumen geforderte maximale Nachhallzeit liegt daher deutlich unter 1,0 s. Vorzugsweise unter 0,7 s.

#### 2.4.4 Einfluss der Besetzung

Ungeklärt in diesem Zusammenhang ist der Einfluss der nicht stetigen Besetzung des Unterrichtsraumes. Die Schüler bringen durch ihre Person, Kleidung und Taschen weitere Absorptionsflächen in den Raum ein, die die Raumakustik verbessern können. Dies ist allerdings über den Unterrichtszeitraum unstetig, da die Besetzung des Klassenraumes von Unterrichtsstunde zu Unterrichtsstunde schwanken kann. Insofern wurde im Rahmen der in dieser Studie durchgeführten Untersuchung der Ist-Zustand auch im Hinblick auf den dynamischen Besetzungsgrad untersucht. Da die Klassenräume unterschiedlich ausgeführt waren, unterschiedliche Abmessungen und Einrichtungsgegenstände besaßen, wurde der Besetzungsgrad als

<sup>9</sup> DIN 18041, Version Mai 2004, Seite 14, Bild 1

variable Größe definiert. Durch eine 1/3, 2/3 und Vollbesetzung entsprechend der Maximalbestuhlung, sollte durch umfangreiche Messung der Einfluss des Besetzungsgrades auf die Nachhallzeiten ermittelt werden.



*Abbildung 2-34: Besetzungsverhältnis 1/3*



*Abbildung 2-35: Besetzungsverhältnis 2/3*



*Abbildung 2-36: Besetzungsverhältnis 3/3*



## 2.4.5 Ist-Zustand

### 2.4.5.1 Technische Schulen




Schule:	Technische Schulen Steinfurt						
Raum:	017						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	8,32 m	Länge:	10,12 m	Höhe:	3,22 m	
	Grundfläche:	84,1 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	271,0 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler:				
Fensterfläche:	keine Fenster vorhanden						
Bodenmaterial:	Linoleum-Platten (schallhart)						
Wandmaterial:	beschichtete Sperrholzplatten und Beton (schallhart)						
Deckenmaterial:	Armstrong Mineralfaser-Akustikplatten (Typ: Ultima Board) und Betonunterzüge (schallhart)						
Tische	Anzahl:	21	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,98 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	26	Stuhlmaterial:	Kunststoff	Stuhlfläche:	(16 x) 0,29 m <sup>2</sup> (10 x) 0,25 m <sup>2</sup>	
Messung der Nachhallzeit (T20)							
0 % Besetzung Belegungsichte: 84,15 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsichte: 9,81 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsichte: 4,90 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsichte: 3,24 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	0	63	0,8	63	0,71	63	0,69
80	0,54	80	0,51	80	0,51	80	0,41
100	0,51	100	0,53	100	0,34	100	0,44
125	0,5	125	0,46	125	0,42	125	0,38
160	0,62	160	0,6	160	0,59	160	0,56
200	0,55	200	0,51	200	0,53	200	0,5
250	0,6	250	0,59	250	0,52	250	0,53
315	0,6	315	0,59	315	0,43	315	0,47
400	0,55	400	0,54	400	0,53	400	0,39
500	0,52	500	0,52	500	0,46	500	0,41
630	0,57	630	0,55	630	0,52	630	0,43
800	0,6	800	0,55	800	0,53	800	0,42
1000	0,63	1000	0,55	1000	0,51	1000	0,36
1250	0,53	1250	0,51	1250	0,42	1250	0,44
1600	0,56	1600	0,51	1600	0,45	1600	0,42
2000	0,53	2000	0,49	2000	0,44	2000	0,4
2500	0,52	2500	0,48	2500	0,47	2500	0,4
3150	0,49	3150	0,47	3150	0,43	3150	0,4
4000	0,48	4000	0,46	4000	0,43	4000	0,41
5000	0,46	5000	0,44	5000	0,44	5000	0,39
6300	0,44	6300	0,42	6300	0,38	6300	0,37
8000	0,39	8000	0,38	8000	0,35	8000	0,33
10000	0,34	10000	0,32	10000	0,3	10000	0,3
12500	0,28	12500	0,28	12500	0,25	12500	0,24
16000	0,29	16000	0,26	16000	0,23	16000	0,23
12000	0	12000	0	12000	0	12000	0
L-netw	0,55	L-netw	0,53	L-netw	0,47	L-netw	0,46
A-netw	0,53	A-netw	0,5	A-netw	0,45	A-netw	0,41
Einzahlwert	0,57	Einzahlwert	0,54	Einzahlwert	0,50	Einzahlwert	0,41
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							

Abbildung 2-37: Akustischer Steckbrief Raum 17, Technische Schulen Steinfurt

Schule:	Technische Schulen Steinfurt						
Raum:	029						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	8,03 m	Länge:	8,10 m	Höhe:	3,22 m	
	Grundfläche:	65,0 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	209,4 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler:			8,4	
Fensterfläche:	16,40 m <sup>2</sup>						
Bodenmaterial:	Steinfliesen (schallhart)						
Wandmaterial:	beschichtete Sperrholzplatten und Beton (schallhart)						
Deckenmaterial:	Armstrong Mineralfaser-Akustikplatten (Typ: Ultima Board) und Betonunterzüge (schallhart)						
Tische	Anzahl:	26	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,48 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	25	Stuhlmaterail:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
Messung der Nachhallzeit (T20)							
0 % Besetzung Belegungsdichte: 84,15 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsdichte: 7,88 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsdichte: 3,94 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsdichte: 2,60 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	1,37	63	4,39	63	1,27	63	1,19
80	0,86	80	0,74	80	0,89	80	0,82
100	0,44	100	0,54	100	0,58	100	0,4
125	0,61	125	0,55	125	0,61	125	0,54
160	0,6	160	0,51	160	0,57	160	0,5
200	0,59	200	0,53	200	0,47	200	0,5
250	0,62	250	0,72	250	0,52	250	0,53
315	0,6	315	0,55	315	0,51	315	0,51
400	0,67	400	0,53	400	0,52	400	0,43
500	0,68	500	0,59	500	0,44	500	0,33
630	0,67	630	0,55	630	0,46	630	0,34
800	0,63	800	0,48	800	0,4	800	0,34
1000	0,65	1000	0,48	1000	0,42	1000	0,35
1250	0,64	1250	0,56	1250	0,4	1250	0,41
1600	0,56	1600	0,49	1600	0,44	1600	0,41
2000	0,59	2000	0,47	2000	0,43	2000	0,4
2500	0,54	2500	0,47	2500	0,45	2500	0,42
3150	0,59	3150	0,5	3150	0,46	3150	0,4
4000	0,63	4000	0,53	4000	0,5	4000	0,45
5000	0,61	5000	0,57	5000	0,52	5000	0,45
6300	0,55	6300	0,51	6300	0,47	6300	0,44
8000	0,52	8000	0,5	8000	0,45	8000	0,43
10000	0,43	10000	0,42	10000	0,39	10000	0,36
12500	0,35	12500	0,31	12500	0,29	12500	0,28
16000	0,35	16000	0,36	16000	0,32	16000	0,21
12000	0	12000	0	12000	0	12000	0
L-netw	0,64	L-netw	0,56	L-netw	0,5	L-netw	0,51
A-netw	0,6	A-netw	0,51	A-netw	0,46	A-netw	0,42
Einzahlwert	0,66	Einzahlwert	0,53	Einzahlwert	0,44	Einzahlwert	0,37
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							


Ab

bildung 2-38: Akustischer Steckbrief Raum 29, Technische Schulen Steinfurt

Schule:	Technische Schulen Steinfurt						
Raum:	038						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	8,06 m	Länge:	9,88 m	Höhe:	3,19 m	
	Grundfläche:	87,9 m <sup>2</sup>	Flurstück Länge:	5,29 m	Flurstück Breite:	1,57 m	
	Raumvolumen:	280,4 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler:		10,4		
Fensterfläche:	16,51 m <sup>2</sup>						
Bodenmaterial:	Steinfiesen (schallhart)						
Wandmaterial:	beschichtete Sperrholzplatten und Beton (schallhart)						
Deckenmaterial:	Armstrong Mineralfaser-Akustikplatten (Typ: Ultima Board ) und Betonuntersüge (schallhart)						
Tische	Anzahl:	27	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,48 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	27	Stuhlmaterail:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung Belegungsichte: 87,89 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsichte: 9,86 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsichte: 4,93 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsichte: 3,26 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	1,73	63	1,5	63	1,42	63	2,27
80	0,99	80	0,77	80	0,71	80	0,77
100	0,89	100	0,74	100	0,64	100	0,52
125	0,67	125	0,61	125	0,5	125	0,59
160	0,59	160	0,52	160	0,61	160	0,45
200	0,63	200	0,54	200	0,62	200	0,5
250	0,73	250	0,61	250	0,55	250	0,5
315	0,69	315	0,56	315	0,52	315	0,52
400	0,71	400	0,46	400	0,4	400	0,46
500	0,62	500	0,49	500	0,39	500	0,36
630	0,52	630	0,49	630	0,45	630	0,36
800	0,58	800	0,48	800	0,4	800	0,34
1000	0,57	1000	0,48	1000	0,38	1000	0,38
1250	0,6	1250	0,54	1250	0,46	1250	0,39
1600	0,58	1600	0,5	1600	0,5	1600	0,42
2000	0,56	2000	0,53	2000	0,52	2000	0,42
2500	0,64	2500	0,59	2500	0,51	2500	0,43
3150	0,62	3150	0,54	3150	0,48	3150	0,46
4000	0,69	4000	0,59	4000	0,53	4000	0,52
5000	0,68	5000	0,59	5000	0,55	5000	0,5
6300	0,61	6300	0,51	6300	0,51	6300	0,46
8000	0,62	8000	0,56	8000	0,52	8000	0,5
10000	0	10000	0	10000	0	10000	0
12500	0	12500	0	12500	0	12500	0
16000	0	16000	0	16000	0	16000	0
12000	0	12000	0	12000	0	12000	0
L-netw	0,67	L-netw	0,59	L-netw	0,56	L-netw	0,54
A-netw	0,63	A-netw	0,56	A-netw	0,51	A-netw	0,46
Einzahlwert	0,60	Einzahlwert	0,49	Einzahlwert	0,41	Einzahlwert	0,38
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							


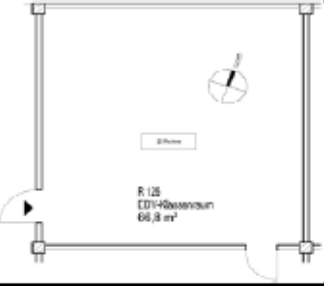
Ab

bildung 2-39: Akustischer Steckbrief Raum 38, Technische Schulen Steinfurt

Schule:	Technische Schulen Steinfurt						
Raum:	104						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	8,05 m	Länge:	8,09 m	Höhe:	3,21 m	
	Grundfläche:	65,1 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	209,0 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler:			8,7	
Fensterfläche:	16,40 m <sup>2</sup>						
Bodenmaterial:	Teppichboden (schallweich)						
Wandmaterial:	beschichtete Sperrholzplatten und Beton (schallhart)						
Deckenmaterial:	Armstrong Mineralfaser-Akustikplatten (Typ: Ultima Board ) und Betonunterzüge (schallhart)						
Tische	Anzahl:	24	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,48 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	24	Stuhlmaterial:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung Belegungsdichte: 65,12 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsdichte: 8,22 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsdichte: 4,11 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsdichte: 2,71 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	1,01	63	1,58	63	1,63	63	1,5
80	0,76	80	0,62	80	0,73	80	0,72
100	0,65	100	0,65	100	0,71	100	0,64
125	0,63	125	0,59	125	0,43	125	0,62
160	0,58	160	0,51	160	0,53	160	0,46
200	0,64	200	0,61	200	0,6	200	0,53
250	0,59	250	0,48	250	0,54	250	0,48
315	0,65	315	0,56	315	0,55	315	0,48
400	0,63	400	0,53	400	0,52	400	0,42
500	0,6	500	0,45	500	0,46	500	0,44
630	0,7	630	0,63	630	0,47	630	0,44
800	0,64	800	0,55	800	0,48	800	0,44
1000	0,64	1000	0,51	1000	0,5	1000	0,44
1250	0,68	1250	0,55	1250	0,48	1250	0,43
1600	0,6	1600	0,56	1600	0,5	1600	0,45
2000	0,62	2000	0,53	2000	0,51	2000	0,45
2500	0,6	2500	0,52	2500	0,48	2500	0,45
3150	0,58	3150	0,52	3150	0,46	3150	0,44
4000	0,6	4000	0,52	4000	0,54	4000	0,51
5000	0,57	5000	0,54	5000	0,53	5000	0,5
6300	0,53	6300	0,53	6300	0,45	6300	0,44
8000	0,53	8000	0,49	8000	0,48	8000	0,45
10000	0	10000	0	10000	0	10000	0,47
12500	0	12500	0	12500	0	12500	0
16000	0	16000	0	16000	0	16000	0
12000	0	12000	0	12000	0	12000	0
L-netw	0,64	L-netw	0,57	L-netw	0,56	L-netw	0,52
A-netw	0,62	A-netw	0,54	A-netw	0,51	A-netw	0,47
Einzahlwert	0,65	Einzahlwert	0,54	Einzahlwert	0,49	Einzahlwert	0,44
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							


Ab

bildung 2-40: Akustischer Steckbrief Raum 104, Technische Schulen Steinfurt

Schule:	Technische Schulen Steinfurt						
Raum:	126						
Nutzungsart:	Datenverarbeitung						
							
Raumabmessungen	Breite:	8,10 m	Länge:	8,25 m	Höhe:	3,22 m	
	Grundfläche:	66,8 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	214,8 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler: 7,7				
Fensterfläche:	keine Fenster, dafür 8 Dachluken (à 1,2 m x 1,2 m)						
Bodenmaterial:	Teppichboden (schallweich)						
Wandmaterial:	beschichtete Sperrholzplatten und Beton (schallhart)						
Deckenmaterial:	Armstrong Mineralfaser-Akustikplatten (Typ: Ultima Board) und Betonunterzüge (schallhart)						
Tische	Anzahl:	16	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	1,38 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	28	Stuhlmaterail:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung Belegungsdichte: 0,15 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsdichte: 7,23 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsdichte: 3,62 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsdichte: 2,39 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	0,54	63	0,59	63	0,76	63	0,49
80	0,36	80	0,55	80	0,43	80	0,62
100	0,49	100	0,47	100	0,38	100	0,68
125	0,55	125	0,46	125	0,48	125	0,59
160	0,58	160	0,49	160	0,5	160	0,36
200	0,54	200	0,48	200	0,45	200	0,5
250	0,5	250	0,48	250	0,47	250	0,44
315	0,49	315	0,4	315	0,37	315	0,38
400	0,52	400	0,47	400	0,46	400	0,43
500	0,43	500	0,43	500	0,42	500	0,42
630	0,56	630	0,45	630	0,34	630	0,38
800	0,44	800	0,5	800	0,41	800	0,37
1000	0,53	1000	0,47	1000	0,47	1000	0,48
1250	0,58	1250	0,54	1250	0,51	1250	0,49
1600	0,52	1600	0,52	1600	0,48	1600	0,5
2000	0,51	2000	0,5	2000	0,49	2000	0,45
2500	0,52	2500	0,49	2500	0,5	2500	0,51
3150	0,53	3150	0,59	3150	0,53	3150	0,5
4000	0,65	4000	0,62	4000	0,61	4000	0,62
5000	0,63	5000	0,63	5000	0,61	5000	0,61
6300	0,55	6300	0,56	6300	0,53	6300	0,53
8000	0,57	8000	0,56	8000	0,56	8000	0,58
10000	0	10000	0	10000	0	10000	0
12500	0	12500	0	12500	0	12500	0
16000	0	16000	0	16000	0	16000	0
12000	0	12000	0	12000	0	12000	0
L-netw	0,56	L-netw	0,54	L-netw	0,92	L-netw	
A-netw	0,56	A-netw	0,55	A-netw	0,53	A-netw	0,53
Einzahlwert	0,51	Einzahlwert	0,48	Einzahlwert	0,44	Einzahlwert	0,43
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							

Ab

bildung 2-41: Akustischer Steckbrief Raum 126, Technische Schulen Steinfurt

Schule:	Technische Schulen Steinfurt						
Raum:	136						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	8,11 m	Länge:	8,05 m	Höhe:	3,21 m	
	Grundfläche:	65,2 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	209,4 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler: 7,5				
Fensterfläche:	16,40 m <sup>2</sup>						
Bodenmaterial:	Teppichboden (schallweich)						
Wandmaterial:	beschichtete Sperrholzplatten und Beton (schallhart)						
Deckenmaterial:	Armstrong Mineralfaser-Akustikplatten (Typ: Ultima Board) und Betonunterzüge (schallhart)						
Tische	Anzahl:	25	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,48 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	28	Stuhlmaterail:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung Belegungsichte: 65,25 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsichte: 7,06 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsichte: 3,53 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsichte: 2,33 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	1,73	63	1,73	63	1,42	63	2,27
80	0,99	80	0,99	80	0,71	80	0,77
100	0,89	100	0,89	100	0,64	100	0,52
125	0,67	125	0,67	125	0,5	125	0,59
160	0,59	160	0,59	160	0,61	160	0,4
200	0,63	200	0,63	200	0,62	200	0,5
250	0,73	250	0,73	250	0,55	250	0,5
315	0,69	315	0,69	315	0,52	315	0,52
400	0,71	400	0,71	400	0,4	400	0,46
500	0,62	500	0,62	500	0,39	500	0,36
630	0,52	630	0,52	630	0,45	630	0,36
800	0,58	800	0,58	800	0,4	800	0,34
1000	0,57	1000	0,57	1000	0,38	1000	0,38
1250	0,6	1250	0,6	1250	0,46	1250	0,39
1600	0,58	1600	0,58	1600	0,5	1600	0,42
2000	0,56	2000	0,56	2000	0,52	2000	0,42
2500	0,64	2500	0,64	2500	0,51	2500	0,43
3150	0,62	3150	0,62	3150	0,48	3150	0,46
4000	0,69	4000	0,69	4000	0,53	4000	0,52
5000	0,68	5000	0,68	5000	0,55	5000	0,5
6300	0,61	6300	0,61	6300	0,51	6300	0,46
8000	0,62	8000	0,62	8000	0,52	8000	0,5
10000	0	10000	0	10000	0	10000	0
12500	0	12500	0	12500	0	12500	0
16000	0	16000	0	16000	0	16000	0
12000	0	12000	0	12000	0	12000	0
L-netw	0,67	L-netw	0,67	L-netw	0,56	L-netw	0,54
A-netw	0,63	A-netw	0,63	A-netw	0,51	A-netw	0,46
Einzahlwert	0,60	Einzahlwert	0,60	Einzahlwert	0,41	Einzahlwert	0,38
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							

Ab

bildung 2-42: Akustischer Steckbrief Raum 136, Technische Schulen Steinfurt

## 2.4.5.2 Wirtschaftsschulen



Schule:	Wirtschaftsschulen Steinfurt						
Raum:	103 vor der Sanierung (ehemals Raum 111)						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	6,30 m	Länge:	8,90 m	Höhe:	2,93 m	
	Grundfläche:	56,1 m <sup>2</sup>	Volumen pro Schüler:			6,4	
	Raumvolumen:	165,4 m <sup>3</sup>					
Fensterfläche:	12,40 m <sup>2</sup> Insgesamt 5 Fenster (3 Westausrichtung und 2 Südausrichtung)						
Bodenmaterial:	Teppich						
Wandmaterial:	Tapete						
Deckenmaterial:	Mineralfaserplatten						
Tische	Anzahl:	26	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,49 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	26	Stuhlmaterail:	Holz	Stuhlfläche:	0,23 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung Belegungsichte: 36,07 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsichte: 6,33 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsichte: 3,27 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsichte: 2,16 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63		63	2,6	63	2,09	63	1,39
80	3,61	80	2,15	80	1,62	80	1,69
100	1,04	100	1,09	100	1,17	100	0,83
125	0,59	125	0,75	125	0,78	125	0,49
160	0,78	160	0,74	160	0,59	160	0,57
200	0,67	200	0,58	200	0,46	200	0,59
250	0,6	250	0,51	250	0,49	250	0,55
315	0,58	315	0,42	315	0,34	315	0,34
400	0,43	400	0,48	400	0,39	400	0,31
500	0,56	500	0,38	500	0,35	500	0,34
630	0,45	630	0,38	630	0,33	630	0,26
800	0,35	800	0,37	800	0,3	800	0,33
1000	0,43	1000	0,41	1000	0,36	1000	0,32
1250	0,47	1250	0,45	1250	0,4	1250	0,35
1600	0,53	1600	0,51	1600	0,47	1600	0,39
2000	0,59	2000	0,58	2000	0,56	2000	0,54
2500	0,68	2500	0,61	2500	0,59	2500	0,53
3150	0,66	3150	0,61	3150	0,55	3150	0,52
4000	0,68	4000	0,66	4000	0,54	4000	0,51
5000	0,64	5000	0,67	5000	0,57	5000	0,48
6300	0,62	6300	0,64	6300	0,55	6300	0,52
8000	0,6	8000	0,7	8000	0,54	8000	0,51
10000	0	10000	0	10000	0	10000	
12500	0	12500	0	12500	0	12500	
16000		16000		16000		16000	
20000		20000		20000		20000	
L-netw	0,88	L-netw	0,96	L-netw	0,92	L-netw	1,04
A-netw	0,63	A-netw	0,6	A-netw	0,54	A-netw	0,5
Einzahlwert	0,45	Einzahlwert	0,41	Einzahlwert	0,36	Einzahlwert	0,32
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							


Abbildung 2-43: Akustischer Steckbrief Raum 103/111 vor der Sanierung, Wirtschaftsschulen ST

Schule:	Wirtschaftsschulen Steinfurt					
Raum:	103 nach der Sanierung (ehemals Raum 111)					
Nutzungsart:	Unterrichtsraum					
						
Raumabmessungen	Breite:	6,30 m	Länge:	8,90 m	Höhe:	2,95 m
	Grundfläche:	56,1 m <sup>2</sup>				
	Raumvolumen:	165,4 m <sup>3</sup>		Volumen pro Schüler:	6,4	
Fensterfläche:	12,40 m <sup>2</sup> Insgesamt 5 Fenster (3 Westausrichtung und 2 Südausrichtung)					
Bodenmaterial:	Linoleum					
Wandmaterial:	Putz gestrichen; bis zu einer Höhe von 1,20 m wurde abwaschbare Farbe verwendet; 2 Akustik-Wandpaneele					
Deckenmaterial:	Gipskarton-Lochplatten (Knauf) mit aufliegendem akustisch wirksamen Flies und Heiz-/Kühlpaneele					
Tische	Anzahl:	26	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,49 m <sup>2</sup>
Stühle	Anzahl:	26	Stuhlmaterial:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,29m <sup>2</sup>
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>						
0 % Besetzung						
Belegungsdichte: 56,1 m <sup>2</sup> /Schüler						
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	Frq [Hz]	Frq [Hz]	Frq [Hz]	Frq [Hz]
63	1,41	63		63		63
80	1,45	80		80		80
100	1,03	100		100		100
125	0,72	125		125		125
160	0,5	160		160		160
200	0,43	200		200		200
250	0,45	250		250		250
315	0,46	315		315		315
400	0,45	400		400		400
500	0,44	500		500		500
630	0,46	630		630		630
800	0,45	800		800		800
1000	0,48	1000		1000		1000
1250	0,48	1250		1250		1250
1600	0,5	1600		1600		1600
2000	0,52	2000		2000		2000
2500	0,54	2500		2500		2500
3150	0,53	3150		3150		3150
4000	0,59	4000		4000		4000
5000	0,57	5000		5000		5000
6300	0	6300		6300		6300
8000	0	8000		8000		8000
Einzahlwert	0,46	Einzahlwert		Einzahlwert		Einzahlwert
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)						

Ab

bildung 2-44: Akustischer Steckbrief Raum 103/111 nach der Sanierung, Wirtschaftsschulen ST



Schule:	Wirtschaftsschulen Steinfurt						
Raum:	118						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	6,45 m	Länge:	9,20 m	Höhe:	3,00 m	
	Grundfläche:	59,3 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	178,0 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler: 6,8				
Fensterfläche:	16,41 m <sup>2</sup> zusätzlich befinden sich an der Wand zum 8 Oberlichter (5 0,9 x 1,0)						
Bodenmaterial:	Teppich						
Wandmaterial:	Tapete; Auf der Vorder- und Rückwand aufgebracht Putz						
Deckenmaterial:	Owocousto-Platten (bestehend aus 20 mm Mineralfaserplatten; Basalt-Steinwolle)						
Tische	Anzahl:	26	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,49 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	26	Stuhlmaterail:	Holz	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung Belegungsichte: 59,34 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsichte: 6,92 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsichte: 3,46 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsichte: 2,28 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63		63		63	1,96	63	2,83
80	3,34	80	1,71	80	1,6	80	2,01
100	1,47	100	1,33	100	1,28	100	1,57
125	0,83	125	0,95	125	0,85	125	1,02
160	0,69	160	0,62	160	0,67	160	0,76
200	0,55	200	0,48	200	0,49	200	0,54
250	0,53	250	0,56	250	0,46	250	0,49
315	0,49	315	0,41	315	0,38	315	0,43
400	0,47	400	0,41	400	0,37	400	0,36
500	0,48	500	0,44	500	0,31	500	0,36
630	0,42	630	0,36	630	0,33	630	0,36
800	0,43	800	0,39	800	0,31	800	0,3
1000	0,46	1000	0,42	1000	0,34	1000	0,39
1250	0,51	1250	0,41	1250	0,37	1250	0,39
1600	0,52	1600	0,45	1600	0,39	1600	0,37
2000	0,55	2000	0,47	2000	0,41	2000	0,47
2500	0,59	2500	0,48	2500	0,44	2500	0,51
3150	0,6	3150	0,49	3150	0,47	3150	0,53
4000	0,66	4000	0,61	4000	0,53	4000	0,59
5000	0,68	5000	0,55	5000	0,49	5000	0,55
6300	0,62	6300	0,51	6300	0,46	6300	0,55
8000	0,56	8000	0,44	8000	0,4	8000	0,56
10000	0,52	10000	0,12	10000	0,07	10000	
12500		12500	0,12	12500	0,05	12500	
16000		16000		16000		16000	
20000		20000		20000		20000	
L-netw	0,66	L-netw	0,8	L-netw	0,8	L-netw	0,89
A-netw	0,6	A-netw	0,51	A-netw	0,45	A-netw	0,5
Einzahlwert	0,46	Einzahlwert	0,41	Einzahlwert	0,34	Einzahlwert	0,36
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							

Ab

bildung 2-45: Akustischer Steckbrief Raum 118, Wirtschaftsschulen Steinfurt


Schule:	Wirtschaftsschulen Steinfurt						
Raum:	231						
Nutzungsart:	Unterrichtsraum						
							
Raumabmessungen	Breite:	7,90 m	Länge:	8,10 m	Höhe:	3,00 m	
	Grundfläche:	64,0 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	192,0 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler: 7,7				
Fensterfläche:	16,20 m <sup>2</sup>						
Bodenmaterial:	Teppich						
Wandmaterial:	Tapete; An einer Wand befindet sich eine Schrankgaderobe						
Deckenmaterial:	Mineralfaser-Akustikplatten (Owakustik-Platten 16 mm)						
Tische	Anzahl:	25	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,47 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	25	Stuhlmaterail:	Holz	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung Belegungsichte: 63,99 m <sup>2</sup> /Schüler		33 % Besetzung Belegungsichte: 7,76 m <sup>2</sup> /Schüler		66 % Besetzung Belegungsichte: 3,88 m <sup>2</sup> /Schüler		100 % Besetzung Belegungsichte: 2,56 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	1,3	63	1,7	63	1,24	63	1,13
80	1,98	80	1,65	80	1,33	80	1,03
100	0,93	100	1,06	100	0,98	100	0,89
125	0,7	125	0,77	125	0,81	125	0,76
160	0,82	160	0,69	160	0,62	160	0,63
200	0,69	200	0,62	200	0,45	200	0,54
250	0,67	250	0,61	250	0,49	250	0,46
315	0,61	315	0,53	315	0,43	315	0,42
400	0,47	400	0,4	400	0,4	400	0,39
500	0,48	500	0,42	500	0,42	500	0,3
630	0,46	630	0,39	630	0,39	630	0,34
800	0,51	800	0,42	800	0,39	800	0,37
1000	0,55	1000	0,46	1000	0,39	1000	0,36
1250	0,59	1250	0,48	1250	0,43	1250	0,41
1600	0,51	1600	0,47	1600	0,42	1600	0,36
2000	0,47	2000	0,5	2000	0,38	2000	0,36
2500	0,45	2500	0,49	2500	0,4	2500	0,37
3150	0,47	3150	0,49	3150	0,4	3150	0,4
4000	0,48	4000	0,45	4000	0,44	4000	0,46
5000	0,49	5000	0,46	5000	0,43	5000	0,44
6300	0,43	6300	0,44	6300	0,41	6300	0,39
8000	0,43	8000	0,43	8000	0,38	8000	0,34
10000	0,36	10000	0,34	10000	0,31	10000	0,29
12500	0,29	12500	0,29	12500	0,25	12500	0,24
16000	0,24	16000	0,25	16000	0,22	16000	0,22
20000	0,24	20000	0	20000	0,18	20000	0,16
L-netw	0,7	L-netw	0,73	L-netw	0,61	L-netw	0,61
A-netw	0,5	A-netw	0,48	A-netw	0,43	A-netw	0,41
Einzahlwert	0,51	Einzahlwert	0,43	Einzahlwert	0,40	Einzahlwert	0,36
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							

Abbildung 2-46: Akustischer Steckbrief Raum 231, Wirtschaftsschulen Steinfurt

Schule:	Wirtschaftsschulen Steinfurt						
Raum:	319						
Nutzungsart:	Datenverarbeitung						
Raumabmessungen	Breite:	6,25 m	Länge:	11,43 m	Höhe:	3,00 m	
	Grundfläche:	71,4 m <sup>2</sup>					
	Raumvolumen:	214,3 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler:				
Fensterfläche:	20,92 m <sup>2</sup>						
Bodenmaterial:	Teppich						
Wandmaterial:	Tapete; An der Vorder- und Rückwand befindet sich ein Schacht aus Rigips und Tapete (Schwerkraftkühlung)						
Deckenmaterial:	Hochleistungskühldecke (60-90 W/m <sup>2</sup> ) mit gelochter Metallplatte ausgelegt mit akustisch wirksamen Flies						
Tische	Anzahl:	25 16	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,35 m <sup>2</sup> 1,05 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	27	Stuhlmaterial:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,29 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T30)</b>							
0% Besetzung Belegungsgrad: 71,4 m <sup>2</sup> /Schüler		0% Besetzung Belegungsgrad: 71,4 m <sup>2</sup> /Schüler		0% Besetzung Belegungsgrad: 71,4 m <sup>2</sup> /Schüler			
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
50 Hz		50 Hz		50 Hz		50 Hz	
63 Hz	0	63 Hz	0,53	63 Hz		63 Hz	
80 Hz	0	80 Hz	0,28	80 Hz		80 Hz	
100 Hz	0,41	100 Hz	0,45	100 Hz	0,59	100 Hz	
125 Hz	0,56	125 Hz	0,51	125 Hz	0,56	125 Hz	
160 Hz	0,4	160 Hz	0,36	160 Hz	0,53	160 Hz	
250 Hz	0,4	250 Hz	0,37	250 Hz	0,28	250 Hz	
315 Hz	0,33	315 Hz	0,4	315 Hz	0,39	315 Hz	
400 Hz	0,33	400 Hz	0,37	400 Hz	0,39	400 Hz	
500 Hz	0,41	500 Hz	0,34	500 Hz	0,38	500 Hz	
630 Hz	0,35	630 Hz	0,3	630 Hz	0,39	630 Hz	
800 Hz	0,34	800 Hz	0,39	800 Hz	0,34	800 Hz	
1 kHz	0,43	1 kHz	0,44	1 kHz	0,44	1 kHz	
1.25 kHz	0,47	1.25 kHz	0,51	1.25 kHz	0,46	1.25 kHz	
1.6 kHz	0,48	1.6 kHz	0,43	1.6 kHz	0,4	1.6 kHz	
2 kHz	0,47	2 kHz	0,51	2 kHz	0,51	2 kHz	
2.5 kHz	0,47	2.5 kHz	0,58	2.5 kHz	0,47	2.5 kHz	
3.15 kHz	0,49	3.15 kHz	0,55	3.15 kHz	0,49	3.15 kHz	
4 kHz	0,62	4 kHz	0,61	4 kHz	0,56	4 kHz	
5 kHz	0,57	5 kHz	0,51	5 kHz	0,56	5 kHz	
6.3 kHz	0,5	6.3 kHz	0,53	6.3 kHz	0,5	6.3 kHz	
8 kHz	0,44	8 kHz	0,47	8 kHz	0,45	8 kHz	
10 kHz	0,37	10 kHz	0,42	10 kHz	0,39	10 kHz	
T20 A	0,49	T20 A	0,5	T20 A	0,49	T20 A	
T20 Z	0,49	T20 Z	0,5	T20 Z	0,49	T20 Z	
T30 A	0,51	T30 A	0,53	T30 A	0,5	T30 A	
Einzahlwert	0,39	Einzahlwert	0,39	Einzahlwert	0,40	Einzahlwert	
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							

Ab

bildung 2-47: Akustischer Steckbrief Raum 319, Wirtschaftsschulen Steinfurt

Schule:	Wirtschaftsschulen Steinfurt						
Raum:	326						
Nutzungsart:	Datenverarbeitung						
Raumabmessungen	Breite:	6,13 m	Länge:	11,56 m	Höhe:	3,00 m	
	Grundfläche:	74,3 m <sup>2</sup>	Versprung Länge:	4,55 m	Versprung Breite:	0,75 m	
	Raumvolumen:	222,8 m <sup>3</sup>	Volumen pro Schüler:		7,0		
Fensterfläche:	21,15 m <sup>2</sup>						
Bodenmaterial:	Teppich						
Wandmaterial:	Tapete, Rückwand ist eine Trennwand aus beschichtetem Holz						
Deckenmaterial:	Owacousite-Platten (bestehend aus 20 mm Mineralfaserplatten; Basalt-Steinwolle)						
Tische	Anzahl:	13 9	Tischmaterial:	beschichtetes Holz	Tischfläche:	0,64 m <sup>2</sup> 1,28 m <sup>2</sup>	
Stühle	Anzahl:	32	Stuhlmaterail:	Kunststoff	Stuhlfläche:	0,25 m <sup>2</sup>	
<b>Messung der Nachhallzeit (T20)</b>							
0 % Besetzung		33 % Besetzung		66 % Besetzung		100 % Besetzung	
Belegungsdichte: 74,28 m <sup>2</sup> /Schüler		Belegungsdichte: 7,03 m <sup>2</sup> /Schüler		Belegungsdichte: 3,52 m <sup>2</sup> /Schüler		Belegungsdichte: 2,32 m <sup>2</sup> /Schüler	
Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]	Frq [Hz]	NZ [s]
63	0,77	63	0	63	0,44	63	0
80	1,74	80	0,61	80	0,88	80	0,5
100	0,63	100	0,51	100	0,5	100	0,56
125	0,62	125	0,62	125	0,56	125	0,61
160	0,72	160	0,66	160	0,67	160	0,67
200	0,58	200	0,61	200	0,61	200	0,53
250	0,79	250	0,87	250	0,71	250	0,63
315	0,74	315	0,79	315	0,73	315	0,58
400	0,87	400	0,72	400	0,69	400	0,64
500	0,76	500	0,68	500	0,68	500	0,61
630	0,87	630	0,7	630	0,63	630	0,61
800	0,87	800	0,65	800	0,67	800	0,57
1000	0,78	1000	0,71	1000	0,67	1000	0,52
1250	0,84	1250	0,71	1250	0,63	1250	0,62
1600	0,81	1600	0,69	1600	0,66	1600	0,6
2000	0,81	2000	0,7	2000	0,62	2000	0,59
2500	0,76	2500	0,67	2500	0,62	2500	0,57
3150	0,72	3150	0,63	3150	0,62	3150	0,56
4000	0,75	4000	0,65	4000	0,63	4000	0,57
5000	0,71	5000	0,66	5000	0,63	5000	0,58
6300	0,63	6300	0,58	6300	0,58	6300	0,54
8000	0,59	8000	0,55	8000	0,54	8000	0,5
10000	0,5	10000	0,46	10000	0,46	10000	0,43
12500	0,39	12500	0,38	12500	0,37	12500	0,36
16000	0,34	16000	0,33	16000	0,33	16000	0,33
12000	0,33	12000	0,29	12000	0,28	12000	0,27
L-netw	0,77	L-netw	0,73	L-netw	0,66	L-netw	0,61
A-netw	0,78	A-netw	0,68	A-netw	0,64	A-netw	0,59
Einzahlwert	0,83	Einzahlwert	0,70	Einzahlwert	0,66	Einzahlwert	0,60
Einzahlwert durch Mittelung (400 Hz bis 1250 Hz) nach DIN EN ISO 3382 (Mai 05)							

Ab

bildung 2-48: Akustischer Steckbrief Raum 326, Wirtschaftsschulen Steinfurt

## 2.4.6 Auswertung Ist-Zustand

Wie bereits ausgeführt, besitzen die untersuchten Räume unterschiedliche Grundflächen und Höhen. Um dennoch zu einer Gesamtinterpretation der Daten zu gelangen, wurden die untersuchten Räume in jeweils 1/3-Schritten besetzt. Die nach Norm durchgeführten Messungen wurden zusammengefasst und als Einzahlwert dargestellt. Die sich dabei abzeichnenden funktionalen Zusammenhänge, sind in den nachfolgenden Tabellen und Diagrammen aufgezeigt.

Tabelle 2-6: Ermittelte Nachhallzeiten als Einzahlwert für die Technischen und Wirtschaftsschulen Steinfurt

Schule	Raum	Errechneter Sollwert für	Ermittelte Nachhallzeit als Einzahlwert (in s)			
		die Nachhallzeit (in s)	nach DIN EN ISO 3382			
		nach DIN 18041 (Mai 05)	voll besetzt	66 % besetzt	33 % besetzt	leerer Raum
Technische Schulen	Raum 17	<b>0,6</b>	<b>0,41</b>	0,5	0,54	0,57
	Raum 29	<b>0,57</b>	<b>0,37</b>	0,44	0,53	0,66
	Raum 38	<b>0,59</b>	<b>0,38</b>	0,41	0,49	0,6
	Raum 104	<b>0,56</b>	<b>0,44</b>	0,49	0,54	0,65
	Raum 126	<b>0,57</b>	<b>0,43</b>	0,44	0,48	0,51
	Raum 136	<b>0,57</b>	<b>0,38</b>	0,41	0,49	0,6
Wirtschaftsschulen	Raum 111 vorher	<b>0,54</b>	<b>0,32</b>	0,36	0,41	0,45
	Raum 111 nachher					0,46
	Raum 118	<b>0,56</b>	<b>0,36</b>	0,34	0,41	0,46
	Raum 231	<b>0,58</b>	<b>0,36</b>	0,40	0,43	0,51
	Raum 319					0,39
	Raum 326	<b>0,58</b>	<b>0,60</b>	0,66	0,70	0,83

Zunächst kann festgestellt werden, dass die untersuchten Räume die akustischen Anforderungen auch im unbesetzten Fall erfüllen. Dies ist zunächst auf die meist vorteilhafte Ausgestaltung der Räume mit textilen oder schallabsorbierenden Flächen zurückzuführen.

Darüber hinaus ist ein funktionaler Zusammenhang zwischen dem Besetzungsgrad und der sich daraus resultierend einstellende Nachhallzeit festzustellen.

Die unterschiedlichen Grundnachhallzeiten zwischen ca. 0,4 Sekunden und 0,65 Sekunden begründen sich durch die unterschiedliche Ausführung der Klassenräume mit unterschiedlich schallharten bzw. absorbierenden Materialien.

In allen Fällen waren die Räume mit akustisch wirksamen Deckensystemen ausgeführt. Entweder als geschlossene Akustikdecke oder ausgestattet mit einzelnen absorbierenden Deckenelementen. Aufgrund des Alters der untersuchten Räume und der unterschiedlichen Sanierungszustände (teilweise überstrichene Wand- und Deckenflächen), waren dabei die für diese Flächen anzusetzenden Absorptionskoeffizienten nicht mehr zu ermitteln.

In den Klassenräumen, in denen besonders niedrige Nachhallzeiten auch im unbesetzten Zustand ermittelt wurden, waren in der Regel textile Bodenbeläge vorzufinden.

Haupterkennnis aus den Grunduntersuchungen ist, dass die akustische Eignung der untersuchten Räume für den Unterricht gegeben ist.

Für den Planungsfall kann die Bedeutung einer akustisch wirksamen Decke erkannt werden. Im Planungsfall muss das Absorptionsvermögen der geplanten Deckenkonstruktionen be-

kannt sein, um die sich voraussichtlich einstellende Nachhallzeit nach den genannten Normen vorab berechnen zu können.

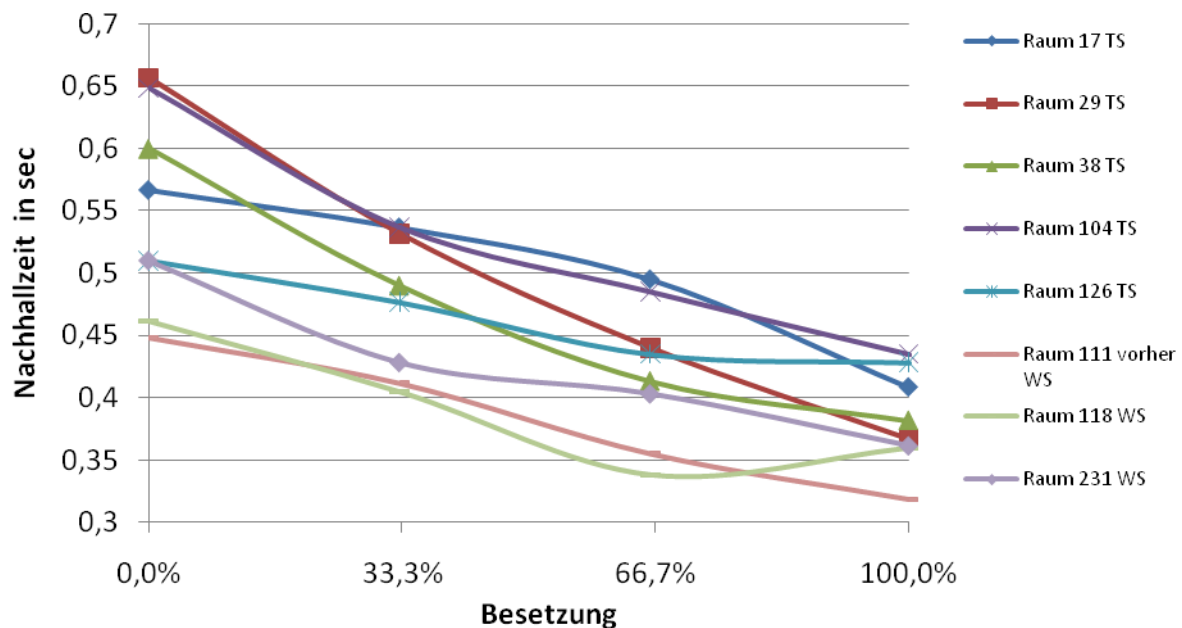


Abbildung 2-49: Nachhallzeit in Abhängigkeit der Besetzung für alle untersuchten Klassenräume

Die umfangreichen Messungen die in obigem Diagramm ausgewertet wurden zeigen, dass sich die Raumakustik durch den Besetzungsgrad deutlich verbessert. Die zusätzlich in den Raum durch die Schülerbekleidung eingebrachten textilen Flächen senken die Nachhallzeit im Klassenraum bei einer Planvollbesetzung um ca. 0,2 Sekunden und führen zu Nachhallzeiten deutlich unter 0,5 Sekunden.

Diese Nachhallzeiten sind optimal und erlauben einen akustisch unproblematischen Unterricht.

An dieser Stelle wird explizit darauf hingewiesen, dass der hier ermittelte positive Einfluss auf die sich einstellenden Nachhallzeiten durch Personen im Klassenraum, nicht in die Planung mit einfließen darf. Die für die Planung anzusetzenden Nachhallzeiten ergeben sich aus den Vorgaben der DIN 18041 für die unbesetzten Räume.

#### 2.4.7 Hygienische Bewertung der einzusetzenden Absorptionsflächen

Grundsätzlich beinhalten die Produkte von bekannten Herstellern keine organischen Bestandteile, die ein Wachstum von Mikroorganismen unterstützen. Da z. B. Wall-Panels jedoch weniger für den Einsatz in Räumen mit hohen hygienischen Anforderungen entwickelt wurden, wurden sie auch nicht auf entsprechende Normen hin geprüft. Anders ist es mit den Absorptionsflächen für Wand und Decke. Der wesentliche Unterschied zwischen den unterschiedlichen Produkten besteht allerdings größtenteils nur in der Reinigbarkeit der Oberflächen. Hygienisch günstiger sind grundsätzlich geschlossenporige Absorptionsflächen, die abriebfest und mechanisch gut reinigbar sind. Eine geschlossenporige Ausführung der Oberflächen ist allerdings aus der Sicht des Absorptionsvermögens ungünstig. Daher sollte bei der Auswahl der Absorptionsfläche primär darauf geachtet werden, dass diese mit einfachen Mitteln mechanisch gut reinigbar und abriebfest sind.

## 2.5 Messung ausgewählter Beleuchtungssituationen

### 2.5.1 Einleitung/Problemstellung

Damit der Mensch in Räumen die an ihn gestellten Sehaufgaben effektiv und genau durchführen kann, ist eine angemessene und geeignete Beleuchtung nötig. Das kann durch Tageslicht, künstliche Beleuchtung oder eine Kombination aus beidem geschehen. Die Beleuchtung nimmt Einfluss auf das Wohlbefinden, die Behaglichkeit, die Produktivität und das Sicherheitsempfinden des Menschen und wirkt anregend. Besonders Tageslicht fördert diese positiven Eigenschaften. So belegen Studien, dass sich die Lernleistung von Schülern verbessert, wenn der Klassenraum mit ausreichend Tageslicht versorgt wird. Wichtig ist in jedem Fall, eine gleichmäßige Beleuchtung und Blendfreiheit. Ist das nicht gegeben, führt das zu schneller Ermüdung, Kopfschmerzen und Unbehagen.

Da Tageslicht positive Effekte auf den Menschen hat, ist sinnvoll eingesetztes Tageslicht dem künstlichen Licht vorzuziehen. Doch auch der energetische Aspekt der Tageslichtnutzung ist nicht zu vernachlässigen. Ein durchdachtes Gesamtlichtkonzept beeinflusst den Menschen positiv und ist auch aus ökonomischer und ökologischer Sicht zu empfehlen. *„Ziel einer Planung sind eine wesentliche Reduktion der Energiekosten durch Gesamtoptimierung und Verbesserung des visuellen Komforts.“<sup>10</sup>*

### 2.5.2 Durchführung der Messungen

Da Tageslicht nicht zu jedem Zeitpunkt die Aufgabe der Beleuchtung übernehmen kann, muss ein Beleuchtungssystem aus Kunstlicht zur Verfügung stehen. Um zu bewerten, ob die geforderten Sehaufgaben durch das vorhandene Beleuchtungssystem mit künstlichem Licht ausreichend erfüllbar sind, wurden Messungen der Beleuchtungsstärke in ausgewählten Klassenräumen vorgenommen. Bei diesen Räumen handelt es sich um allgemeine Unterrichtsräume bzw. EDV-Unterrichtsräume von weiterführenden Schulen. Tabelle 2-7 fasst zusammen, welche Vorgaben es nach DIN EN 12464 Teil 1<sup>11</sup> und DIN 5035 Teil 7<sup>12</sup> an die Mindestbeleuchtungsstärke in diesen Klassenräumen gibt.

---

<sup>10</sup> VDI 6011-1 (August 2002): Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung – Grundlagen, S. 3

<sup>11</sup> DIN EN 12464-1 (März 2003): Licht und Beleuchtung; Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen (neue Version erscheint in Kürze)

<sup>12</sup> DIN 5035-7 (August 2004): Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

*Tabelle 2-7: Mindestbeleuchtungsstärke für ausgewählte Räume, Aufgaben und Tätigkeiten innerhalb einer Schule (nach DIN EN 12464-1 und DIN 5035-7)*

<b>Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit</b>	<b>Wartungswert der Beleuchtungsstärke</b>
Unterrichtsräume in Grund- und weiterführenden Schulen	300 lx
Unterrichtsräume für Abendklassen und Erwachsenenbildung	500 lx
Wandtafel	500 lx
Übungsräume und Laboratorien	500 lx
Computerübungsräume	300 lx
Datenverarbeitungsschulungsräume	500 lx
Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen	500 lx

Da die Durchführung der Messung der Beleuchtungsstärke in Anlehnung an DIN 5035 Teil 6 erfolgte, wurde zunächst die Bewertungsfläche festgelegt und anschließend ein Messraster mit Messpunkten erstellt. Als Bewertungsfläche wurde hier die Grundfläche des jeweiligen Klassenraumes und als Messhöhe die Pulthöhe von 0,80 m gewählt. Auf diese Weise musste sich die Schulleitung nicht auf bestimmte Positionen der Pulte festlegen, was einer flexiblen Unterrichtsgestaltung entgegen kommt. Anschließend wurde das Messraster auf Basis der Grundrisspläne erstellt. In Abhängigkeit der Grundfläche ergaben sich so 24 bis 42 Messpunkte für die zu untersuchenden Räume.

### **Messablauf**

Wie in der Norm empfohlen, wurden die Messungen der künstlichen Beleuchtung bei natürlicher Dunkelheit durchgeführt. Zusätzlich wurden, wenn vorhanden, Sonnenschutz und Verdunkelungsvorrichtungen genutzt, um die Einwirkung von Fremdlicht so gering wie möglich zu halten.

Einige Unterrichtsräume verfügen über eine separate zuschaltbare Tafelbeleuchtung. In manchen Klassenräumen wurde diese bewusst nicht mit gemessen, um auf diese Weise typische Unterrichtssituationen zu erhalten und um beurteilen zu können, ob hier Einsparpotenzial besteht.

Gemessen wurde mit einem handelsüblichen digitalen Luxmeter der Firma Voltcraft.

Messpunkte waren die Kreuzungspunkte des vorbereiteten Messrasters.



### 2.5.3 Messergebnisse

Zunächst werden in diesem Abschnitt die Messergebnisse dargestellt, anschließend erfolgt die Ermittlung der mittleren Beleuchtungsstärke.

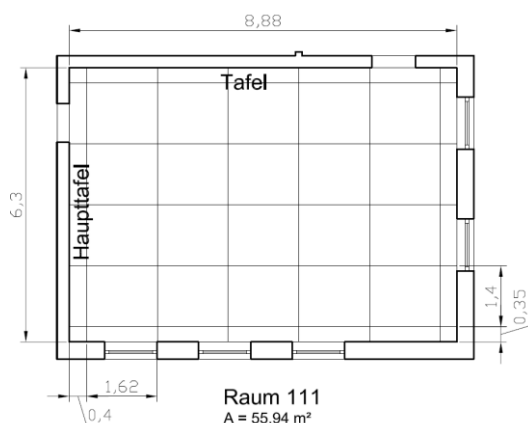
#### Darstellung der Messergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Messpunkte sind für die Übersichtlichkeit nach der Wirtschaftsschule und den Technischen Schulen unterteilt. Für jeden Klassenraum werden das erstellte Messraster, die Messergebnisse und die Darstellung im Diagramm zusammengefasst.

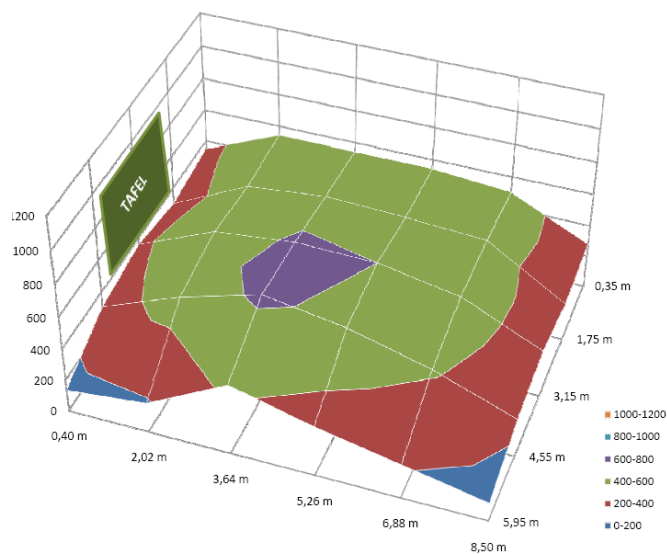
### Wirtschaftsschulen

#### Raum 111

Messraster



#### Darstellung der Beleuchtungsstärken



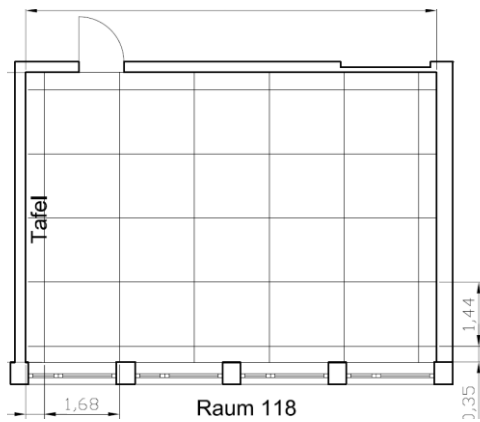
#### Messwerte der Beleuchtungsstärken

Abstand in m	0,40	2,02	3,64	5,26	6,88	8,50
0,35	345	540	540	540	500	276
1,75	300	520	570	550	520	230
3,15	360	560	610	600	510	290
4,55	305	490	630	550	420	240
5,95	135	185	440	315	215	115

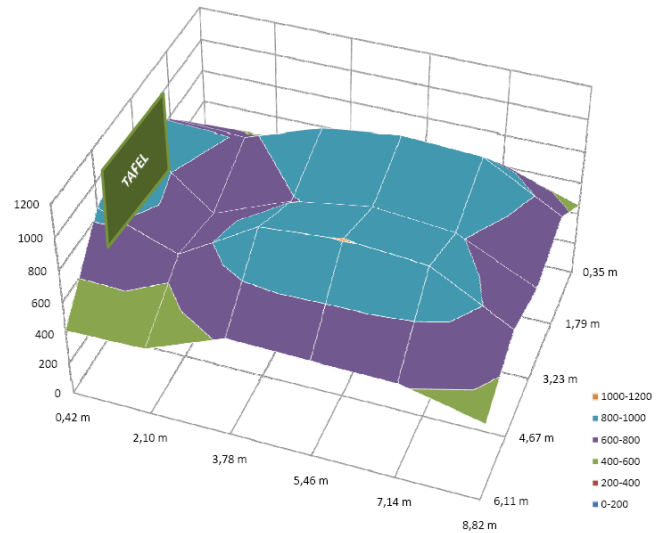
Abbildung 2-50: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 111 der Wirtschaftsschulen

## Raum 118

Messraster



Darstellung der Beleuchtungsstärken



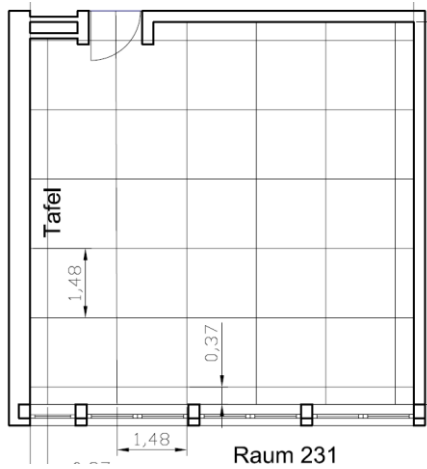
Messwerte der Beleuchtungsstärken

Abstand in m	0,42	2,10	3,78	5,46	7,14	8,82
0,35	340	465	530	590	610	450
1,79	780	770	930	995	970	710
3,23	980	600	790	870	825	595
4,67	850	675	963	1006	968	700
6,11	415	430	630	620	615	500

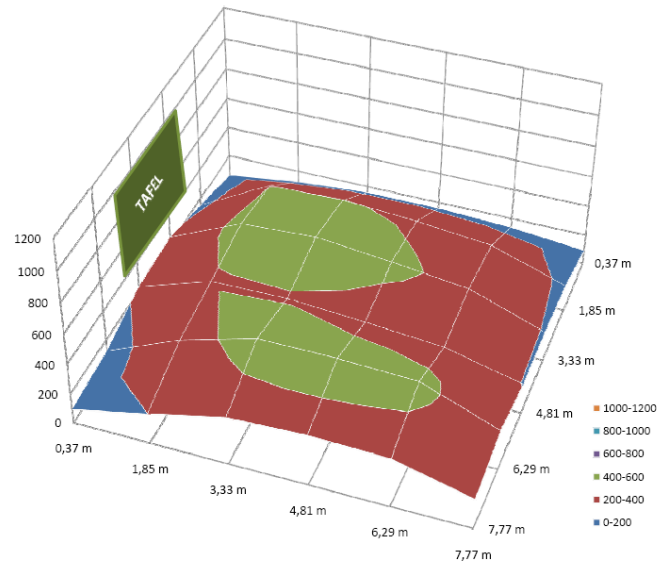
Abbildung 2-51: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 118 der Wirtschaftsschulen

## Raum 231

### Messraster



### Darstellung der Beleuchtungsstärken



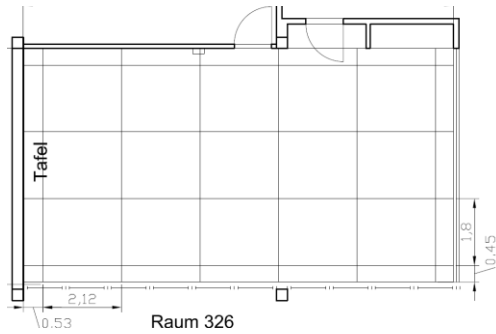
### Messwerte der Beleuchtungsstärken

Abstand in m	0,37	1,85	3,33	4,81	6,29	7,77
0,37	60	120	155	155	135	86
1,85	150	398	410	380	330	170
3,33	240	450	475	425	365	190
4,81	225	385	390	356	315	195
6,29	125	330	470	470	450	260
7,77	90	200	315	335	325	200

Abbildung 2-52: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 231 der Wirtschaftsschulen

## Raum 326

### Messraster



### Messwerte der Beleuchtungsstärken

Abstand in m	0,53	2,65	4,77	6,89	9,01	11,13
0,45	94	262	350	385	310	172
2,25	168	584	793	802	713	260
4,05	165	609	790	716	695	240
5,85	105	334	480	485	445	172

### Darstellung der Beleuchtungsstärken

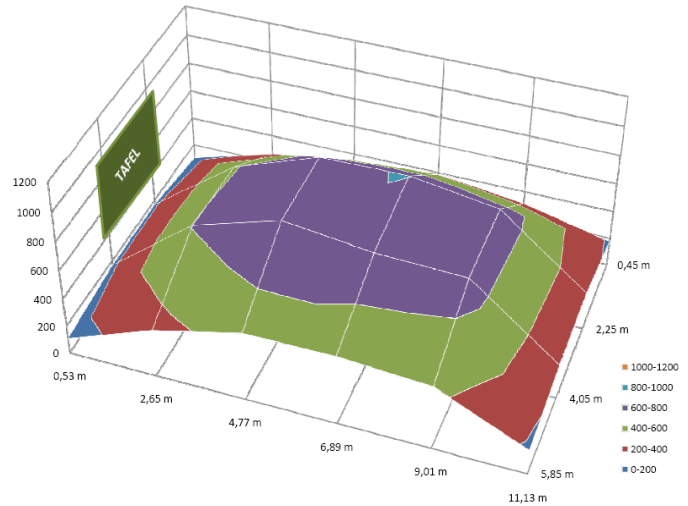


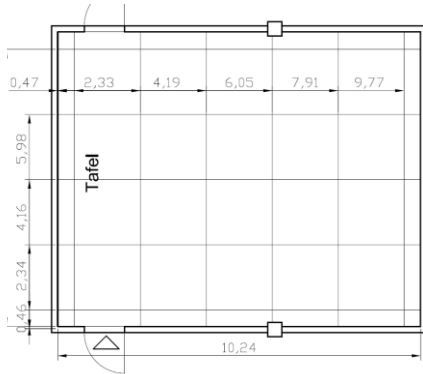
Abbildung 2-53: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 326 der Wirtschaftsschulen

Im Raum 326 befinden sich im Tafelbereich zusätzliche Leuchten. Da diese Leuchten selten genutzt werden, wurde die Messung ohne die zusätzliche Tafelbeleuchtung durchgeführt.

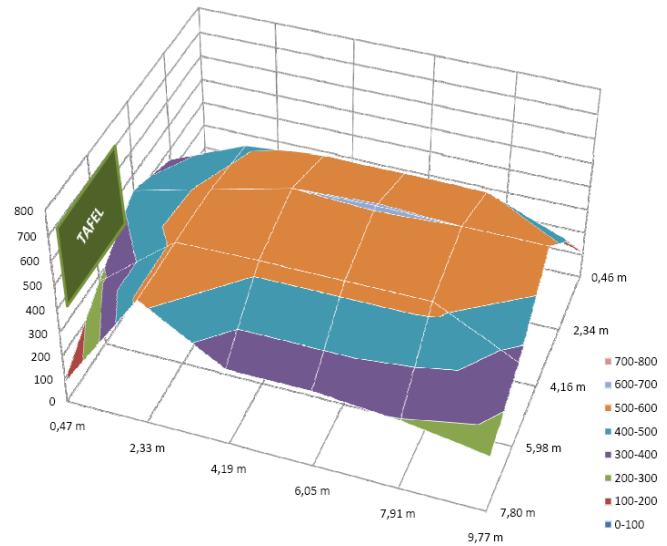
# Technische Schulen

## Raum 017

### Messraster



### Darstellung der Beleuchtungsstärken



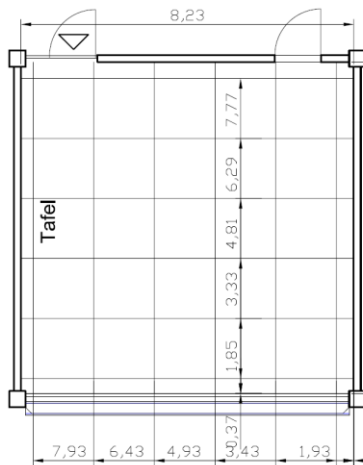
### Messwerte der Beleuchtungsstärken

Abstand in m	0,47	2,33	4,19	6,05	7,91	9,77
0,46	76	127	210	208	202	110
2,34	355	485	520	520	518	391
4,16	438	520	600	605	600	600
5,98	276	525	530	530	530	365
7,80	85	524	325	325	296	241

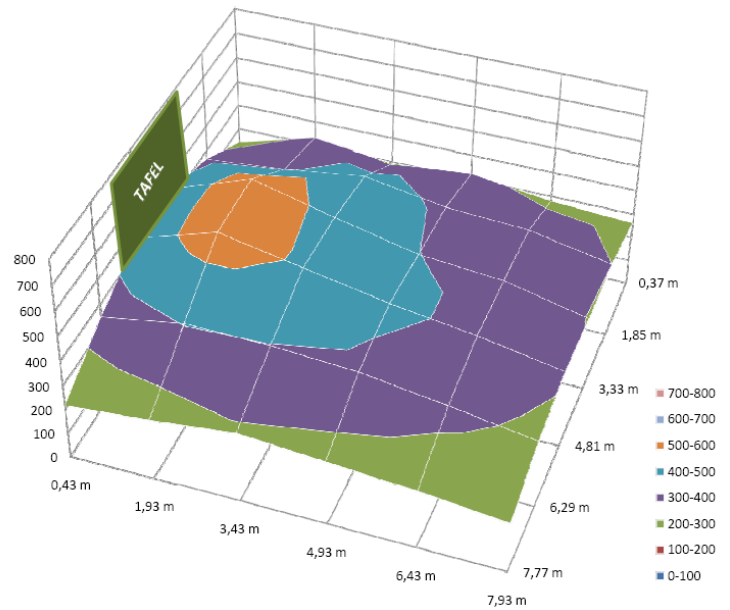
Abbildung 2-54: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 017 der Technischen Schulen

## Raum 029

### Messraster



### Darstellung der Beleuchtungsstärken



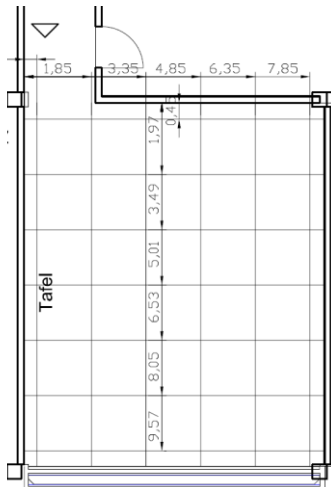
### Messwerte der Beleuchtungsstärken

Abstand in m	0,43	1,93	3,43	4,93	6,43	7,93
0,37	238	328	290	320	278	260
1,85	364	394	438	384	365	300
3,33	443	556	475	401	373	297
4,81	448	550	486	423	374	313
6,29	347	403	398	378	330	276
7,77	217	248	286	263	237	203

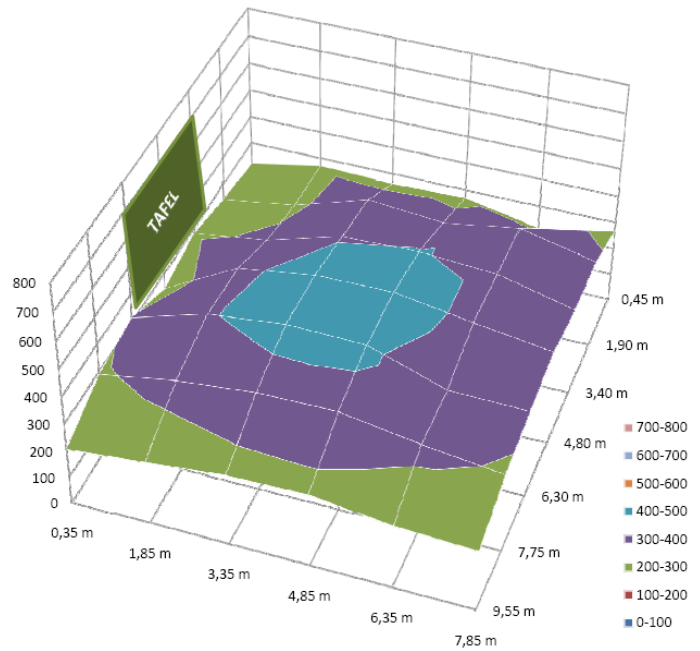
Abbildung 2-55: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 029 der Technischen Schulen

## Raum 038

### Messraster



### Darstellung der Beleuchtungsstärken



### Messwerte der Beleuchtungsstärken

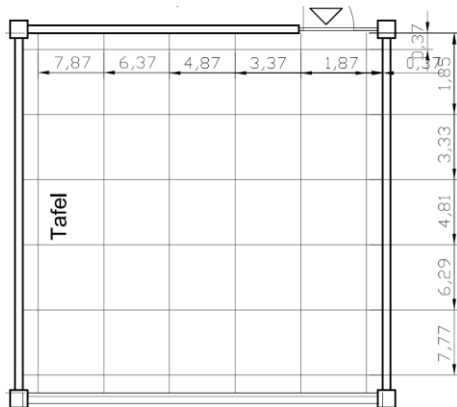
Abstand in m	0,35	1,85	3,35	4,85	6,35	7,85
0,45	217	268	260	268	213	265
1,90	242	282	365	340	383	320
3,40	280	317	395	403	385	318
4,80	242	386	426	430	386	346
6,30	313	395	427	420	325	320
7,75	288	337	366	370	325	290
9,55	206	233	263	270	232	221

Abbildung 2-56: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 038 der Technischen Schulen

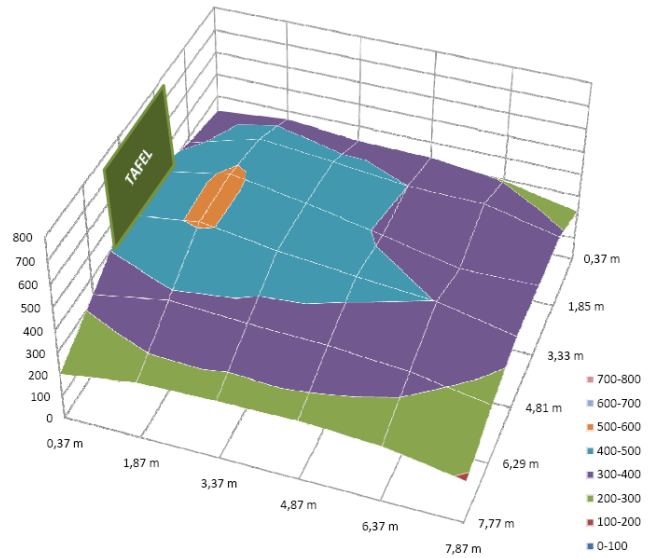
Das im Vorfeld erstellte Messraster für Raum 038 (Abbildung 2-56) wurde vor Ort angepasst, da sich herausstellte, dass der Raum breiter ist. Die Abbildung zeigt das angepasste Messraster.

## Raum 104

### Messraster



### Darstellung der Beleuchtungsstärken



### Messwerte der Beleuchtungsstärken

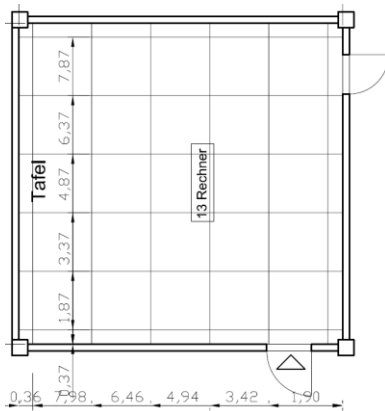
Abstand in m	0,37	1,87	3,37	4,87	6,37	7,87
0,37	330	360	333	327	293	225
1,85	378	468	436	400	396	322
3,33	450	511	456	390	318	324
4,81	462	510	460	428	399	328
6,29	325	384	365	354	327	267
7,77	201	254	262	268	250	191

Abbildung 2-57: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 104 der Technischen Schulen

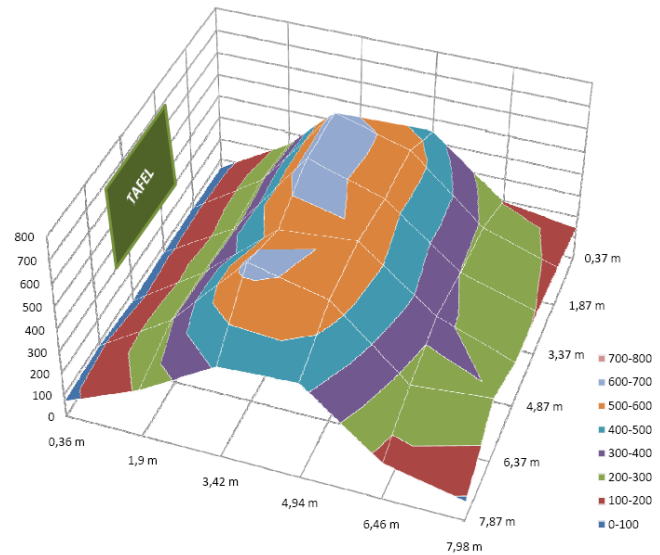


## Raum 126

### Messraster



### Darstellung der Beleuchtungsstärken



### Messwerte der Beleuchtungsstärken

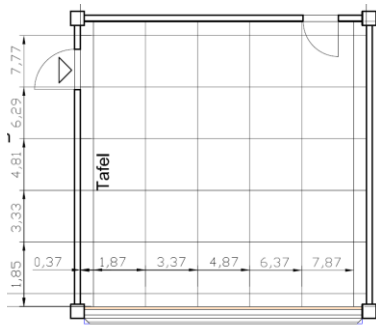
Abstand in m	0,36	1,9	3,42	4,94	6,46	7,98
0,37	58	244	421	446	194	144
1,87	68	276	651	561	284	177
3,37	67	259	654	551	298	197
4,87	58	277	551	581	328	204
6,37	81	288	631	551	261	293
7,87	68	213	411	431	166	89

Abbildung 2-58: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 126 der Technischen Schulen

Im Raum 126 wurden im Bereich der Tafel/Leinwand und im hinteren Bereich des Raumes die Leuchtstoffröhren auf der ganzen Länge selbstständig vom Lehrpersonal entfernt. Insgesamt handelt es sich hierbei um 1/3 der zur Verfügung stehenden Leuchtstoffröhren.

## Raum 136

### Messraster



### Messwerte der Beleuchtungsstärken

Abstand in m	0,37	1,85	3,33	4,81	6,29	7,77
0,37	272	320	308	300	313	278
1,85	358	455	412	403	396	323
3,35	493	509	509	406	400	342
4,85	465	520	450	415	394	320
6,35	343	390	383	361	354	272
7,85	230	263	270	270	264	220

### Darstellung der Beleuchtungsstärken

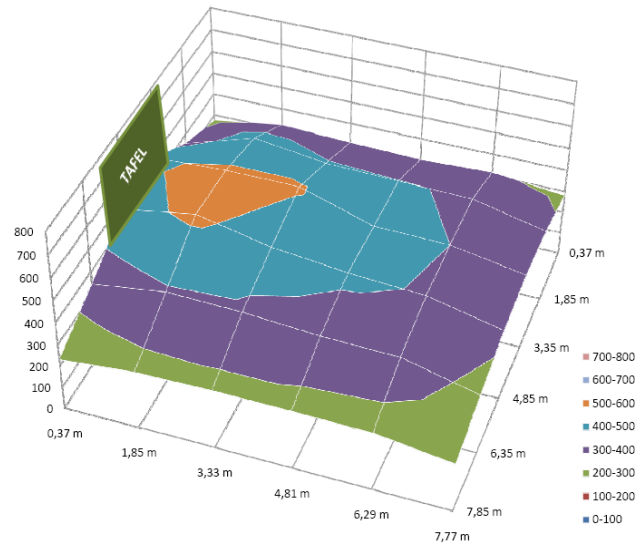


Abbildung 2-59: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 136 der Technischen Schulen

### Ermittlung der mittleren Beleuchtungsstärke

Aus den Messwerten der Beleuchtungsstärke lässt sich für jeden Raum eine mittlere Beleuchtungsstärke nach folgender Formel ermitteln. Damit kann geprüft werden, ob die Fläche, deren Beleuchtungsstärke bewertet wird, im Normbereich liegt oder nicht.

mit

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

$\bar{E}$  mittlere Beleuchtungsstärke der Bewertungsfläche, in lx

2-7

n Anzahl der Messpunkte

i Anzahl der Messpunkte

Für jeden Raum wurde die mittlere Beleuchtungsstärke der gesamten Raumgrundfläche ermittelt. Die ermittelten Werte für die Wirtschaftsschule sind in Tabelle 2-8 zusammengefasst und die für die Technischen Schulen in Tabelle 2-9.

Tabelle 2-8: Ermittelte mittlere Beleuchtungsstärken für die **Wirtschaftsschulen**

Raum	Mittlere Beleuchtungsstärke (lx)
111	413
118	706
231	281
326 (EDV)	422

Tabelle 2-9: Ermittelte mittlere Beleuchtungsstärken für die **Technischen Schulen**

Raum	Mittlere Beleuchtungsstärke (lx)
017	385
029	352
038	318
104	354
126 (EDV)	309
136	361

#### 2.5.4 Zusammenfassung

Die Messungen haben unterschiedliche Ergebnisse geliefert. Bei den untersuchten Räumen handelte es sich um Unterrichtsräume, Unterrichtsräume mit Bildschirmarbeitsplätzen und um einen Fachraum/Labor.

##### Mittlere Beleuchtungsstärke

In drei der insgesamt zehn untersuchten Räume wurde die mittlere erforderliche Beleuchtungsstärke unterschritten. Dazu fasst Tabelle 2-10 alle Ergebnisse der Messungen der mittleren Beleuchtungsstärke zusammen und gibt eine mögliche Begründung für die Unterschreitung an. Dazu wurde betrachtet, worin sich die Beleuchtung der Räume mit Unterschreitung zu den Räumen ohne Unterschreitung unterscheidet.

Tabelle 2-10: Zusammenfassung der Messergebnisse für die mittlere Beleuchtungsstärke mit Begründung für die Unterschreitung

Schule	Raum	Art des Raumes	Mittlere Beleuchtungsstärke (lx)		Mögliche Begründung der Unterschreitung
			Soll	Ist	
Wirtschaftsschulen	111	Unterrichtsraum	300	413	
	118	Unterrichtsraum	300	706	
	231	Unterrichtsraum	300	281	defekte Leuchtstoffröhre
	326	EDV	500	422	Tafelbeleuchtung nicht zu geschaltet
Technische Schulen	017	Unterrichtsraum	300	300	
	029	Unterrichtsraum	300	352	
	038	Unterrichtsraum	300	318	
	104	Unterrichtsraum	300	354	
	126	EDV	500	309	Entfernung von 1/3 der installierten Leuchtstoffröhren
	136	Unterrichtsraum	300	361	

Die Messungen zeigen, dass die mittlere Beleuchtungsstärke in den meisten Unterrichtsräumen mit der vorhandenen Technik sichergestellt ist. Die Unterschreitungen ergeben sich durch Anwendungsfehler, z. B. Entfernung von Leuchtmitteln oder dadurch, dass vorhandene Beleuchtung nicht zugeschaltet wird.

### Tafelbeleuchtung

Im Bereich der Wandtafel gibt die Norm einen Wert von mindestens 500 lx vor. Dieser Wert wurde jedoch in den meisten Fällen, trotz Lampen in dem Bereich, nicht erreicht. Tabelle 2-11 fasst zusammen, ob die Tafelbeleuchtung bei der Messung in Betrieb war und ob der erforderliche Wert von 500 lx erreicht wurde. Zusätzlich ist das Einbaujahr der Lampen erfasst.

Tabelle 2-11: Zusammenfassung der Messergebnisse im Bereich der Wandtafel mit Einbaujahr

Schule	Raum	Tafelbeleuchtung bei Messung		Wert von 500 lx erreicht		Bemerkungen	Einbaujahr der Leuchten
		an	aus	ja	nein		
Wirtschaftsschulen	111	nicht vorhanden			X		1987
	118	X		X			2000
	231	an, aber teilweise defekt			X		1987
	326		X		X	Tafelbeleuchtung ausgeschaltet, da im Schulbetrieb i. d. R. aus	2000
Technische Schulen	17	X			X		1973
	29	X			X		1973
	38	X			X		1973
	104	X			X		1973
	126	Leuchtmittel im Tafelbereich entfernt			X		1973
	136	X			X		1973



### 3 Bestandsaufnahme der weiteren Schulen in Trägerschaft des Bewilligungsempfängers

#### 3.1 Erfassung der Schulen

##### 3.1.1 Erfassung der Bestandsdaten der Gebäude:

Insgesamt wurden 9 Schulen in Trägerschaft des Kreises Steinfurt erfasst. Acht von ihnen werden aufgrund ähnlich langer Betrachtungszeiträume in Abbildung 3-1 verglichen. Dieser Vergleich zeigt den Trend, dass der Energieverbrauch der einzelnen Liegenschaften abgenommen hat. Das lässt sich unter anderem darauf zurück führen, dass die Kosten für Energie in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen sind und dadurch das Bewusstsein der Betreiber/Verbraucher zum Energiesparen geweckt wurde.

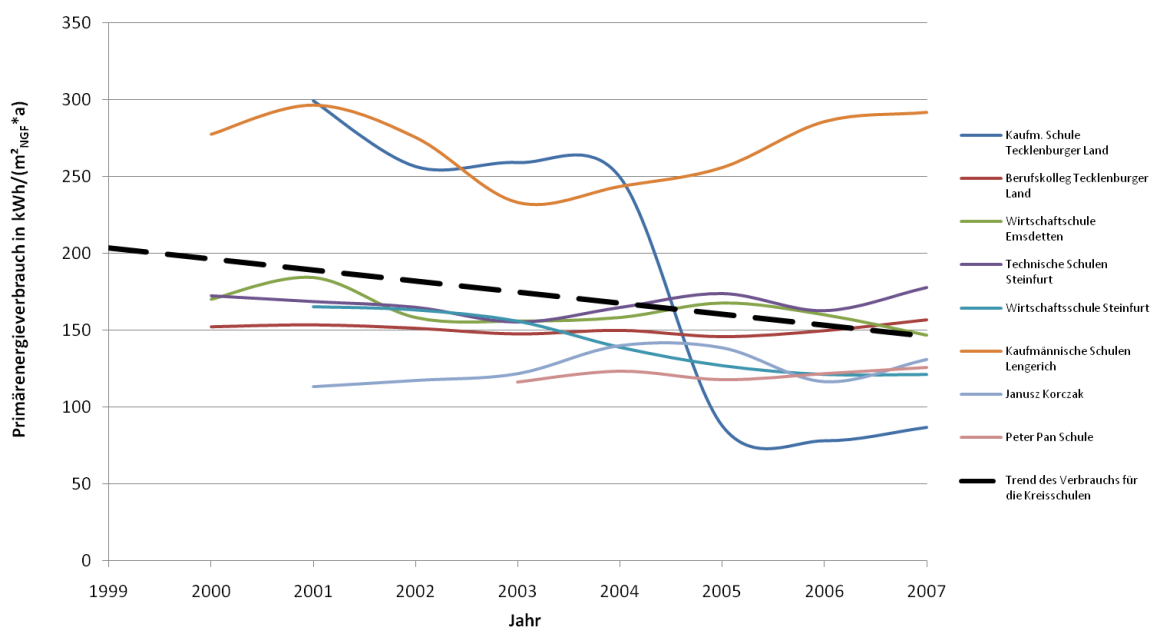


Abbildung 3-1: Primärenergieverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>·a) der Kreisschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS)

Eine weitere Ursache ist in der mehrmaligen Novellierung der Wärmeschutzverordnung und ab 2002 der EnEV zusehen.

Durch den Vergleich der Kurvenverläufe lässt sich nur der allgemeine Trend erkennen. Genauere Aussagen über einzelne Gebäude und die installierte Anlagentechnik können auf diese Weise nicht getroffen werden. So lassen sich anhand der steigenden und fallenden Kurvenverläufe folgende Grundsätzlichkeiten nicht beantworten, ohne genauere Hintergründe zu kennen:

- Erfolgte eine Grundsanierung des Gebäudes oder wurden nur Teilbereiche saniert (Fenster, Dach, Fassade etc.)
- Wurde eine GLT (Gebäudeleittechnik) installiert oder saniert
- Erfolgte der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage
- Gibt es ein Energiemanagement und werden die Energiedaten gesammelt, ausgewertet und bei Bedarf gehandelt

Zur Beantwortung dieser Fragen ist für jedes Gebäude eine individuelle Auswertung zu erstellen.

### Individuelle Betrachtung der Kaufmännischen Schulen in Ibbenbüren

Beispielhaft wurde eine individuelle Betrachtung der Verbräuche der „Kaufmännische Schule in Ibbenbüren“ durchgeführt. Es ist sehr gut zu erkennen, dass nach der Grundsanierung und der Umstellung von Wärmespeicherstrom auf Fernwärme eine Reduzierung sowohl der Verbräuche als auch der Kosten eingetreten ist. Veränderungen werden im Gebäudemanagement erfasst, analysiert und bei großen Abweichungen sofort behoben.

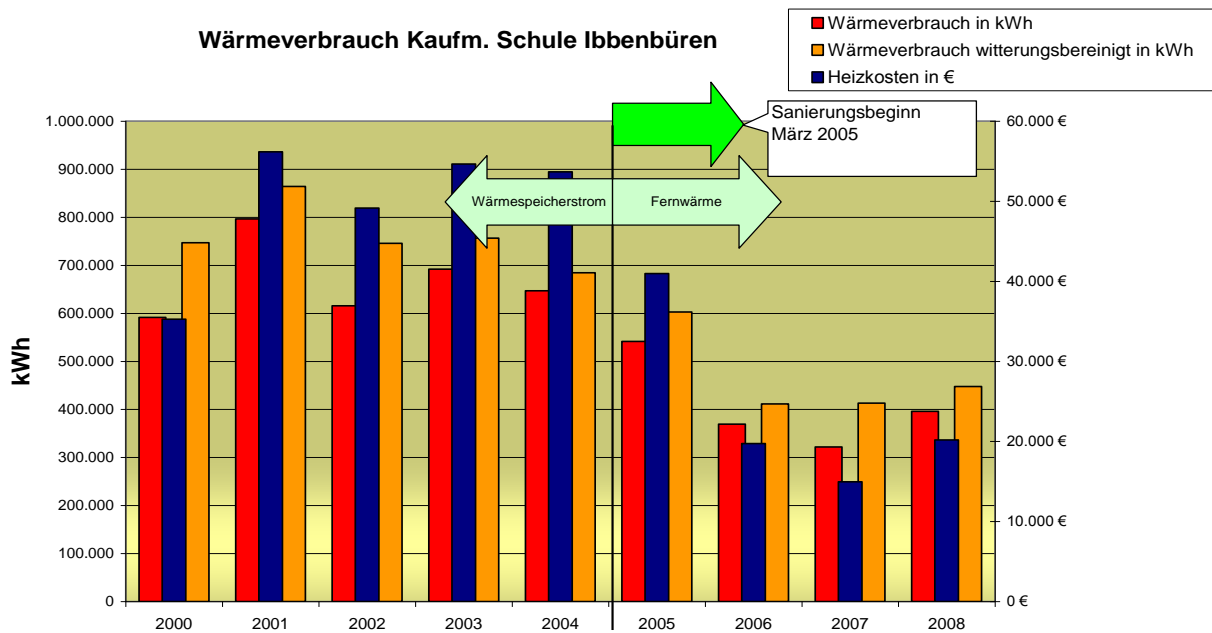


Abbildung 3-2: Betrachtung des Wärmeverbrauchs der Kaufmännischen Schulen Ibbenbüren, vor der Sanierung und nach der Sanierung mit Betreuung durch das Gebäudemanagement

### 3.1.2 Fazit

Die kontinuierliche Erhebung der Energiedaten und deren Auswertung sind für viele Kommunen nicht möglich. Die Gründe dafür sind vielschichtig, die wichtigsten sind:

- Zu geringe Personalkapazitäten in den Verwaltungen
- Trennung zwischen kaufmännischem und technischem Gebäudemanagement
- Die Erfordernis eines ganzheitlichen Energiemanagements wird bei den Verwaltungsspitzen nicht erkannt



## **3.2 Erfassung des Sanierungszustandes**

Für jede erfasste Schule wurde ein Gebäudesteckbrief erstellt. Daraus lässt sich der Sanierungszustand unter Punkt 3 „Beschreibung durchgeführter Sanierungen“ ablesen. Als Beispiel folgt hier in Abbildung 3-3 der Gebäudesteckbrief der bereits schon betrachteten Kaufmännischen Schulen Ibbenbüren. Gebäudesteckbriefe aller erfassten Schulen befinden sich im Anhang A 2.

## Übersicht der Kaufmännische Schulen Ibbenbüren

Stand: Juni 08

### 1. Gebäudekennung

Bezeichnung:	Kaufmännische Schulen Ibbenbüren
Baujahr:	1967
Gebäudeteil:	Hochhaus und Nebengebäude
Anschrift:	Wilhemstraße 4 - 6 49477 Ibbenbüren



### 2. Eigentümer/Flächen

Eigentümer:	Kreis Steinfurt	
Änderung der BGF im Jahr:		
	<b>vorher</b>	<b>aktuell</b>
Bruttogrundfläche (BGF):	9923,0 m <sup>2</sup>	9923,0 m <sup>2</sup>
Nettogrundfläche (NGF):	8930,7 m <sup>2</sup>	8930,7 m <sup>2</sup>



### 3. Beschreibung durchgeführter Sanierungen

Erneuerung der Fenster Fassade Nord	2005
Fertigstellung 5. Etage Heizung und abgehängte Decken	2005
Erneuerung der Fenster Fassade West und Ost 3. - 9. Etage	2005
Erneuerung Haustechnik und abgehängte Decken	2005
Trockenbauarbeiten Einbau Decken Flure	2005
Erneuerung Fassade Süd	2006
Nebengebäude: Erneuerung aller Fensterelemente und Heizungen	2006

### 4. Beschreibung von Nutzungsänderungen


### 5. Kennzahlen

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Schülerzahl		1273	1360	1311	1339	1349	1245	1277	1255
Wärme Kennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>		76,4	89,8	74,6	76,2	73,5	46,2	39,3	43,0
Strom Kennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>			10,0	10,9	10,2	9,6	10,5	10,1	11,4
Wasserkennzahl L/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>				44,1	48,4	46,7	53,2	49,6	48,1
Energieträger		Strom	Strom	Strom	Strom	Strom	Kohle (S)	Kohle (S)	Kohle (S)
Wärmeerzeuger	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom	FS	FS	FS
PE Wärmebereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*		229,2	269,3	223,9	228,7	220,6	56,5	48,0	52,6
PE Strombereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*			30,0	32,7	30,5	28,9	31,5	30,2	34,3
Primärenergieeinsatz gesamt in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*			299,3	256,6	259,2	249,6	87,9	78,2	86,9

### 6. Diagramm

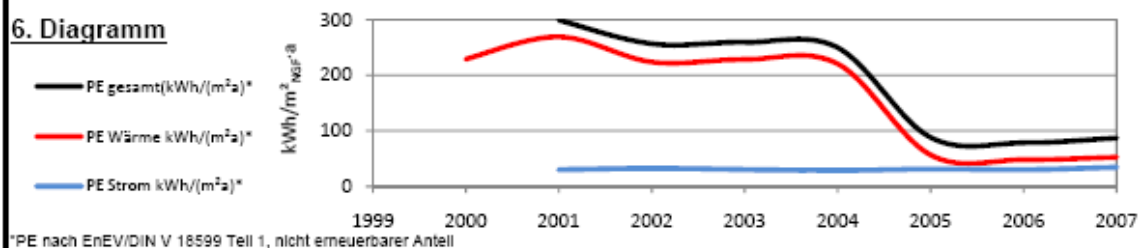


Abbildung 3-3: Gebäudesteckbrief der Kaufmännischen Schulen Ibbenbüren, (Juni 08)

### **3.3 Bewertung des Sanierungszustandes der Schulen**

#### **3.3.1 Berufskolleg Tecklenburger Land des Kreises Steinfurt in Ibbenbüren**

##### **3.3.1.1 Allgemein**

Das Berufskolleg Tecklenburger Land in Ibbenbüren liegt im Zentrum von Ibbenbüren an der Wilhelmstr. 8, gegenüber dem Bahnhof.

Der 6 geschossige Altbau wurde 1957 errichtet, während der Neubau 1976 erfolgte. Mit ca. 73.000 m<sup>3</sup> umbautem Raum ist es das größte Berufskolleg des Kreises Steinfurt. Die Nettogrundfläche (NGF) beträgt 19.717 m<sup>2</sup>. Die Schule wird von ca. 2.200 Schülern besucht.

Der sogenannte Altbaubereich wurde in Stahlbeton erstellt. Die geschlossenen Fassadenflächen erhielten als Ausfachung Verblendmauerwerk. Die Betonstützen sind ungedämmt.

Im Jahre 1978 erhielt der Altbau neue Fenster. Die alten Holzfenster wurden gegen neue isolierverglaste Aluminiumfenster ausgetauscht.

Die geschlossenen Fassadenbereiche des Neubaus bestehen aus vorgehängten großformatigen Fassadenplatten mit einer Waschbetonoberfläche aus Carrara – Marmor. Die Verankerungen bestehen aus nicht rostendem Stahl.

In den vergangenen Jahren wurden größere veraltete Unterrichtsbereiche durch erhebliche Umbaumaßnahmen den modernen Unterrichtsformen angepasst.



*Abbildung 3-4: Altbau des Berufskollegs Tecklenburger Land in Ibbenbüren aus dem Jahr 1957*



*Abbildung 3-5: Neubau des Berufskollegs Tecklenburger Land in Ibbenbüren aus dem Jahr 1976*

### **3.3.1.2 Baulicher Zustand des Flachdaches**

Die Dachflächen des 1976 erbauten Gebäudetraktes wurden als Bitumendach mit einer 8 cm Dämmung und einem Kiesbelag als Flachdach ausgeführt.

In der Zwischenzeit zeigen die Dachflächen jedoch aufgrund des Alters Verschleißerscheinungen. Undichtigkeiten treten immer häufiger auf und erfordern einen erhöhten Reparaturaufwand.

### **Beurteilung des Flachdaches durch das Fachamt**

Die Dachfläche des 1957 errichteten Altbaus wurde 1998 saniert. Nach nunmehr 30 Jahren nehmen die Reparaturarbeiten an den Dachflächen des 1976 erbauten Gebäudes erhebliche finanzielle Mittel in Anspruch. Die Suche nach undichten Stellen ist schwierig, aufwendig und lohnintensiv. Folgeschäden aus Wassereintritt und Durchfeuchtung im Innern des Gebäudes sind erheblich. Eine Anpassung der Wärmedämmung an die Energieeinsparverordnung (EnEV) ist unumgänglich.

### **Fazit zum Zustand des Flachdaches**

Ständige kleinere Undichtigkeiten der Dachflächen des 1976 fertiggestellten Gebäudes erfordern kurzfristig eine Sanierung. Ebenso ist die Verstärkung der Wärmedämmung aus Energieeinspargründen notwendig.

#### **3.3.1.3 Zustand der Fenster**

Die Aluminiumrahmen – dunkelbraun eloxiert - sind optisch in einem verwitterten, nicht ansprechenden Zustand.

Eine starke abrasive Reinigung der Eloxalflächen und anschließender Konservierung wäre für den Außenbereich durchaus noch denkbar und erfolgversprechend.

Diese Reinigung würde für innere Flächen aber kaum einen zufriedenstellenden Erfolg bringen. In vielen Bereichen der Glasleistenübergänge zum Glasfalz hat Korrosion die Eloxalschicht bereits zerstört.

Reparatur- und Austauschverglasungen sind in den vergangenen Jahren immer wieder ausgeführt worden. Es werden in den nächsten Jahren aber verstärkt Glasschäden zu erwarten sein, da die Eindichtung und Versiegelung der Gläser altersbedingte Risse aufweisen.

Die Dreh-Kipp-Fensterbeschläge zeigen deutliche Gebrauchsspuren. Über die Kippstellung dieser für den Schulbau außergewöhnlich großen Dreh-Kipp-Flügel müssen die Klassenräume belüftet werden.

Bei starkem Winddruck auf die Fassade empfiehlt es sich, zum Schließen der Fenster die zweite Hand mit einzusetzen. Sonst kommt es schnell zu Fehlbetätigungen, der Beschlag verklemmt, Beschlagteile verformen sich. Bei verformten Beschlagteilen läuft der Beschlag schwer, bis es irgendwann zu Materialbruch kommt.

Da nicht alle Originalersatzteile der eingebauten „Schüco“-Beschläge noch lieferbar sind, werden Beschläge notrepariert. Wo auch das nicht mehr möglich ist, werden nicht dringend benötigte Flügel „festgesetzt“ und die Beschlagteile in anderen wichtigen Bereichen wieder eingebaut.

Die Abdichtungen der Fenster zum Bauwerk – besonders die oberen und seitlichen Bewegungsfugen – sind vielfach gerissen, sodass es hier zu Zugserscheinungen und entsprechenden Wärmeverlusten kommt.

### **Beurteilung der Fenster durch das Fachamt**

Diese isolierverglasten, wärme gedämmten Fenster sind noch funktionstüchtig, bringen aber mit zunehmendem Alter immer mehr Probleme in Bezug auf:

### **Verglasung**

durch die mangelhafte Glasabdichtung kommt es vermehrt zu Glasschäden. Damit verbunden sind die Korrosionserscheinungen innen an den Glasleisten. Auch Austauschgläser sind bald wieder schadhafte, da die Entwässerungs- und Belüftungsöffnungen nicht mehr funktionieren.

### **Beschläge**

Ersatzbeschläge stehen nur noch beschränkt zur Verfügung, in einigen Jahren gar nicht mehr.

### **Funktionssicherheit**

Das ungünstige Fensterformat

- großer Flügelrahmen
- hoher Fenstergriff durch verglastes Unterlicht

führt bei den „angeschlagenen“ Beschlagteilen zwangsläufig zu weiteren Schäden.

Reparaturen an den Dreh-Kippbeschlägen der Fenster und Auswechseln der Isolierverglasungen werden aber in den nächsten Jahren steigende Kosten verursachen, sodass hier ein Austausch der Fenster durch zeitgemäße wärme gedämmte Konstruktionen mit entsprechender Isolierverglasung zu empfehlen ist.

Anstelle des festverglasten Unterlichtes sollten die Fenster Kippoberlichter erhalten. So kann die Belüftung der Klassenräume optimal in Deckenhöhe erfolgen.

### **Fazit zum Zustand der Fenster**

Ein Austausch der Fenster durch zeitgemäße wärme gedämmte Konstruktionen mit entsprechender Isolierverglasung ist in den nächsten Jahren erforderlich.

Die Türelemente sind in einem stark abgenutzten aber funktionstüchtigen Zustand. Der festgestellte „Lochfraß“ an den Sockelprofilen einiger Türen im „Neubaubereich“ und die ausgebrochenen Türbeschläge im „Altbaubereich“ sollten jedoch Anlass sein, die Türen in nächster Zeit durch zeitgemäße wärme gedämmte Konstruktionen mit entsprechender Isolierverglasung auszutauschen.

### **3.3.1.4 Zustand der Haustechnik**

Wie im oberen „Allgemeinen“ Teil schon beschrieben, wurde nach Fertigstellung des Neubaus im Jahre 1978 damit begonnen, den Altbau zu sanieren.

Es begann 1978 mit der Fenstersanierung und im Jahr 1981 schloss sich die Sanierung der haustechnischen Gewerke an.

Saniert wurden das komplette Trink- und Abwassernetz, die Heizflächen in den Klassen und Flurbereichen und die komplette Elektroinstallation, inklusive der Beleuchtungskörper.

1996 wurden dann aufgrund von Energieeinsparmaßnahmen Thermostatventile an den Heizkörpern und drehzahlgeregelte Pumpen in die Heizkreise montiert.

Im Jahre 2002 wurden im Rahmen der Gebäudeunterhaltung die WC-Bereiche vom 1.OG – 5.OG saniert. Weitere Sanierungen an den technischen Anlagen erfolgten nicht.

Im Neubau haben ebenfalls 1996 eine Erneuerung der Thermostatventile an den Heizkörpern und eine Erneuerung der Hauptverteilung mit drehzahlgeregelten Pumpen stattgefunden.

Bei dieser Maßnahme wurde die Heizungsanlage inklusive aller Pumpen auf die Gebäudeleittechnik geschaltet.

Weiterhin ist im Rahmen der Asbestsanierung 1998 das Luftkanalsystem der Lüftungsgeräte erneuert worden. Im Jahre 2002 und 2004 schloss sich dann eine Umgestaltung der naturwissenschaftlichen Bereiche an. Hier wurden alle neu entstandenen Räume elektrotechnisch mit einem Bussystem ausgestattet, die Funktionen wie tageslichtabhängige Beleuchtung und Zentralschaltungen übernimmt. Des Weiteren ist in diesen Bereichen die Beleuchtung erneuert worden.

### **Beurteilung der Haustechnik durch das Fachamt**

Alle technischen Bereiche der Schule, sowohl im Altbau als auch im Neubau sind in einem funktionstüchtigen Zustand. Doch aufgrund des Alters und der Benutzungsdauer der technischen Anlagen ist eine Optimierung und Erneuerung empfehlenswert.

Dieses betrifft vor allem die aus der Bauzeit stammenden und mittlerweile über 30 Jahre alten Lüftungsanlagen. Ein weiterer Bereich ist die Fernwärmeübergabestation und die sich anschließende Heizungshauptverteilung im Altbau aus dem Jahre 1958.

Aus der elektrotechnischen Sicht ist die Optimierung der Beleuchtung in den Klassen, den Fluren und den Aufenthaltsbereichen dringend, auch schon aus Energieeinspargründen zu empfehlen.

### **Fazit zum Zustand der Haustechnik**

Alle acht in Betrieb befindlichen Lüftungsanlagen sind einer genauen Funktionskontrolle zu unterziehen, gegebenenfalls zu zentralisieren und zu erneuern. Hierbei ist die Aufschaltung auf die Gebäudeleittechnik zur besseren Kontrolle durch den Hausmeister zwingend erforderlich.

Das gesamte Rohrleitungsnetz, sowohl im Sanitär- als auch im Heizungsbereich, ist auf Korrosion hin zu überprüfen und teilweise zu erneuern. Die bestehende Fernwärmeübergabestation, inklusive Hauptverteilung im Altbau, ist abgängig und muss erneuert werden.

Die Beleuchtung in den Klassen und Fluren ist gegen eine tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung auszutauschen. Hierbei sind ebenfalls die alten Beleuchtungskörper gegen stromsparende Beleuchtungskörper mit eingebauten EVGs zu ersetzen.

### 3.3.1.5 Sanierungskosten

#### Erforderlicher Sanierungsaufwand für

Dacherneuerung	650.000 €
Erneuerung der Fenster	2.100.000 €
Sanierung der Haustechnik	880.000 €
<b>Gesamtsanierungsaufwand</b>	<b><u>3.630.000 €</u></b>

### 3.3.1.6 Zusammenfassung

Die Schulgebäude des Kreises Steinfurt wurden im Rahmen der Gebäudeunterhaltung in den vergangenen Jahren regelmäßig instand gehalten und geben insgesamt einen gepflegten Eindruck wieder. Dennoch sind aufgrund des zunehmenden Alters der Gebäude Sanierungen, in dem Umfang wie zurzeit an den Kaufmännischen Schulen in Ibbenbüren, notwendig.

Fensterbeschläge zeigen in allen Gebäuden akute Verschleißerscheinungen und lassen sich nur noch aufwendig reparieren. Hinzu kommt, dass die Fensterprofile und die Scheiben bei Weitem nicht mehr die Anforderungen an die aktuellen Wärmeschutzbestimmungen erfüllen.

Überwiegend aus der Bauzeit der Gebäude bestehen ebenfalls die Dachflächen mit geringer Wärmedämmung.

Die Berechnungen zur Anpassung der Wärmedämmung an die EnEV zeigen, dass in erheblichem Maße Energie eingespart werden kann und damit auch ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz möglich ist.

Die nachfolgende Abbildung 3-6 zeigt, dass durch die notwendigen Sanierungsmaßnahmen, der Energieverbrauch der Schulgebäude bis zu 40 % reduziert werden kann. Die Emissionen lassen sich im gleichen Zeitraum um ca. 800 t/a verringern.

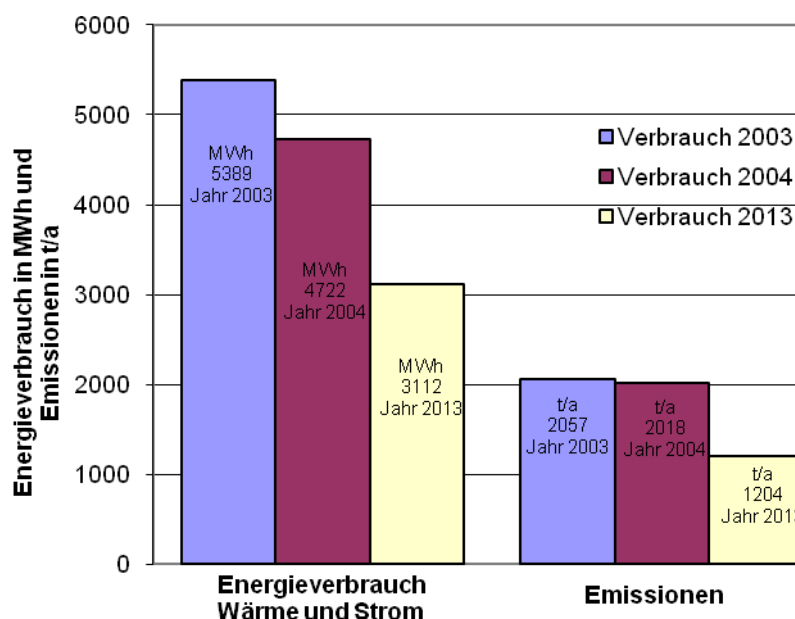


Abbildung 3-6: Darstellung des Energieverbrauchs und der Emissionen durch Sanierungen



## 3.3.2 Kaufmännische Schulen Tecklenburger Land in Lengerich

### 3.3.2.1 Allgemein

Die Kaufmännische Schule wurden 1968 in Lengerich an der Bahnhofstraße in Verbindung mit einer für sich freistehenden Gymnastikhalle und Hausmeisterwohnung errichtet. Durch die Errichtung der kreiseigenen 2-fach Sporthalle in unmittelbarer Nachbarschaft im Jahr 1994 wurde die Gymnastikhalle nicht mehr benötigt und zu einem technischen Zentrum für die beruflichen Schulen umgebaut. Die Nutzfläche der Schule beträgt 4.730 m<sup>2</sup> und die der Sporthalle 1.615 m<sup>2</sup>. Die Schule wird von ca. 240 Schülern besucht.

Das Tragsystem des Schulgebäudes wurde in einer Stahlbetonskelett-Konstruktion als Rasterbau erstellt. Die Wände zwischen dem Stützensystem sind mit Sichtmauerwerk ausgeführt. Der gesamte Gebäudekomplex ist mit einem Flachdach als Bitumendach mit Bekiesung ausgestattet.

Die bestehende Aluminium-Fensterkonstruktion ist seit Errichtung des Gebäudes in zwei Teilbereichen erneuert worden. Ein Großteil der Aluminium-Fassadenelemente befinden sich jedoch noch unverändert im Originalzustand.



Abbildung 3-7: Kaufmännische Schulen Tecklenburger Land in Lengerich, Baujahr 1968

### 3.3.2.2 Baulicher Zustand des Flachdaches

Der Zustand des bestehenden Flachdaches des gesamten Gebäudekomplexes wurde einer umfangreichen und notwendigen Untersuchung unterzogen, um eine verlässliche Aussage über den bestehenden Schichtaufbau und deren Materialauswahl zu erhalten.

Es bleibt festzustellen, dass es sich größtenteils um das ursprüngliche und erste Flachdach aus der Bauzeit von 1968 handelt und in den nachfolgenden Jahrzehnten lediglich in Teilbereichen Neuverlegungen und Reparaturarbeiten an den Kunststoff- und Bitumendeckschichten, Rauch- und Wärmeabzug Anlagen (RWA) und Lichtkuppeln ausgeführt wurden. Bei der Tragkonstruktion handelt es sich um eine Beton-Rippendecke.

### **Beurteilung des Flachdaches durch das Fachamt**

Die Altersstruktur des Flachdaches und augenscheinliche Mängel wie z. B. Feuchtigkeitsschäden in der abgehängten Decke, sowie die Beobachtung der Flächen erfordern zumindest an einigen Gebäudeteilen, einen ständigen sich wiederholenden Reparaturaufwand.

Die vorhandene Wärmedämmung des Flachdaches aus einer Korkschicht ist ebenfalls nach heutigen technischen Anforderungen unzureichend.

### **Fazit zum Zustand des Flachdaches**

Aufgrund der festgestellten Mängel ist eine Sanierung kurzfristig erforderlich. Dabei wird eine Anpassung der Wärmedämmung an die EnEV zwingend notwendig sein.

### **3.3.2.3 Zustand der Fenster**

Wie auch bei dem zuvor untersuchten Sanierungsbedarf des Daches wurden ebenfalls die Fenster- und Fassadenelemente aus Aluminium einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Hier bleibt festzuhalten, dass in den Jahren 1997, 1998 und 2001 bereits ein Austausch von Elementen sowohl in den Klassen wie auch in den Flurbereichen erfolgt ist.

Die Fassaden- und Windfangteile im Verwaltungstrakt und in der Aula sowie der Hausmeisterwohnung im Technologiezentrum befinden sich noch im Originalzustand und wurden lediglich in Teilbereichen 1999 neu lackiert und versiegelt.

In den letzten Jahren traten verstärkt Probleme mit den Beschlägen der Dreh-Kippfenster auf. Original Beschlagteile sind nicht mehr lieferbar.

### **Beurteilung der Fenster durch das Fachamt**

#### **Elementtyp 1: Fenster im Verwaltungsbereich mit Isolierverglasung**

Nach Angaben des Systemlieferanten der „Alsec F 1“, beträgt der U-Wert der Gesamtkonstruktion inkl. Isolierverglasung  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Fenster der heutigen Bauweise werden mit einem U-Wert  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  hergestellt und erbringen somit einen mehr als doppelt so guten Wärmeschutz.

Die Aluminiumrahmen wurden im Jahr 1999 angestrichen.

Die Dreh-Kipp-Fensterbeschläge zeigen deutliche Gebrauchsspuren. Da Originalersatzteile der eingebauten „Roto“-Beschläge mit aufliegenden Umlenkhebeln nicht mehr lieferbar sind, werden Beschläge mit erhöhtem Arbeitsaufwand notrepariert.

Die Fensterdichtungen sind in einem verbrauchten und schlechten Zustand. Auch diese Dichtungen können heute nicht mehr ersetzt werden. Das führt natürlich zu Zugscheinungen im Bereich der Öffnungsflügel.

Die Verglasungen sind optisch in Ordnung, die Glasversiegelungen außen wurden 1999 erneuert und sind in einem funktionsfähigen guten Zustand.

Die Abdichtungen der Fenster zum Bauwerk wurden ebenfalls vor Jahren überarbeitet.

### **Elementtyp 2:** Pausenhalle, geschosshoch mit Isolierverglasung

Die großflächigen und geschosshohen Eingangsfassaden mit Isolierverglasung sind aus Sicht des Wärmeschutzes, wie die Fensterbänder des Elementtyps 1 zu beurteilen, da sie die gleiche Grundkonstruktion mit einem U-Wert von ca.  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  aufweisen.

Auch diese Aluminiumrahmen wurden im Jahr 1999 angestrichen und sind optisch in einem guten Zustand.

Die Abdichtungen innerhalb der Konstruktion zum Glas und der Elemente zum Bauwerk sind in einem guten gebrauchsfähigen Zustand.

Die Eingangstüranlagen in diesen Fassaden werden getrennt behandelt.

### **Elementtyp 3:** Türelemente / Eingangsbereiche mit Einfachverglasung

Alle Eingangstüranlagen, ob einfach verglast oder mit Aluminium-Blechen belegt, bestehen aus ungedämmten Stahl-Grundkonstruktionen und haben somit auch große Wärmeverluste.

Die Eingangstüranlagen sind durch den jahrelangen Gebrauch, trotz eines vor wenigen Jahren aufgetragenen Anstrichs, in einem stark abgenutzten und optischen verschrammten Zustand.

Der technische Zustand ist als nicht mehr tragbar für einen Schulgebrauch zu bewerten.

Die Türen im Schlagregenbereich sind im Kern durchgerostet, die Türfalze sind durch starke Rostansätze aufgequollen. Das hat zur Folge, dass Türbänder ausreißen und Türen klemmen.

Aber auch die Eingangstüren im überdachten Bereich sind weitestgehend nicht mehr funktionstüchtig, die Beschläge sind verbraucht und abgenutzt.

Da diese Türanlagen nicht mehr die Anforderungen an Türen in Rettungswegen erfüllen, sollte hier umgehend ein Austausch der Türelemente durchgeführt werden.

### **Elementtyp 4:** Fenster- und Türelemente, Oberlichter mit Einfachverglasung im Gebäude Gymnastikhalle sowie WC-Anlagen

Die Haupteingangstür wurde bereits erneuert und ist im Neuzustand. Die Fenster und Türen zum Fahrradkeller sind funktionstüchtig und erfüllen ihren Zweck.

Die Oberlichtfenster sind in einem verbrauchten Zustand. Glasfalze sind in den unteren Bereichen der Glasleistenansätze korrodiert. Durch die Nutzung u. a. auch als Duschräume hat die höhere Luftfeuchtigkeit aus dem Raum einen Weg in die Glasfalze der Fenster gefunden und diese Rückstände hervorgerufen.

Dadurch sind dann auch die Isolierglasscheiben belastet und beschädigt worden.

Die Fenster im Bereich der Gymnastikhalle wurden in den zurückliegenden Jahren offensichtlich wesentlich stärker beansprucht und belastet, als die zuvor bewerteten Fensteranlagen.

Die Fenster im WC-Bereich haben stabil aufliegende Kippbeschläge und sind ausnahmslos in einem guten gebrauchsfähigen Zustand. Auch die Türanlagen in diesem Bereich sind optisch und technisch ohne Beanstandung.

### **Fazit zum Zustand der Fenster**

#### **Elementtyp 1:** Fenster im Verwaltungsbereich mit Isolierverglasung

Die Fensterbänder in wärmegegedämmter Ausführung und Isolierverglasung sind optisch einwandfrei und gebrauchstauglich. Die mangelhafte Dichtigkeit der Lüftungsflügel erfordert einen Austausch in den nächsten Jahren.

#### **Elementtyp 2:** Fassaden im Pausenhallenbereich mit Isolierverglasung

Die geschosshohen Fassaden in wärmegegedämmter Ausführung und Isolierverglasung sind optisch einwandfrei und gebrauchstauglich. Sie entsprechen jedoch nicht mehr den heutigen Wärmeschutzbestimmungen.

#### **Elementtyp 3:** Türelemente im Eingangsbereich mit Einfachverglasung

Die Eingangs-Türelemente sind verbraucht und abgängig. Sie erfüllen nicht mehr die Sicherheitsbestimmungen.

Ein Austausch dieser Elemente durch zeitgemäße wärmegegedämmte Konstruktionen mit entsprechender Isolierverglasung bzw. geschlossenen Türblättern ist hier dringend kurzfristig anzuraten.

#### **Elementtyp 4:** Fenster- und Türelemente Gymnastikhalle/Hausmeister

Die Fenster- und Türelemente im Bereich der Gymnastikhalle und des Hausmeisters sind in einem nicht mehr ordnungsgemäßen Zustand.

Durch mangelhafte und fehlende Beschläge ist die Belüftung der Räume nicht ausreichend, „blinde“ Fenster, durchnässte Glasfalze sorgen für eine Korrosion an den Flügelrahmen.

Ein Austausch dieser Elemente durch zeitgemäße wärmegegedämmte Konstruktionen mit entsprechender Isolierverglasung ist hier, je nach Nutzung der Räumlichkeiten, zu empfehlen.

Die bisher nicht erneuerten Fenster haben ein Alter von mehr als 40 Jahren. Einige Fenster sind noch in einem guten Zustand, während andere völlig abgängig sind. Für alle alten Fenster gilt, dass der Wärmeschutz gegenüber neuen Fenstern unzureichend ist.

### 3.3.2.4 Zustand der Haustechnik

So alt wie das Gebäude ist auch die Elektrofußbodenheizung. Über Nachtstrom wird der Fußboden elektrisch aufgeheizt. Tagsüber gibt der aufgeheizte Fußboden unregelmäßig Wärme an die Räume ab. Die Beheizung kann nicht unterbrochen werden. Daher besteht immer ein Energieverbrauch.

Besonders interne Wärmequellen (Personen, Beleuchtung, EDV-Gerät) und die Sonneneinstrahlung führen immer wieder zu überhöhten Temperaturen in den Räumen. In solchen Fällen wird die Raumtemperatur über das Öffnen der Fenster reguliert.

In einigen Klassenräumen sind die Heizspiralen völlig ausgefallen. Diese Räume werden zurzeit über die Temperatur der angrenzenden Räume mit geheizt.

Sanitär- und Abwasserleitungen stammen aus dem Jahre 1968. Reparaturen nach Rohrbrüchen durch starke Beanspruchung der Abwasser- und Wasserleitungen nahmen in den vergangenen Jahren stetig zu.

Der vorhandene Aufzug wurde ebenso mit der Bauzeit des Gebäudes eingebaut.

### Beurteilung der Haustechnik durch das Fachamt

Eine Reparatur der Elektrofußbodenheizung ist nicht möglich, da die Heizschlangen im Estrich fest verlegt sind.

Mit der Erneuerung der Fenster verändert sich auch in erheblichem Maße die noch benötigte Heizleistung.

Trinkwasser- und Abwasserleitungen sind veraltet und müssen ersetzt werden.

Gleiches gilt für den Aufzug. Eine Erneuerung ist aufgrund des Alters unumgänglich.

### Fazit zum Zustand der Haustechnik

Die Heizungsanlage muss erneuert werden. Reparaturen an den Heizschlangen sind nicht möglich. Hierbei ist auch die eigene Heizungsanlage der Sporthalle aus dem Jahre 1988 in die Planungen einzubeziehen.

Aufgrund des Zustandes der Trinkwasser- und Abwasserleitungen ist eine grundlegende Sanierung im Rahmen der anstehenden Baumaßnahmen notwendig. Ebenso ist hinsichtlich des Alters des Aufzuges eine Erneuerung erforderlich.

### 3.3.2.5 Sanierungskosten

#### Erforderlicher Sanierungsaufwand für

Dacherneuerung	240.000 €
Erneuerung der Fenster 1. Priorität	150.000 €
Erneuerung der Fenster 2. Priorität	220.000 €
Sanierung der Haustechnik	650.000 €
Aufzug	100.000 €
Bauarbeiten	100.000 €
<b>Gesamtsanierungsaufwand</b>	<b><u>1.460.000 €</u></b>

### **3.3.3 Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt Berufskolleg in Emsdetten**

#### **3.3.3.1 Allgemein**

Zu den ältesten Schulgebäuden des Kreises Steinfurt zählt das Schulgebäude an der Arminstraße 6 in Emsdetten. Es wurde im Jahre 1938 gebaut. Die Nutzfläche beträgt 1.782 m<sup>2</sup>. Die Schule wird von ca. 500 Schülern besucht.

Der Baukörper besteht aus rotem Klinker mit teilweiser Natursteineinfassung. Die Hintermauerung wurde wie in der damaligen Bauzeit üblich aus Bimssteinen erstellt. Das Dach des Hauptbaukörpers wurde als Walmdach ausgeführt, während die Anbauten mit einem Satteldach errichtet wurden.

In 14 Klassenräumen, 4 EDV-Räumen, sowie 1 Multimedia-Raum für Projektarbeit werden die Bildungsgänge angeboten.

Die Euregio Sporthalle des Kreises Steinfurt steht dem Schulbetrieb ebenfalls zur Verfügung.



*Abbildung 3-8: Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt - Berufskolleg in Emsdetten aus dem Baujahr 1938*

#### **3.3.3.2 Baulicher Zustand des Gebäudes**

Im Rahmen der Gebäudeunterhaltung wurde in das Gebäude der Wirtschaftsschulen Emsdetten in den vergangenen Jahren erheblich investiert.

Das Verblendmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade und einem Innenmauerwerk aus Bimsstein bietet lediglich noch einen Grundwärmeschutz. Die Erneuerung der Dachflächen erfolgte im Jahre 1995. Vor mehr als 25 Jahren wurden die alten Fenster durch Kunststofffenster ersetzt. Die Deckenflächen zum Bodenraum sind praktisch ungedämmt.

#### **Beurteilung des Gebäudes durch das Fachamt und Fazit**

Im Rahmen der Gebäudeunterhaltung wurden in den vergangenen Jahren wiederholt notwendige Baumaßnahmen durchgeführt. Künftig werden weitere Sanierungen im Bereich der Wärmedämmung und der Erneuerung der Kunststofffenster zur Energieeinsparung erforder-

lich. Mit Blick auf das Alter des Gebäudes (Baujahr 1938) sind diese Maßnahmen nur geeignet, mittelfristig den Bestand zu sichern.

### **3.3.3.3 Zustand der Haustechnik**

Wie bereits oben erwähnt, sind im Rahmen der Nutzungsänderungen die Klassenräume mit einer EDV-Verkabelung ausgerüstet worden. Weiterhin sind alle Klassenräume mit einer neuen tageslichtabhängigen Beleuchtung ausgestattet worden. Im Jahre 2002 ist die ehemalige Hausmeisterwohnung komplett technisch erneuert worden. Hier wurde sowohl die Heizungs-, Sanitär- und Elektrotechnik komplett erneuert.

Die Beheizung der Schule erfolgt durch einen Niedertemperaturkessel aus dem Jahr 1984, der aufgrund seines Alters in den letzten Jahren reparaturanfällig geworden ist.

#### **Fazit zum Zustand der Haustechnik**

Die Kesselanlage der Schule ist abgängig und muss allein schon durch die seit 2002 geltenden Vorgaben der EnEV gegen einen Gasbrennwertkessel ersetzt werden. Gleichzeitig ist die Kesselhauptverteilung zu erneuern. In diesem Zuge wurde die Kesselanlage auf die Gebäudeleittechnik des Kreises Steinfurt aufgeschaltet, um bedarfsgerecht sowohl vom Hausmeister als auch über die Fernwirkzentrale im Kreishaus geregelt zu werden.

Das Trinkwasser- und Abwassernetz ist einer genauen Prüfung zu unterziehen und muss gegebenenfalls an einigen Stellen saniert werden.

### **3.3.3.4 Sanierungskosten**

#### **Erforderlicher Sanierungsaufwand**

Wärmedämmung	55.000 €
Erneuerung der Fenster	95.000 €
Sanierung der Haustechnik	50.000 €
<b>Gesamtsanierungsaufwand</b>	<b>200.000 €</b>





## 4 Bestandsaufnahme kommunaler Schulen im Verwaltungsbereich des Bewilligungsempfängers

### 4.1 Erfassung der Schulen

Insgesamt wurden 66 Schulen aus dem ganzen Kreis Steinfurt in einem Gebäudesteckbrief erfasst. Davon befinden sich 9 Schulen in Trägerschaft des Kreises Steinfurt und 57 in kommunaler Trägerschaft. Die Schulen in kommunaler Trägerschaft teilen sich wie in Tabelle 4-1 auf:

*Tabelle 4-1: Anzahl der erfassten Schulen in kommunaler Trägerschaft*

Schulform	Anzahl
Grundschulen	33
Sekundärstufenschulen	13
Gesamtschulen	3
Förderschulen	5
Berufsschulen	3
<b>Gesamt</b>	<b>57</b>

Für jede dieser Schule wurde ein Gebäudesteckbrief erstellt, der Angaben zu folgenden Punkten enthält:

1. Gebäudekennung
2. Eigentümer/Flächen
3. Beschreibung durchgeführter Sanierungen
4. Beschreibung von Nutzungsänderungen
5. Kennzahlen (Kennzahlen für Wärme, Strom, Wasser; Primärenergieeinsatz für Wärme, Strom und gesamt)
6. Diagramm mit Darstellung des Primärenergieeinsatzes

Folgende Abbildung 4-1 zeigt den Gebäudesteckbrief am Beispiel des Gymnasium Arnoldinum in Steinfurt, mit dem Stand von Dezember 2008.

# Übersicht des Gymnasium Arnoldinum Stand: Dez. 08

## 1. Gebäudekennung

Bezeichnung:	Gymnasium Arnoldinum
Baujahr:	1968, 1995, 2005, 2007
Gebäudeteil:	Alle Gebäudeteile, Turnhalle und Aula
Anschrift:	Pagenstecherweg 1 48565 Steinfurt



## 2. Eigentümer/Flächen

Eigentümer:	Stadt Steinfurt		
Änderung der BGF im Jahr:	2005		
	ab 1995	ab 2005	ab 2007
Bruttogrundfläche (BGF):	11260,0 m <sup>2</sup>	11581,0 m <sup>2</sup>	11661,8 m <sup>2</sup>
Nettogrundfläche (NGF):	10922,2 m <sup>2</sup>	11233,5 m <sup>2</sup>	11311,9 m <sup>2</sup>



## 3. Beschreibung durchgeführter Sanierungen

Neubau	1995
Heizungsanlage neu	2004
Pavillons mit Strom beheizt	ab 2005
Bau eines 5er Pavillion	2005
Bau eines 1er Pavillion	2007
Alle Verbräuche beziehen sich auf: Neubau, Klassentrakt, Hauptgebäude, Aula, Turnhalle, Neubau, 5er Pavillion, 1er Pavillion	

## 4. Beschreibung von Nutzungsänderungen

Nutzung der Aula für öffentliche Veranstaltungen	ab 1999

## 5. Kennzahlen

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Schülerzahl	699	748	792	856	933	1009	1085	1125	1155
Wärmekennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>	105,8	129,3	120,5	124,6	108,8	103,3	80,1	94,3	94,2
Stromkennzahl kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>	9,6	10,2	9,9	12,2	10,0	10,6	9,8	12,5	12,1
Wasserkennzahl L/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>	90,9	74,4	83,7	292,3	113,5	74,2	552,6	101,6	108,6
Energieträger	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas
Wärmeerzeuger	NT	NT	NT	NT	NT	BW	BW	BW	BW
PE Wärmebereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*	120,0	146,6	136,7	141,3	123,4	117,1	90,8	107,0	106,8
PE Strombereitstellung in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*	26,7	28,3	27,6	34,0	27,8	29,6	27,3	34,7	33,6
Primärenergieeinsatz gesamt in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)*	146,7	174,9	164,3	175,3	151,2	146,7	118,1	141,7	140,4

## 6. Diagramm

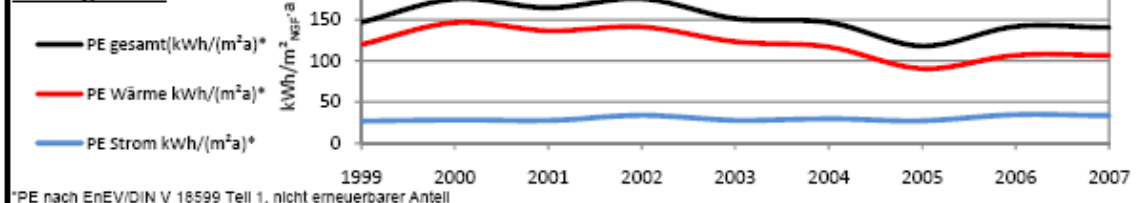


Abbildung 4-1: Gebäudesteckbrief für das Gymnasium Arnoldinum, Stand Dez. 08

#### 4.1.1 Primärenergieverbrauch aller erfassten Schulen

Der Primärenergieverbrauch aller betrachtbaren Schulen wird in nachfolgender Abbildung 4-2 verglichen (einschließlich der Schulen in Trägerschaft des Kreises Steinfurt). Der Trend zeigt deutlich, dass der Energieverbrauch der Liegenschaften über die letzten Jahre abgenommen hat. Dies lässt sich auf die kontinuierlich gestiegenen Energiekosten der letzten Jahre und das dadurch gestiegene Bewusstsein des Verbrauchers/Betreibers, Energie zu sparen zurück führen. Auch die politische und gesetzliche Entwicklung (mehrmalige Novellierung der Wärmeschutzverordnung und EnEV) ist eine Ursache für die Absenkung des Energieverbrauchs.

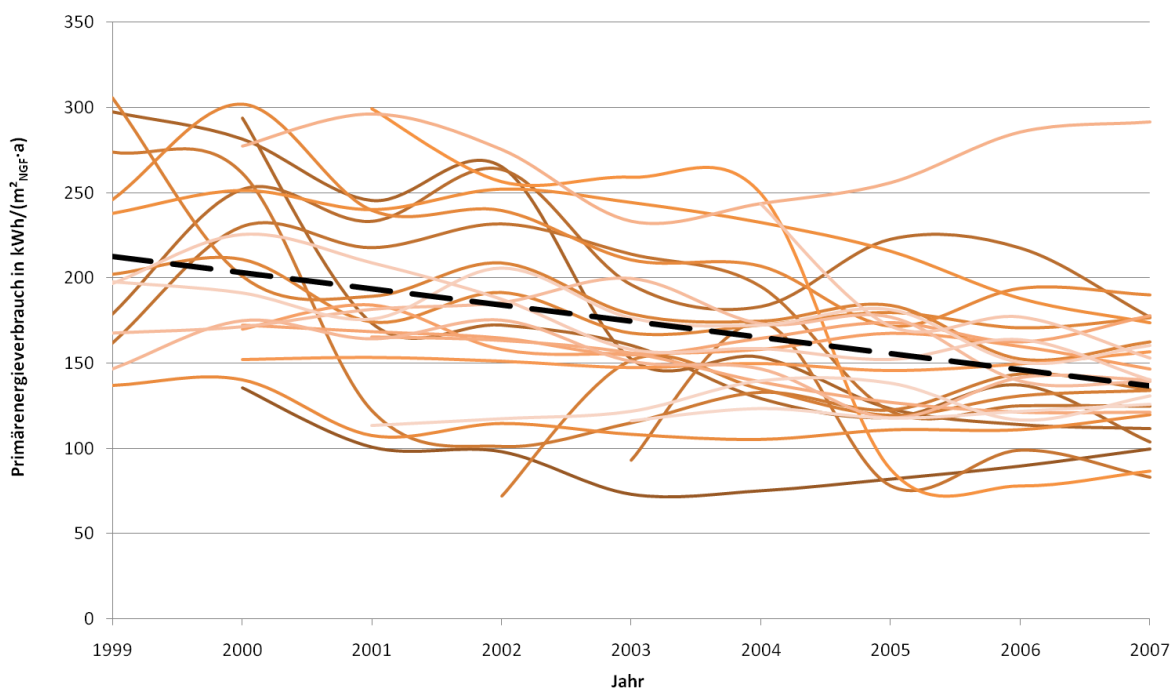


Abbildung 4-2: Primärenergieverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>·a) für alle betrachteten Schulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS)

In der obigen Abbildung 4-2 lassen sich nicht alle erfassten Schulen darstellen. Von vielen Schulen liegen nur Daten der letzten drei, vier Jahre vor. Eine energetische Historie lässt sich so nicht darstellen. In Abbildung 4-3 wird aus diesem Grund der witterungsbereinigte Primärenergieverbrauch aller in diesem Projekt erfassten Schulen für das Jahr 2007 in kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>·a) sortiert zusammengefasst.

Gebäudesteckbriefe aller erfassten Schulen befinden sich im Anhang A 2.

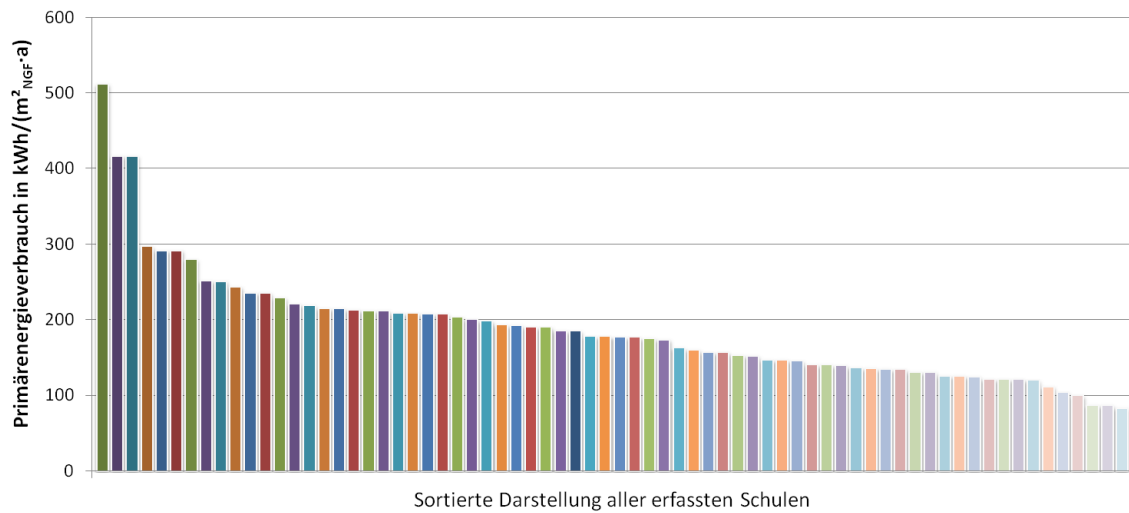


Abbildung 4-3: Sortierte Darstellung des Primärenergieverbrauchs in kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>·a) aller erfassten Schulen für das Jahr 2007 (witterungsbereinigt)

Um den Primärenergieverbrauch genauer betrachten zu können, sind Schulgebäude gleicher Nutzung/Schulform in den nächsten Abbildungen zusammengefasst und der jeweilige Trend dargestellt. Es handelt es sich um folgende Schulformen:

- Berufsschulen (Abbildung 4-4)
- Sekundärstufenschulen (Abbildung 4-5)
- Förderschulen (Abbildung 4-6)
- Grundschulen (Abbildung 4-7).

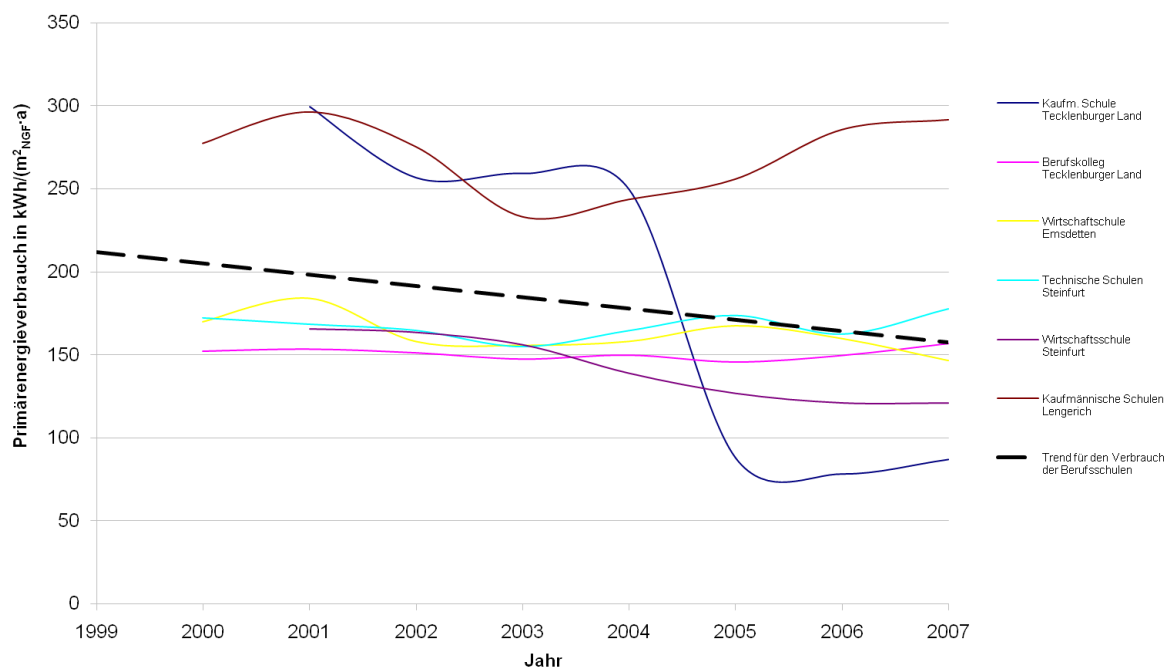


Abbildung 4-4: Primärenergieverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>·a) aller betrachteten Berufsschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS)

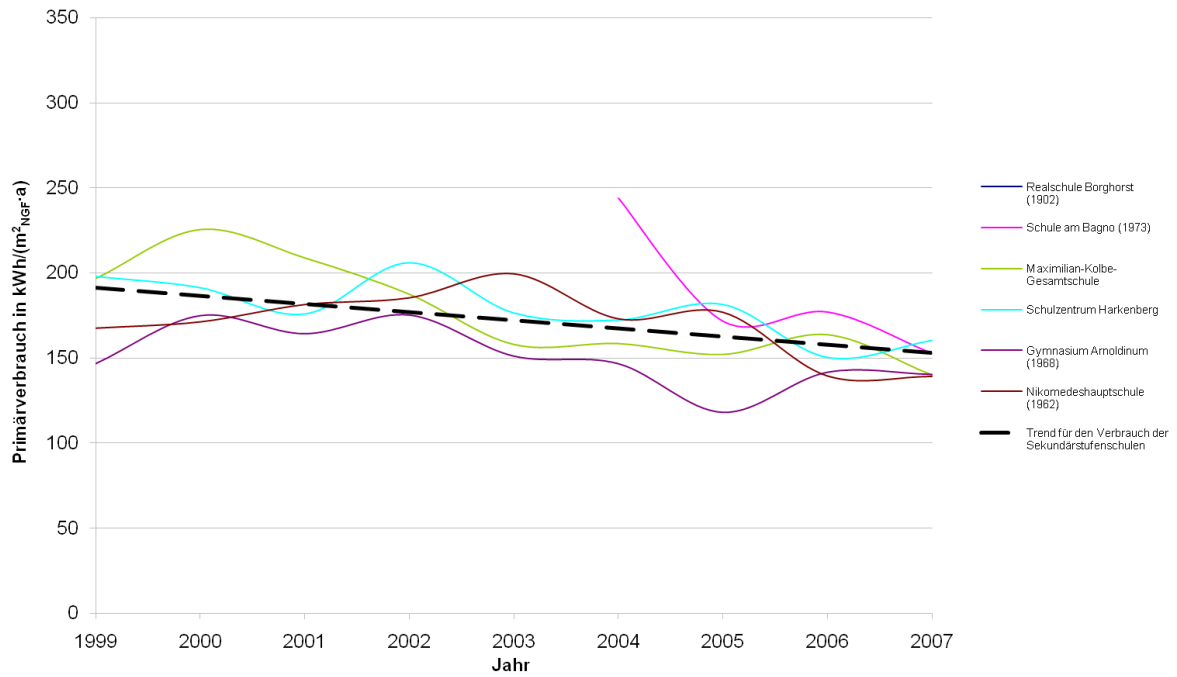


Abbildung 4-5: Primärenergieverbrauch in  $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}}\cdot\text{a})$  aller betrachteten Sekundärstufenschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS)

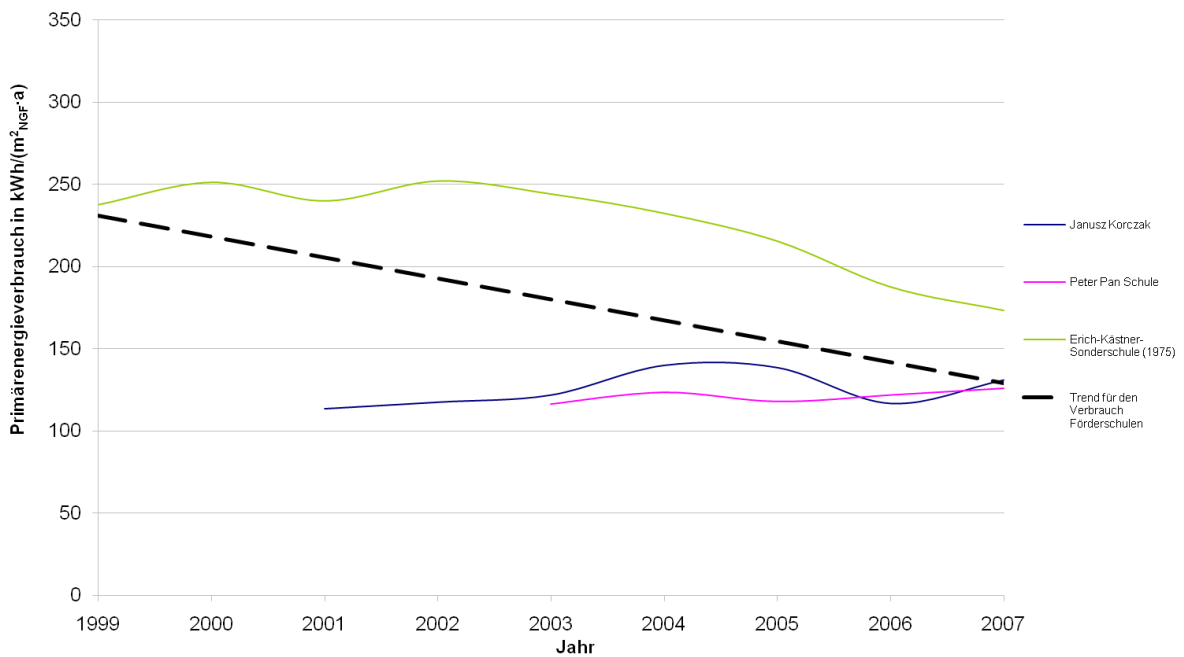


Abbildung 4-6: Primärenergieverbrauch in  $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}}\cdot\text{a})$  aller betrachteten Förderschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS)

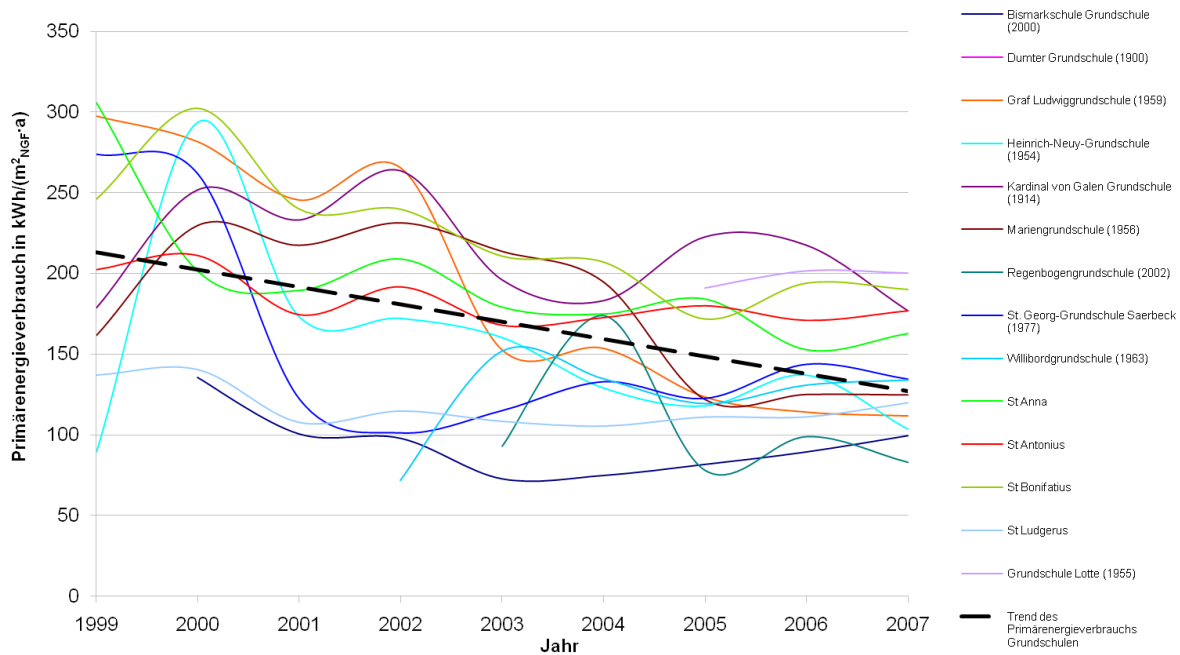


Abbildung 4-7: Primärenergieverbrauch in  $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}}\cdot\text{a})$  aller betrachteten Grundschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS)

Von insgesamt 33 erfassten Grundschulen lassen sich aufgrund der fehlenden Historie in dem obigen Diagramm nur 16 Grundschulen und der daraus resultierende Trend darstellen. Aus diesem Grund wird in Abbildung 4-8 der Primärenergieverbrauch aller erfassten Schulen für das Jahr 2007 sortiert dargestellt.

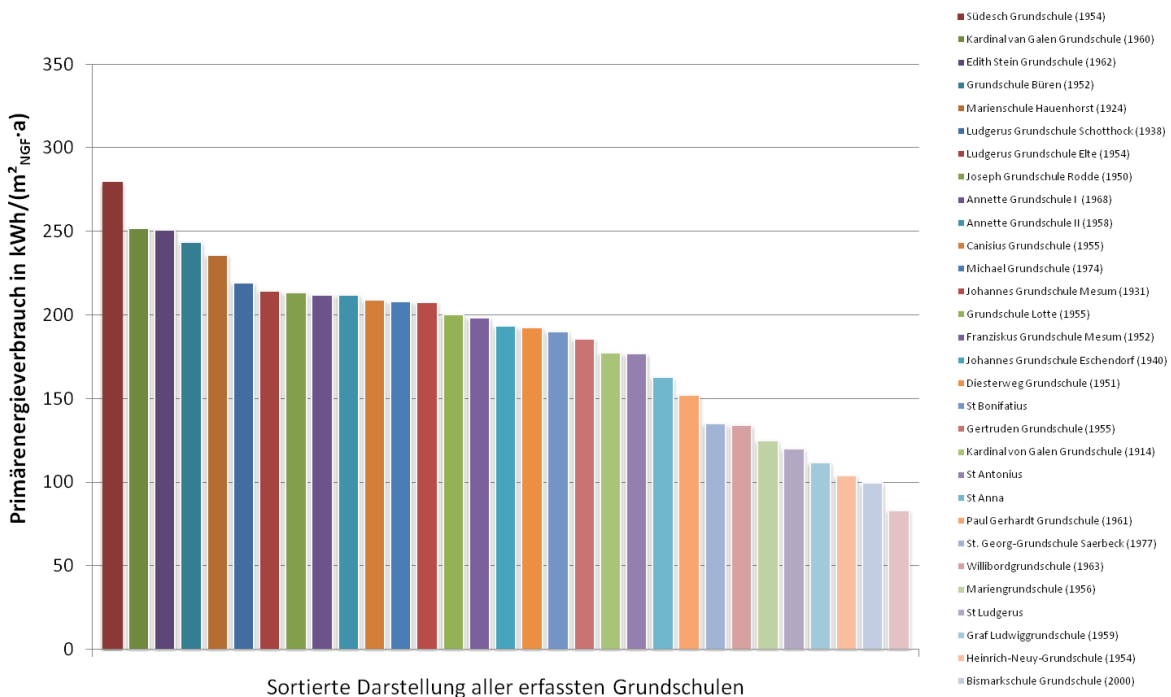


Abbildung 4-8: Sortierter Primärenergieverbrauch in  $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}}\cdot\text{a})$  aller erfassten Grundschulen für das Jahr 2007 (witterungsbereinigt)

Durch den Vergleich des Kurvenverlaufs gleicher Schulformen lässt sich nur der allgemeine Trend der jeweiligen Schulform erkennen. Genauere Aussagen über die einzelnen Gebäude und die installierte Anlagentechnik können auf diese Weise nicht getroffen werden. So lassen sich anhand der steigenden und fallenden Kurvenverläufe folgende Grundsätzlichkeiten nicht beantworten, ohne genauere Hintergründe zu kennen:

- Erfolgte eine Grundsanierung des Gebäudes oder wurden nur Teilbereiche saniert (Fenster, Dach, Fassade etc.)
- Wurde die GLT (Gebäudeleittechnik) saniert
- Erfolgte der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage
- Gibt es ein Energiemanagement und werden die Zählerdaten gesammelt, ausgewertet und bei Bedarf gehandelt

Zur Beantwortung dieser Fragen ist für jedes Gebäude eine individuelle Auswertung zu erstellen.

Weitere Diagramme für jede Schulform zum Primärenergieverbrauch für Wärme und Strom befinden sich im Anhang A 3.

## **4.2 Erfassung des Sanierungszustandes der Schulen**

Aufgrund der allgemeinen Datenlage in der öffentlichen Verwaltung lassen sich die Sanierungszustände nur unzureichend erfassen. Die Erhebung der öffentlichen Gebäuden im Allgemeinen nimmt in letzter Zeit zu, ist jedoch nicht ausreichend, um hier eine Aussage treffen zu können.

Im Anhang befinden sich Steckbriefe für Schulen, die Angaben zu folgenden Punkten enthalten:

1. Gebäudekennung
2. Eigentümer/Flächen
3. Beschreibung durchgeführter Sanierungen
4. Beschreibung von Nutzungsänderungen
5. Kennzahlen (Kennzahlen für Wärme, Strom, Wasser; Primärenergieeinsatz für Wärme, Strom und gesamt)
6. Diagramm mit Darstellung des Primärenergieeinsatzes

Die Erfassung dieser Daten war in den meisten Fällen sehr aufwendig und ließ eine ausführlichere Erfassung, Bewertung und Darstellung nicht zu.

## **4.3 Bewertung des Sanierungszustandes**

Aufgrund der allgemeinen Datenlage in der öffentlichen Verwaltung lassen sich die Sanierungszustände nur unzureichend erfassen, bewerten und darstellen. Die Erhebung der öffentlichen Gebäude im Allgemeinen nimmt in letzter Zeit zu, ist jedoch nicht ausreichend um hier eine Aussage treffen zu können.





## 5 Darstellung des Standes der Technik bei Schulen

### 5.1 Gebäudehülle

Die Gebäudehülle ist verantwortlich für den Primärenergieverbrauch und bestimmt aufgrund ihrer Konstruktion und Funktionen zusätzlich die thermische Behaglichkeit, Raumluftqualität, Akustik und Ausleuchtung des Gebäudes. Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bereichen sind von großer Bedeutung und müssen beachtet werden, um Planungs- und Sanierungsfehler auszuschließen.

#### 5.1.1 Fassade

Die Fassade vermittelt den äußeren Eindruck eines Gebäudes, dazu gehören Außenwände sowie die damit verbundenen Teile, wie Fenster und Türen und die Verkleidung. Aufgabe der Fassade ist der Schutz vor äußeren Einflüssen, wie Witterung und Lärm. Aufbau und Ausführungsart der Fassade bestimmen über Raumakustik und Möglichkeiten der Lüftung (freie oder zwangsweise), wodurch der Wärmebedarf des Gebäudes ebenso direkt bestimmt wird, wie die Möglichkeiten die Raumluftqualität gezielt zu beeinflussen (CO<sub>2</sub>-Konzentration, Pollen, Stäube, ...).

Über die Fassade verliert ein Gebäude Energie in Form von Transmissionswärmeverlusten. Um diese zu minimieren, sind für die Außenbauteile bestimmte „Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. U-Werte“ einzuhalten. Diese gibt die EnEV (Energieeinsparverordnung) für erstmaligen Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen vor.

##### 5.1.1.1 Außenwände

#### Anforderungen an den Wärmeschutz

Tabelle 5-1 zeigt die Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV 2009.

*Tabelle 5-1: Wärmedurchgangskoeffizient für Außenwände nach EnEV 2009*

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient U in W/(m <sup>2</sup> ·K) bei Raum-Solltemperaturen im Heizfall ≥ 19 °C
Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	0,28
Wand, gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räume	0,35

### **Anforderungen an die Dichtheit und den Mindestluftwechsel**

Durch ein dichtes Gebäude lassen sich Lüftungswärmeverluste minimieren. Wichtig ist, dass bei einem dichten Gebäude die Frischluftversorgung einen besonderen Stellenwert einnimmt und unbedingt beachtet werden muss. Mehr Information erfolgt zum Thema Raumluftqualität in Abschnitt 5.8, S. 127 und zu Lüftung in Abschnitt 5.9, S. 130. Bei einer Prüfung der Dichtheit muss die Druckdifferenz zwischen innen und außen unterhalb von 50 Pa liegen. Der gemessene Volumenstrom darf

- $3,0 \text{ h}^{-1}$  (Gebäude ohne raumluftechnische Anlage) bzw.
- $1,5 \text{ h}^{-1}$  (Gebäude mit raumluftechnischer Anlage)

nicht überschreiten.

### **Schallschutz/Akustik**

Entscheidend für den Schallschutz vor Lärm von außen ist die flächenbezogene Masse. Je größer dieser Wert ist, desto schwerer ist die Wand, das wiederum führt zu einer höheren Dämmung des Schalls. Besteht die Wand außerdem aus mehr als einer Schale, erhöht sich die Schalldämmung zusätzlich. Ob besondere Vorkehrungen bezüglich des Schallschutzes nötig sind, hängt von dem Außenlärmpegel ab. Weiterführende Informationen beinhaltet DIN 4109, sie befasst sich mit dem Schallschutz im Hochbau.

### 5.1.1.2 Fenster

Fenster erfüllen innerhalb eines Gebäudes mehrere Aufgaben. Sie schaffen eine Sichtverbindung nach außen, ermöglichen eine Beleuchtung mit Tageslicht, schützen vor äußeren Einflüssen und sind in einem Gebäude ohne Frischluftzufuhr die einzige Möglichkeit, um einem Raum Frischluft zuzuführen.

#### Anforderungen an den Wärmeschutz

Tabelle 5-2 zeigt die Wärmedurchgangskoeffizienten für Fenster nach EnEV 2009. Je niedriger der Wärmedurchgangskoeffizient, desto höher sind die Temperaturen an den Fensterinnenflächen. Das trägt zur thermischen Behaglichkeit bei.

Tabelle 5-2: Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  für Fenster und Vorhangfassaden nach EnEV 2009

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient $U$ in $W/(m^2 \cdot K)$ bei Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19\text{ °C}$
Fenster, Fenstertüren	1,3
Dachflächenfenster	1,4
Vorhangfassade	1,4
Lichtbänder	2,4

#### Anforderungen an die Dichtheit und den Mindestluftwechsel

Durch ein dichtes Gebäude lassen sich Lüftungswärmeverluste minimieren. Wichtig ist, dass bei einem dichten Gebäude die Frischluftversorgung einen besonderen Stellenwert einnimmt und unbedingt beachtet werden muss. Bei einer Prüfung der Dichtheit muss die Druckdifferenz zwischen innen und außen unterhalb von 50 Pa liegen. Der gemessene Volumenstrom darf

- $3,0\text{ h}^{-1}$  (Gebäude ohne raumluftechnische Anlage) bzw.
- $1,5\text{ h}^{-1}$  (Gebäude mit raumluftechnischer Anlage)

nicht überschreiten.

Die Luftdichtigkeit der Fenster minimiert bei kalten Außentemperaturen unkontrollierte Lüftungsverluste durch undichte Fenster. Sie trägt aber auch dazu bei, dass die Raumlufqualität in einem Klassenraum noch schneller abnimmt. Der mögliche Schluss daraus lautet jetzt nicht, Fenster sollen nicht dicht sein. Denn auch bei undichten Fenstern nimmt die Raumlufqualität in einem inakzeptablen Maß ab. Vielmehr kann bei dichten Fenstern eine erhöhte Lüftungsrate die Folge sein. Dies geschieht üblicherweise unkontrolliert über das Öffnen der Fenster, sodass die erhoffte Energieeinsparung zum Fenster herausgelüftet wird.

#### Schallschutz/Akustik

Ausreichende Schalldämmwerte der Fenster sind Voraussetzung, um die geplanten Schalldämmwerte der Gesamtfassade einzuhalten.

## Ausführung

Die Konstruktion und verwendete Beschichtung (in Verbindung mit einem Sonnenschutz) bestimmen maßgeblich über positive solare Einträge im Winter und nachteilige Wärmegewinne im Sommer.

### 5.1.1.3 Sonnenschutz

Sonnenschutz kann drei Aufgaben erfüllen, erstens Schutz vor Überhitzung bieten, zweitens Schutz vor Blendung sein und drittens mit speziellen Tageslichtlenksystemen Tageslicht indirekt ins Rauminnere lenken, unter Erfüllung der ersten beiden Funktionen.

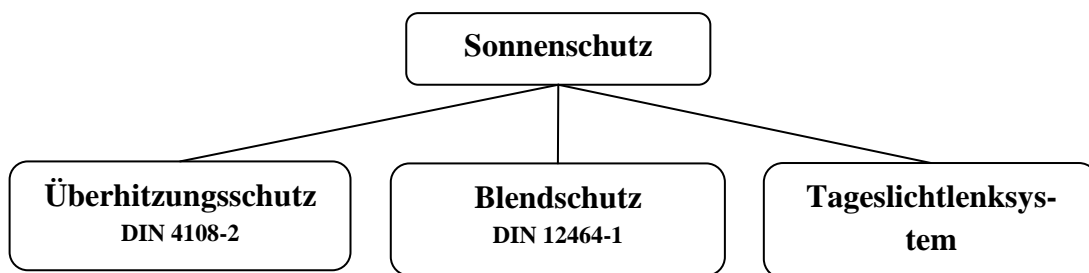


Abbildung 5-1: Aufgaben des Sonnenschutzes<sup>13</sup>

## Überhitzungsschutz

Fehlender Sonnenschutz ist der Hauptgrund für die sommerliche Überhitzung von Gebäuden. Sonnenschutz hilft der sommerlichen Überhitzung entgegenzuwirken, ohne zusätzlichen apparativen und energetischen Aufwand. Die EnEV 2009 verweist für Nichtwohngebäude explizit auf die DIN 4108 Teil 2<sup>14</sup>. Diese enthält Angaben zum sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden und sieht vor, den sommerlichen Wärmeschutz schon in der Planungsphase mit einzubeziehen. Danach ist für jede Gebäudezone der nicht zu überschreitende Sonneneintragskennwert zu bestimmen. Das ist besonders wichtig bei thermisch hochbelasteten Räumen und Räumen, die der Sonneneinstrahlung direkt ausgesetzt sind, z. B. an der Außenfassade oder unter der Dachfläche.

Die DIN 4108 Teil 2 befasst sich auch mit dem sommerlichen Sonnenschutz. Zum sommerlichen Sonnenschutz zählen nur Vorrichtungen, die fest installiert sind, dekorative Vorhänge gehören nicht dazu. Für fest installierte Sonnenschutzvorrichtungen gibt es zwei Varianten, außenliegend und innenliegend (bzw. zwischen den Scheiben). Der außenliegende Sonnenschutz ist in jedem Fall zu bevorzugen. Bei innenliegendem Sonnenschutz gelangt im Vergleich zum außen liegenden Sonnenschutz mehr Energie in den Raum, die sich in Wärme innerhalb des Raumes umwandelt.

<sup>13</sup> In Anlehnung an VDI 6011

<sup>14</sup> DIN 4108 Teil 2 (Version 2003-07): „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“

Für den *außenliegenden* Sonnenschutz gibt es folgende Vorrichtungen<sup>15</sup>:

- drehbare Lamellen, hinterlüftet
- Jalousien und Stoffe mit geringer Transparenz, hinterlüftet
- Rollläden, Fensterläden
- Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen
- Markisen

Für den *innenliegenden* Sonnenschutz gibt es folgende Vorrichtungen<sup>15</sup>:

- Innenrollläden
- Innenjalousie

Der nicht zu überschreitende Grenzwert für die Innentemperatur liegt zum Beispiel für das Münsterland bei 26 °C (nach DIN 4108 Teil 2). Dieser Wert darf nicht länger als 10 % der Aufenthaltsdauer (Büroräume 10 h/d) überschritten werden.

### **Blendschutz**

DIN 12464-1 sieht vor, dass Blendungen, z. B. durch Abdunklung der Fenster mit Jalousien, zu begrenzen sind. Blendungen schränken den Sehkomfort ein und erschweren es, die gestellten Sehaufgaben angemessen durchzuführen.

### **Tageslichtlenksystem**

Tageslicht beeinflusst den Menschen positiv und trägt dazu bei, elektrische Energie zu sparen, deshalb sollte es bestmöglich genutzt werden. Dafür eignen sich Tageslichtlenksysteme, die das Tageslicht trotz Sonnenschutz im Raum verteilen bzw. den Tageslichtanteil im Raum erhöhen. Dabei handelt es sich um spezielle Jalousien mit integriertem Lichtlenksystem. Das besondere daran, einzelne Lamellen besitzen eine spezielle Oberfläche und lassen sich unabhängig ausrichten, wodurch das Tageslicht in den Raum gelenkt wird. Erhältlich sind diese Jalousien in unterschiedlichen Ausführungen.

### **Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung**

Beleuchtung und Sonnenschutz lassen sich schwer getrennt voneinander betrachten. Die VDI 6011 Teil 1<sup>16</sup> bietet eine Hilfestellung für die Planung, Systemauswahl und Ausführung.

#### **5.1.1.4 Dach**

Aufgabe eines Daches ist der Schutz vor Witterungseinflüsse unter Beachtung des Wärme- und Schallschutzes. Durch die natürliche Wärmeschichtung ist die Temperatur im Dachbereich höher, das führt zu maximalen Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen. Dadurch können die Energieverluste während der Heizsaison in diesem Bereich maximal werden. Eine Bewertung dieser Verluste und entsprechender Gegenmaßnahmen erfolgt auf Basis der Bauform (geneigtes Dach, Flachdach, Kaltdach, usw.) und des U-Wertes des Daches.

---

<sup>15</sup> DIN 4108-2, Tabelle 8, Seite 26

<sup>16</sup> VDI 6011-1 (Version August 2002): „Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung – Grundlagen“

## Anforderungen an den Wärmeschutz

Tabelle 5-3 zeigt die Wärmedurchgangskoeffizienten für Dächer nach EnEV 2009.

Tabelle 5-3: Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  für Dächer nach EnEV 2009

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient $U$ in $W/(m^2 \cdot K)$ bei	
	Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19\text{ °C}$	Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis $< 19\text{ °C}$
Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	0,2	0,35
Glasdächer	2,7	2,7
Lichtkuppeln	2,7	2,7

### Ausführung/Konstruktion

Von der Dachform ist es abhängig, wie aufwendig die nachträgliche Verbesserung des Wärmeschutzes ist. Allgemein lassen sich zwei Dachformen unterscheiden: geneigtes Dach und Flachdach.

#### Geneigtes Dach

Geneigte Dächer haben eine Dachneigung größer  $10^\circ$ . Bei der nachträglichen Verbesserung des Wärmeschutzes gibt es zwei Möglichkeiten.<sup>17</sup>

1. *Dämmung der Dachschrägen*: Diese Art der Dämmung ist sinnvoll, wenn der Dachraum genutzt werden soll. Es gibt eine Unterscheidung in belüftete und nicht belüftete Dächer.
  - a. *Belüftete Dächer*: Belüftete Dächer sind der Normalfall und verhindern Schimmelbildung. Anfallendes Kondensat bzw. Regeneintritt auf der Unterseite des Deckmaterials kann trocknen.  
Für diese Art von Dach empfiehlt sich das Einbringen von Dämmstoffen zwischen und unter den Sparren (zum Raum hinein). Diese Art der Dämmung hat den Vorteil, dass das Dach nicht abgedeckt werden muss.
  - b. *Unbelüftetes Dach*: Das Besondere bei unbelüfteten Dächern ist die Anbringung von Dämmung auf den Sparren. Der Vorteil ist, dass es keine Wärmebrücken gibt und die Dachkonstruktion keinen Witterungseinflüssen ausgesetzt ist. Bei einer nachträglichen Dämmung ist diese Art sehr aufwendig, da das Dach komplett abgedeckt werden muss.
2. *Dämmung der obersten Geschossdecke*: Eine Dämmung dieser Art bietet sich an, wenn der Dachraum nicht genutzt wird bzw. nicht ausgebaut werden soll. Der so entstehende Raum bildet einen Puffer zwischen beheiztem Raum und Außen.

<sup>17</sup> Anlehnung an: RWE Bau-Handbuch, 13. Ausgabe, VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt – Berlin – Heidelberg, 2004

## **Flachdach**

Die Neigung von Flachdächern beträgt maximal 10°. Zu unterscheiden sind einschaliges Dach, zweischaliges Dach und das Umkehrdach.<sup>17</sup>

- Zweischaliges (belüftetes) Dach: Bei einem zweischaligen Dach befindet sich zur Belüftung und Feuchteabfuhr ein Hohlraum zwischen Dachhaut und Wärmedämmung.
- Einschaliges (nicht belüftetes) Dach: Auf einer tragenden Decke liegen die einzelnen Schichten des Flachdaches ohne Hohlräume auf. Unterhalb der Dämmung befindet sich die Dampfsperre und oberhalb die Abdichtung.
- Umkehrdach: Beim Umkehrdach befindet sich die Abdichtung (die gleichzeitig die Dampfsperre ist) unterhalb der Dämmung.

Bei der nachträglichen Verbesserung des Wärmeschutzes gibt es zwei Möglichkeiten.

- a. *Dämmung von innen*: Bei dieser Variante muss auf jeden Fall geprüft werden, dass der Taupunkt nicht in der Dachkonstruktion liegt. Sonst kommt es zur unerwünschten Feuchtigkeitsbildung in der Konstruktion.
- b. *Dämmung von außen*: Ist bei einem einschaligen Dach eine unzureichende Dämmung vorhanden, kann der bestehende Aufbau durch ein Umkehrdach ergänzt werden.

## **Anforderungen an die Luftdichtheit**

Ein dichtes Dach minimiert unnötige Lüftungswärmeverluste. Zusätzlich verhindert es Schäden durch Tauwasserbildung. Es ist eine Dampfbremse als Luftdichtschicht nötig.

## **Schallschutz/Akustik**

Ausreichende Schalldämmwerte der Fenster sind Voraussetzung, um die geplanten Schalldämmwerte der Gesamtfassade einzuhalten.

### **5.1.1.5 Außen- und Innentüren**

Unkontrollierte Luftwechsel bestimmen den winterlichen Lüftungswärmebedarf. Türen müssen daher gesondert betrachtet werden, da durch ihre regelmäßige Öffnung entsprechende Luftmengen ausgetauscht werden. Automatische Schließung und Schleusen sind hier unter Beachtung von Fluchtwegen und Brandschutz anzudenken. Aus Sicht des Brandschutzes und des Unfallschutzes ist es wichtig, dass Türen z. B. für Fluchtwege, aber auch von Toiletten nach außen aufgehen. Darüber hinaus sind Aspekte der Barrierefreiheit zu beachten. Türen, sowohl im Innen- wie auch im Außenbereich, spielen eine wichtige Rolle beim Schallschutz und müssen dementsprechend ausgewählt werden.

Der Wärmedurchgangskoeffizient für Außentüren liegt in der EnEV 2009 bei 1,8 W/(m<sup>2</sup>·K).

## 5.2 Keller

Keller und die Bodenplatte wurden wie Dachböden in der Vergangenheit nicht, oder nur unzureichend gedämmt. Tabelle 5-4 zeigt die Wärmedurchgangskoeffizienten für Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich nach EnEV 2009.

Tabelle 5-4: Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  für Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich nach EnEV 2009

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient $U$ in $W/(m^2 \cdot K)$ bei	
	Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19 \text{ }^\circ\text{C}$	Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis $< 19 \text{ }^\circ\text{C}$
Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	0,28	0,35
Wand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	0,35	0,35

Häufig liegen bzw. verlaufen im Kellerbereich ebenfalls ungedämmte bzw. unzureichend gedämmte Warmwasser- und Wärmeverteilung. Nach der aktuellen EnEV 2009 (§ 10 Absatz 2) müssen Eigentümer von Gebäuden dafür sorgen, „dass bei heizungstechnischen Anlagen bisher ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, nach Anlage 5 zur Begrenzung der Wärmeabgabe gedämmt sind.“<sup>18</sup>

Bei Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen und Armaturen muss hingegen die Wärmeaufnahme begrenzt werden. Dies geschieht auch nach Anlage 5 der EnEV 2009.

In beiden Fällen richtet sich die Mindestdicke der Dämmschicht nach der Art der Leitung bzw. Armatur. Auch in dem Fall, dass die Leitung an Außenluft grenzt, muss gedämmt werden.

<sup>18</sup> EnEV 2009, § 10 (Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden) Absatz 2



## **5.3 Heizungsanlage**

Die Anlage zur Beheizung des Schulgebäudes besteht in der Regel aus den Komponenten zur Wärmebereitstellung, dem Rohrleitungssystem, den Heizflächen und der Regelung. Einen besonderen Aspekt stellen elektrisch beheizte Schulgebäude dar, die mittels Nachtspeichersystemen beheizt werden.

Die Komponenten zur Wärmebereitstellung können in Abhängigkeit von der lokalen Versorgungssituation Heizkessel zur Nutzung fossiler bzw. regenerativer Energieträger, Wärmeübergabestationen im Fall einer Fern- oder Nahwärmeversorgung oder Wärmepumpen sein. Kombinationen verschiedener Aggregate zur Grund- und Spitzenlastabdeckung sind oft anzutreffen.

### **5.3.1 Kesselanlagen**

Im Falle von anlagentechnischen Sanierungen wird von den in alten Anlagen üblichen redundanten Bestückungen mit doppelter Kesselleistung abgerückt, um den mit dieser Ausrüstung verbundenen schlechten Jahresnutzungsgrad der Kesselanlage zu vermeiden. Jahresnutzungsgrade unter 70 Prozent sind bei alten Kesselanlagen keine Seltenheit. Die Anpassung der vorgehaltenen Kesselleistung an die Heizlast des Gebäudes führt zu Erhöhungen der Jahresnutzungsgrade um 20 und mehr Prozent. Sanierte Gebäudehüllen bewirken eine langsamere Auskühlung der Gebäude und erlauben somit eine Unterbrechung des Heizbetriebes für erforderliche Reparaturarbeiten, sodass eine Redundanz nicht erforderlich ist.

Häufig werden Kombinationen verschiedener Kesselbauweisen zur Beheizung von Schulen eingesetzt, wobei bspw. ein Brennwertkessel die Grundlast und ein Niedertemperaturkessel die Spitzenlast abdeckt. Der korrekten hydraulischen Schaltung im Bereich des Kesselkreises kommt hierbei sehr große Bedeutung im Hinblick auf einen optimalen Jahresnutzungsgrad zu. Die Dimensionierung der Grundlast- und Spitzenlaststufe muss im Sanierungsfall aufgrund einer exakten Analyse der Verbrauchsdaten erfolgen.

### **5.3.2 Fernwärme- oder Nahwärmeversorgung**

Die Heizwärmebereitstellung über externe Energieumwandler erfolgt bei Heizungsanlagen, die an Fernwärmenetzen angeschlossen werden oder Abnehmer im Rahmen eines Nahwärmeconzeptes sind. Die externe Energieumwandlung hat oft den Vorteil der höheren Energienutzung durch Nutzung von Kraftwärmekopplung. Der Einsatz von Biogas als Motorkraftstoff leistet darüber hinaus einen positiven Beitrag zur Minderung der Kohlendioxidemissionen.

### **5.3.3 Wärmepumpen**

In Verbindung mit zu sanierenden oder neu zu planenden Heizungsanlagen muss auf der Basis der heute verfügbaren Heizungssysteme unter der Zielsetzung minimaler Vorlauftemperaturen und entsprechend großflächige Heizflächen erfolgen. Dadurch können alle modernen und zukünftigen Energiewandler und Energieträger in eine mögliche Planung einfließen (BHKW, Wärmepumpe, Geothermie, solare Wärme usw.). Insbesondere Wärmepumpen benötigen zum Erreichen einer hohen Effizienz niedrige Systemtemperaturen.

Geothermische Wärmegewinnung wird in ihrer Effizienz gesteigert, wenn in der Sommerzeit solare Wärme in das Erdreich zur Regeneration eingespeist wird. Da Schulen in der Sommerzeit unter deutlicher Überhitzung leiden, bietet sich hier ein an der FH Münster für Schulen

entwickeltes Kühl- und Heizdeckensystem an, um mit minimalen Kosten die Schulräume zu kühlen. Dabei wird die Abwärme der Schulräume nur durch Einsatz von Wasserpumpen in das Erdreich gepumpt und somit ohne Einsatz von Kältemaschinen die Schulräume abgekühlt.

#### **5.3.4 Rohrleitungssystem**

Das Rohrleitungssystem transportiert die Wärme vom Umwandlungs- bzw. Wärmeübergabepunkt zu den Heizflächen. Neben den zu erfüllenden Anforderungen an eine ausreichende Dämmung des Rohrsystems ist der hydraulische Abgleich ein wesentlicher Kernpunkt zum Erreichen einer hohen Transporteffizienz. Auch bei Teilsanierung von Heizungsanlagen ist eine Überprüfung des hydraulischen Netzes nach dem Stand der Technik zwingend erforderlich. Hocheffiziente Pumpen sind zwingende Voraussetzung für einen energieoptimierten Betrieb. Ihre Wirkung und notwendige Leistung hängt aber von der tatsächlichen hydraulischen Situation in der Anlage und somit vom erfolgten hydraulischen Abgleich ab.

#### **5.3.5 Heizflächen**

Als Heizflächen werden überwiegend Radiatoren eingesetzt. Hier ist darauf zu achten, dass der Wasserinhalt aus Gründen der Trägheit des Heizungssystems klein gehalten wird. Die Heizungsanlage kann damit dynamischer betrieben werden. Falls es die Regelung erlaubt, können die Temperaturen einzelner Räume bei Nichtbelegung kurzzeitig abgesenkt und angehoben werden.

Der Einsatz von Deckenstrahlplatten zu Heizzwecken wurde im Rahmen der Sanierung der Kaufmännischen Schulen des Kreises Steinfurt in Ibbenbüren erfolgreich getestet und danach im gesamten Schulgebäude umgesetzt. Die landläufigen Befürchtungen, dass die Deckenstrahlplatten zu Unbehaglichkeiten führen, haben sich nicht bestätigt. Im Gegensatz zur Unzufriedenheit der Schüler und Lehrer über die schlechte Beheizung mittels elektrischer Fußbodenheizung vor der Sanierung sind alle Beteiligten mit dem neuen System hoch zufrieden.

## 5.4 Trinkwasser

Trinkwasser ist nach der Trinkwasserverordnung, Wasser im ursprünglichen Zustand oder nach Aufbereitung,

- das zum Kochen,
- zur Zubereitung von Speisen und Getränken,
- zur Körperpflege und Körperreinigung,
- zur Reinigung von Gegenständen, die mit Lebensmittel in Kontakt kommen und
- zur Reinigung von Gegenständen, die bestimmungsgemäß nicht nur vorübergehend mit dem menschlichen Körper in Kontakt kommen

bestimmt ist.

Entsprechend verlangt die Trinkwasserverordnung, dass Wasser für den menschlichen Gebrauch frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein muss.

Dieses Erfordernis gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, Wasseraufbereitung und Verteilung die anerkannten Regeln der Technik und Grenzwerte nach der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

Diese Vorschriften gelten für die Entnahmestellen, an denen Wasser für den menschlichen Gebrauch bereitgestellt wird. Dem Verbraucher ist jederzeit reines, klares und zum Genuss taugliches Trinkwasser bereitzustellen.

Ab der Übergabestelle liegt die Verantwortung zur Einhaltung der Trinkwasserqualität im Verantwortungsbereich des Eigentümers bzw. Betreibers der Hausinstallation.

### 5.4.1 Trinkwasserhygiene

Ungünstige Bedingungen in einer Trinkwasserinstallation können das Wachstum von Mikroorganismen, zu denen auch Krankheitserreger gehören, begünstigen.

Die Vermehrung von Mikroorganismen in Trinkwasserinstallationen lässt sich folgendermaßen mindern: Überdimensionierung und Stagnation vermeiden; Verwendung von Installationswerkstoffen, die möglichst wenig verwertbare Nährsubstrate abgeben; Temperaturbereiche meiden, die das Wachstum von Mikroorganismen begünstigen; Rückbau nicht genutzter Anlagenteile und bestimmungsgemäße Nutzung der Trinkwasseranlage.

Die Überdimensionierung von Leitungssystemen und ihren Anlagenkomponenten verringern den zur Erhaltung der Trinkwassergüte erforderlichen Wasseraustausch.

### 5.4.2 Stagnation

Die technischen Regelwerke sehen an den Entnahmestellen eine maximale Kaltwassertemperatur von 25 °C vor. Bedingt durch Stagnationszeiten oder Verlegung der Kaltwasserleitung direkt neben warm gehenden Leitungen lässt sich diese Temperatur nicht immer einhalten. Es ist daher in Steigeschächten auf eine ausreichende Dämmung der Kaltwasser führenden Leitungssysteme und auf eine ausreichende thermische Entkopplung zu warm gehenden Leitungen zu achten.

In Gebäuden mit vorhersehbaren Nutzungsunterbrechungen, wie Schulgebäuden, muss für einen periodischen Wasseraustausch gesorgt werden.

Das Umweltbundesamt empfiehlt, Wasser mit einer Stagnationszeit von mehr als vier Stunden nicht mehr zur Zubereitung von Speisen und Getränken zu verwenden. Diesem Aspekt sollte bei der Umwidmung zu Ganztagschule bzw. bei der Integration eines Schulküchenbetriebes in das Schulgebäude erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden.

### **5.4.3 Rohrwerkstoff**

Der Rohrwerkstoff für eine Trinkwasserinstallation wird in erster Linie durch die Wassergüte bestimmt. Der lokale Wasserversorger oder ortsansässige Fachfirmen bzw. Hersteller können bei der richtigen Werkstoffwahl beraten. Eine erforderliche Wasseranalyse wird von dem Wasserversorger auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Die eingesetzten Komponenten müssen den anerkannten Regeln der Technik und nationalen Normen und Zertifizierungen entsprechen. Das Zeichen eines anerkannten Zertifizierers wie DIN/DVGW oder DVGW bezeugt, dass diese Voraussetzungen erfüllt sind.

### **5.4.4 Verteilnetz**

Schulgebäude haben in der Regel ein weitverzweigtes Verteilsystem. Es ist zu überlegen, ob jeder Klassenraum mit einer Entnahmestelle versehen werden muss. Dient das Waschbecken nur zu Reinigungszwecken der Tafel, ist zu prüfen, ob es eine Alternative gibt, z. B. Trockenreinigung, Whiteboards, elektronische Medien usw.

Bei der Ausführung als Strangsystem werden häufig genutzte Verbraucher, wie z. B. die Sanitärräume, als Endpunkte im Wasserverteilungssystem gesetzt. Die Ausführung als Ringleitungssystem gewährleistet einen permanenten Wasseraustausch im Leitungssystem bei Nutzung einer Entnahmestelle. Diese beiden Verteilkonzepte wirken einer Stagnation des Wassers in den Leitungssystemen entgegen, der geforderte Wasseraustausch ist gegeben.

Das Rohrnetz sollte möglichst schlank ausgelegt werden. Die derzeit noch geltenden Technischen Regeln für Trinkwasser-Installationen werden momentan überarbeitet. Die für die Dimensionierung der Trinkwasserleitungen benötigten Spitzenvolumenströme sollen zukünftig gesenkt und Bemessungsregeln angepasst werden.

Um bei Nutzungsunterbrechungen der Kontamination des Netzes vorzubeugen, sind Spülsysteme für das ganze Netz vorzusehen, z. B. nutzer- und zeitabhängig mit Zeitschaltuhren bzw. Gebäudeleittechnik.

### **5.4.5 Warmwasserversorgungssystem**

Die Notwendigkeit der Versorgung mit Warmwasser nur für das Schulgebäude ist meistens nicht gegeben. Aus hygienischen und energetischen Gründen empfiehlt sich bei Bedarf eine dezentrale Warmwasserversorgung, z. B. direkt unter dem Waschbecken.

Bei Bedarf einer zentralen Warmwasserversorgungsanlage sollte aus hygienischen Gründen (Kontamination des Warmwasserspeichers) überprüft werden, ob anstelle von Warmwasserspeichern das Trinkwasser im Durchflussverfahren erwärmt werden kann.

Die Temperatur im Warmwasserleitungssystem darf nicht mehr als 5 °C gegenüber der Speicheraustrittstemperatur von 60 °C sinken. Zirkulationssysteme bzw. Begleitheizungen stellen dies bei richtiger Bemessung und Ausführung sicher. Die Bemessung des Zirkulationsnetzes erfolgt auf Grundlage der DVGW-Arbeitsblätter W 551 und W553. Nur Stockwerks- oder Einzelzuleitungen mit einem Wasservolumen kleiner 3 Liter dürfen ohne Zirkulationsleitungen geplant werden.

Abweichend von Standardsystemen wird zunehmend das Inliner-Zirkulationssystem eingesetzt. Die Zirkulationsleitung wird innerhalb der Warmwasser-Steigeleitung geführt. Über

den Kreisring zwischen Außenrohr und dem innenliegenden Inliner wird das Warmwasser zum Verbraucher transportiert. Neben den sich für die Erhaltung der Trinkwassergüte ergebenden Vorteilen gibt es weitere positive Aspekte, u. a. geringere Wärmeverluste durch Verringerung der Rohroberfläche, längere Aufrechterhaltung der Kaltwassertemperatur in Steigeschächten, kleinere Zirkulationsleitungen, geringerer Befestigungsaufwand, weniger Dämmung und entfallende Schall- und Brandschutzmaßnahmen für die Zirkulationsleitung im Deckenbereich.

#### **5.4.6 Feuerlösch- und Brandschutzanlagen**

Feuerlösch- und Brandschutzanlagen kommen nur im Brandfall zum Einsatz. Sind diese Anlagen permanent mit Wasser gefüllt und nicht durchströmt, besteht die Gefahr der Verkeimung und der gesundheitlichen Beeinträchtigung des Wassers. Das Löschwasser muss von der Trinkwasserinstallation ferngehalten und die Anschlussleitung ausreichend durchströmt werden, um eine Gefährdung des Trinkwassers zu vermeiden. Diese hygienischen Qualitätsanforderungen sind bei Neuanlagen und bestehenden Anlagen unbedingt einzuhalten. Werden die Anforderungen der Trinkwasserverordnung nicht erfüllt, besteht kein Bestandsschutz für Trinkwasser-Installationen, die in Verbindung mit Feuerlöschanlagen stehen.

#### **5.4.7 Betreiberpflichten**

Nach Übergabe einer fertiggestellten Trinkwasserinstallation und erfolgter Einweisung ist der Betreiber für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage und für die Einhaltung der geforderten Trinkwasserqualität bis zur Entnahmestelle verantwortlich. Die Übergabe beinhaltet die ausführliche Dokumentation der Trinkwasser-Installation und der zugehörigen Komponenten. Diese Dokumentation ist im Bedarfsfall auf Verlangen dem zuständigen Gesundheitsamt vorzulegen.

Eine Trinkwasser-Installation unterliegt wie alle technischen Anlagen Inspektions- und Wartungsintervallen, die von sachkundigen Personen durchzuführen sind.

### **5.5 Sanitärräume**

Sanitärräume in Schulen sind stark frequentierte Räume, deren Nutzung sich in der Regel auf die Pausenzeiten beschränkt. Im schulischen Alltagsbetrieb ergeben sich oft Probleme im Hinblick auf Hygiene und Nutzung. Ablehnung der Sanitäranlagen ist die Folge. Ursachen für die Ablehnung der Sanitäranlagen sind schlechte Raumluftqualität aufgrund mangelnder Lüftung und Reinigung, unzumutbare Sanitäreinrichtungen hinsichtlich mangelnder Pflege und Wartung, sowie Zerstörung der Einrichtungen durch Vandalismus.

Mit der Bereitstellung einer besonders soliden Ausstattung wird der hohen Belastung der Einrichtungen Rechnung getragen. Nutzerfreundliche und helle Räume leisten ihren Beitrag. Die Regelung der Raumluftqualität ist dabei unabdingbar. Sauberkeit und Hygiene durch regelmäßige Reinigung sind die Grundvoraussetzung für eine hohe Akzeptanz.

## 5.6 Beleuchtung

Die Beleuchtung stellt durch den Wärmeeintrag einen erheblichen Beitrag zur Überhitzung nicht klimatisierter Schulräume dar. Daher ist eine Steuerung der Beleuchtungssysteme durch Sensoren nach dem Stand der Technik zu prüfen, da dadurch auch eine effektivere Nutzung möglich wird. Gleichzeitig sind Lichtführungssysteme, in Verbindung mit der zuvor aufgeführten äußeren Verschattung zu prüfen. Verwendete Lichtfarben und Zusammenhänge mit der Notbeleuchtung sind abschließend zu beachten.

Zusätzlich nimmt der energetische Aspekt eine wichtige Rolle ein, so ist der Primärenergiebedarf für das Beleuchtungssystem nach EnEV bzw. DIN V 18599 Teil 4 <sup>19</sup> zu bilanzieren.

### 5.6.1 Allgemeines zu den Anforderungen an die Beleuchtung

Damit der Mensch in Räumen, die an ihn gestellten Sehaufgaben effektiv und genau durchführen kann, ist eine angemessene und geeignete Beleuchtung nötig. Dies kann durch Tageslicht, künstliche Beleuchtung oder eine Kombination von beidem geschehen. Die Beleuchtung nimmt Einfluss auf das Wohlbefinden, die Produktivität und das Sicherheitsempfinden des Menschen. Besonders Tageslicht fördert diese positiven Eigenschaften. Studien belegen, dass sich die Lernleistung von Schülern verbessert, wenn ausreichend Tageslicht in den Klassenraum gelangt. Schlecht beleuchtete Räume führen hingegen zu schneller Ermüdung, Kopfschmerzen und Unbehagen.

Eine gute Beleuchtung erfüllt folgende Kriterien <sup>20</sup>:

1. **Tageslicht** übernimmt wenn möglich, ganz oder teilweise die Beleuchtung der Sehaufgabe.
2. Die **Beleuchtungsstärke** passt zur Sehaufgabe bzw. zur verrichtenden Arbeit.
3. Die Verteilung der **Leuchtdichte** ist ausgewogen.
4. **Blendungen** und **Reflexionen** sind begrenzt.
5. **Lichtrichtung** (direkt bzw. indirekt) ist der Sehaufgabe angepasst.
6. **Lichtfarbe** ist passend gewählt und die Farbwiedergabe ist möglichst wirklichkeitsgetreu.
7. Das Beleuchtungssystem ist **flimmerfrei**.

Eine besondere Beachtung kommt dabei der Beleuchtungsstärke und ihrer Verteilung zu. Sie beeinflussen, wie schnell und sicher eine Person die Sehaufgabe erfassen und ausführen kann. <sup>21</sup>

---

<sup>19</sup> DIN V 18599 Teil 4 (Version Februar 2007): „Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung“

<sup>20</sup> DIN EN 12464-1 (Version März 2003): „Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“

<sup>21</sup> DIN 5035-7 (Version August 2004): „Beleuchtung mit künstlichem Licht – Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“

## 5.6.2 Normen zur Beurteilung der Beleuchtung

DIN EN 12464-1<sup>20</sup> definiert, welche Werte die mittlere Beleuchtungsstärke in Ausbildungsstätten nicht unterschreiten darf. Die DIN 5035-7<sup>21</sup> beschäftigt sich mit der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen. Welche mittlere Beleuchtungsstärke eingehalten werden muss, zeigt Tabelle 5-5. Bei der mittleren Beleuchtungsstärke  $\bar{E}_m$  handelt es sich um einen Mittelwert der Beleuchtungsstärke an unterschiedlichen Stellen eines Raumes.

Tabelle 5-5: Vorgaben von mittleren Beleuchtungsstärken für Räume, Aufgaben und Tätigkeiten innerhalb einer Schule<sup>20</sup>

Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit	Mittlere Beleuchtungsstärke
Unterrichtsräume in Grund- und weiterführenden Schulen	300 lx
Unterrichtsräume für Abendklassen und Erwachsenenbildung	500 lx
Wandtafel	500 lx
Übungsräume und Laboratorien	500 lx
Computerübungsräume	300 lx
Bildschirmarbeitsplätze <sup>21</sup>	500 lx

Der Unterricht in einem EDV-Klassenraum ist so gestaltet, dass an den Bildschirmen gearbeitet wird. Deshalb wird für solche Räume die mittlere Beleuchtungsstärke von 500 lx aus der DIN 5035-7 empfohlen.

### Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung

Beleuchtung und Sonnenschutz lassen sich schwer getrennt voneinander betrachten. VDI 6011 Teil 1<sup>22</sup> bietet eine Hilfestellung für die Planung, Systemauswahl und Ausführung.

## 5.6.3 Energetische Optimierung

Durch die Installation entsprechender Leuchten und Lampen lässt sich viel Energie einsparen, ohne dass der Komfort darunter leidet. So liefern Kombinationen von Leuchten und Lampen ein normgerechtes Licht, welches wesentlich weniger Energie benötigt. Schon der einfache Wechsel neuer, effektiverer Leuchtmittel kann zu einer wirtschaftlicheren Beleuchtung beitragen.

Besonders bei der Sanierung des kompletten Beleuchtungssystems eines Klassenraumes sollte Folgendes installiert werden:

- Tageslichtabhängige Regelung – je nach Tageslichteinfall werden die Lampen ausgeschaltet oder gedimmt
- Anwesenheitssensor – schaltet das Licht aus, wenn sich niemand im Raum aufhält

Auch über die Nutzung von LEDs sollte nachgedacht werden. LEDs benötigen deutlich weniger elektrische Energie, haben eine höhere Lebenserwartung und eine geringere Wärme-

<sup>22</sup> VDI 6011-1 (Version August 2002): Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung - Grundlagen

entwicklung. Die Entwicklung der LEDs für den Einsatz zur Beleuchtung in Klassenzimmern wird in Kürze Marktreife erreichen.

Der energetische Aspekt nimmt eine wichtige Rolle ein, so ist der Primärenergiebedarf für das Beleuchtungssystem nach EnEV bzw. DIN V 18599 Teil 4<sup>23</sup> zu bilanzieren.

## 5.7 Gebäudeleittechnik

Ein energieoptimiertes Gebäude setzt eine moderne, in der Regel zentrale Gebäudeleittechnik voraus, die neben einer Berücksichtigung der Nutzungsprofile (Sommer/ Winter, Tag/Nacht, Schulzeit/Ferien, Werktag/Feiertag, Stundenplan usw.) vorausschauend und intelligent den Energieeinsatz managet. Selbstständige Funktionen des Systems mit einer Selbstüberwachung der Systemkomponenten runden die Ansprüche an eine Gebäudeleittechnik für Schulen ab und stellen damit den aktuellen Stand der Technik dar.

Eine derartige Leittechnik nach dem Stand der Technik regelt und steuert somit nicht nur Raumtemperaturen, Luftwechsel, Beschattung und Beleuchtung, sondern greift aktiv in das Facility-Management ein.

Eine moderne GLT (Gebäude-Leit-Technik) setzt ein vernetztes Gebäude voraus, um alle relevanten Geräte, Systeme, Aufenthalts- und Unterrichtsräume gezielt messen und regeln zu können. Im Rahmen eines geplanten Neubaus können entsprechende Netzwerke geplant und ausgeführt werden. Im Sanierungsfall können alternative Systeme zur Ausführung kommen. Dazu zählen Funksysteme und Netzwerktechniken, die sich der bereits verlegten Netzspannungsleitungen bedienen.

Die Vernetzung des Gebäudes spielt eine entscheidende Rolle und stellt den geforderten aktuellen Stand der Technik dar. Wie auch im Kapitel der Lüftungstechnik (Abschnitt 5.9, S. 130) aufgezeigt wird, ist eine dynamische Anpassung der Außenluftversorgung von entscheidender energetischer Bedeutung. Um dies zu erreichen, sind CO<sub>2</sub>-Sensoren in jedem Unterrichtsraum einzuplanen und auszuführen. Alternativ können Mischgassensoren eingesetzt werden, wenn zusätzlich andere Stoffe in der Raumluft integral erfasst werden sollen. Im Normalfall sind CO<sub>2</sub>-Sensoren einzusetzen.

Da, wie in dieser Studie aufgezeigt, flächige Heiz- und Kühlsysteme bevorzugt einzusetzen sind, ergeben sich zusätzliche regelungstechnische Parameter, die zu beachten sind. Bei Kühlsystemen müssen gegebenenfalls Feuchtigkeitsfühler eingesetzt werden, um Kondensatbildung zu vermeiden. Speziell bei aktivierten Bauteilen (Betonkernaktivierung, TABs, usw.) sind die Trägheit des Systems zu berücksichtigen und im Heiz- und Kühlfall entsprechende Regelalgorithmen vorzusehen.

---

<sup>23</sup> DIN V 18599 Teil 4 (Version Februar 2007): „Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung“



## 5.8 Raumlufqualität

### 5.8.1 Allgemeines zu den Anforderungen an die Raumlufqualität

Die Luft in Klassenräumen kann aufgrund vielfältiger Ursachen mit luftfremden Stoffen belastet sein.

So können Emissionen aus Baustoffen und Einrichtungsgegenständen zu diesen Belastungen beitragen. Diese lassen sich aber bei einer ausreichend sensiblen Auswahl der Baustoffe und Einrichtungsgegenstände vermeiden. Gleiches gilt für die Emissionen, die aus Reinigungs- und Putzmittel austreten und zu Belästigungen oder Beschwerden führen können. Die Emissionen, die bspw. bei Versuchen im naturwissenschaftlichen Unterricht oder bei der Durchführung von Werkarbeiten freigesetzt werden können, sind meistens von kurzfristiger Dauer und die Konzentration der freigesetzten Stoffe kann durch gezieltes Lüften verringert werden.

Während die genannten Emissionsursachen innerhalb des Gebäudes gut beherrschbar bzw. vermeidbar sind, sind Emissionsquellen im Umfeld des Schulgeländes weniger oder gar nicht durch Maßnahmen zu beeinflussen. Ein zunehmendes Problem stellt hier der Feinstaub dar, der unterschiedlichsten Emissionsquellen zugeordnet werden kann. Darüber hinaus sind vielfältige Emissionsquellen im Umfeld einer Schule denkbar. Das Eindringen des Feinstaubes und anderer Emissionen kann nur durch eine Filterung bzw. Behandlung der zugeführten Außenluft vermieden werden. Die freie Zufuhr von Außenluft in die Schulräume sollte in diesen Fällen vermieden werden.

Ein in den letzten Jahren verstärkt diskutiertes Problem ist die aufgrund unzureichender Lüftung auftretende Anreicherung der Raumluf mit Stoffwechselprodukten, wobei hier insbesondere das Kohlenstoffdioxid zu nennen ist. Dieses Problem der Verschlechterung der Luftqualität tritt in allen Räumen auf, die über längere Zeit mit einer großen Anzahl von Menschen belegt sind und eine ausreichende Lüftung unterbleibt. Zu diesen Räumen zählen Gruppenräume in Kindergärten genauso wie die Klassenräume in Schulen. Darüber hinaus tritt dieses Problem zwangsläufig auch in allen Versammlungsräumen, die bis zu 200 Menschen Platz bieten und nicht unter die Versammlungsstättenverordnung fallen.

Der zeitliche Verlauf der Kohlendioxidkonzentration in Räumen hängt von

- dem Volumen des betrachteten Raumes  $V$ ,
- der im Raum emittierten Kohlendioxidmenge  $Q$  (Quellstärke),
- der Kohlendioxidkonzentration in der Außenluft  $c_{Umg}$  und
- dem Luftwechsel  $n$

ab und kann ausgehend von der Konzentration des Kohlenstoffdioxids zu Beginn der Betrachtung  $c_0$  durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$c(t) = c_0 \cdot e^{-nt} + \left( c_{Umg} + \frac{Q}{nV} \right) (1 - e^{-nt}) \quad 5-1$$

Die Quellstärke d. h., die im Raum freigesetzte Kohlendioxidmenge hängt von der Anzahl der anwesenden Personen, deren Alter und Aktivitätsgrad ab. In Tabelle 5-6 sind die spezifischen Abgaberraten pro Person angegeben.

Tabelle 5-6: CO<sub>2</sub>-Abgaberraten pro Person in Liter/Stunde<sup>24</sup>

Alter [Jahre]	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 14	>14
Ruhe	2,3	4,8	14	20	22
Leichte Aktivität	4,8	9,7	28	38	43
Mäßige Aktivität	9,7	20	25	77	85
Intensive Aktivität	17	33	102	135	152

Durch die innere und äußere Gebäudeaerodynamik d. h., durch die windbedingte Gebäudeumströmung und den thermischen Auftrieb im Gebäude entstehen Druckdifferenzen, die zu einem Austausch von Innen- mit Außenluft führen, den sogenannten natürlichen Luftwechsel. Die Stärke des Luftwechsels hängt insbesondere von den Öffnungen in der Gebäudehülle ab. In diesem Zusammenhang sind das Alter und die Stellung der Fenster von Bedeutung, vgl. Tabelle 5-7.

Tabelle 5-7: Abhängigkeit des Luftwechsels  $n$  von Alter und Stellung von Fenstern<sup>24</sup>

Lüftungsart	Luftwechselzahl [h <sup>-1</sup> ]
Isolierfenster geschlossen	0,2 – 0,4
Einfache Fenster geschlossen	0,5 – 0,8
Oberlichter geöffnet	1,0 – 2,0
Kipplüftung	3 – 10
Fenster weit geöffnet	10 – 20

### 5.8.2 Kohlenstoffdioxid-Grenzwerte

Für den Fall, dass keine anderen Emissionsquellen wie z. B. Baustoffe oder Einrichtungen wirken, hängt die Lufthygiene in einem Raum nur von der Außenluftqualität und den Stoffwechselprodukten der Nutzer ab. Wie Pettenkofer bereits im 19. Jahrhundert feststellte, lässt sich eine Aussage über die Qualität der Raumluft anhand der Kohlendioxidkonzentration

<sup>24</sup> Quelle: Handbuch zum QUIRL/CO<sub>2</sub>, Niedersächsisches Landesgesundheitsamt

on festmachen. Er sprach als Erster von einem in der Raumluft einzuhaltenen Grenzwert des Kohlenstoffdioxids in Höhe von 1.000 ppm (0,1 Vol-%) (Pettenkofer-Zahl).

Bei einer Kohlendioxidkonzentration von 1.000 ppm in der Raumluft setzen die ersten Reaktionen bei Probanden ein und rund 20 % der Personen empfinden die Raumluft als unbefriedigend<sup>25</sup>. Es setzen Ermüdungserscheinungen und Konzentrationsschwächen ein.

Grenzwerte für die Kohlendioxidkonzentration in der Raumluft werden in Deutschland nur bei Vorhandensein raumlufttechnischer Anlagen vorgegeben. Bis 2005 war nach DIN 1946 T.2 in Räumen mit raumlufttechnischen Anlagen der Grenzwert 1.500 ppm einzuhalten. Bei dieser Konzentration sind 35 % der Personen im Raum mit der Raumluftqualität unzufrieden.

In der Nachfolgenorm DIN EN 13779 (09.2007) (vgl. Tabelle 5-8) wird die Raumluft in Abhängigkeit der Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration gegenüber der Außenluft in vier InDoorAir-Qualitätsstufen (IDA) klassifiziert, um darüber ein bedarfsgerechtes Lüftungssystem auslegen zu können.

Eine hohe Raumluftqualität ist erreicht, wenn die Kohlendioxidkonzentration maximal 400 ppm über der Umgebung liegt. Eine schlechte Raumluftqualität liegt vor, wenn die Kohlendioxidkonzentration in der Raumluft um mehr als 1.000 ppm über der Außenluft liegt. Die erforderlichen Außenluftvolumenströme, die zum Erreichen einer IDA-Klasse erforderlich ist, können anhand der Lüftungsrate ermittelt werden.

Der ASHRAE-Standard 62-2001<sup>26</sup> empfiehlt als obere Grenze für Klassenräume eine Kohlendioxidkonzentration, die 700 ppm über der Konzentration in der Außenluft liegt.

*Tabelle 5-8: Klassifizierung der Raumluftqualität nach DIN EN 13779*

Klasse	Raumluftqualität	Erhöhung der CO <sub>2</sub> -Konzentration gegenüber der Außenluft [ppm]	Resultierende CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Raumluft bei 400 ppm CO <sub>2</sub> in der Außenluft [ppm]	Lüftungsrate [l/s/Pers.]
IDA 1	hoch	≤ 400	≤ 800	> 15
IDA 2	mittel	> 400 - 600	> 800 – 1.000	> 10 - 15
IDA 3	mäßig	> 600 – 1.000	> 1.000 – 1.400	> 6 - 10
IDA 4	schlecht	> 1.000	> 1.400	< 6

Der im August 2008 vom Umweltbundesamt (im folgenden UBA) veröffentlichte Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden<sup>27</sup> schildert die von einer Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygienekommission und der obersten Landesgesundheitsbehörden vorgelegten Bewertung für Kohlenstoffdioxid in der Innenraumluft. Danach werden Leitwerte für die

<sup>25</sup> Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Luftqualität in Innenräumen, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287, 1997, Wien

<sup>26</sup> ANSI/ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for acceptable indoor air quality, 12, 2001

<sup>27</sup> Umweltbundesamt – Innenraumluftthygiene – Kommission des Umweltbundesamtes: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, 2008, Dessau-Roßlau

Kohlendioxidkonzentrationen in der Innenraumluft festgelegt, die bezogen auf die aktuelle vorliegende Konzentration als Momentwerte zu sehen sind. Es werden drei Stufen unterschieden:

- $\text{CO}_2 < 1.000 \text{ ppm}$ : hygienisch unbedenklich
- $\text{CO}_2 1.000 - 2.000 \text{ ppm}$ : hygienisch auffällig
- $\text{CO}_2 > 2.000 \text{ ppm}$ : hygienisch inakzeptabel
- 

Es werden folgende Handlungsempfehlungen gegeben:

- Bei Überschreitung von 2.000 ppm muss gelüftet werden.
- Bei Überschreitung von 1.000 ppm soll gelüftet werden.
- 

In beiden Fällen ist eine Unterschreitung von 1.000 ppm anzustreben. Sollte die Situation auf Dauer durch Lüften nicht verbessert werden, so fordert der Leitfaden Lüftungstechnische Maßnahmen oder eine Verringerung der Zahl der Schülerinnen und Schüler im Klassenraum.

Die in der Schule von den Schülern erbrachte Leistung wird von der Raumluftqualität maßgebend beeinflusst. In zahlreichen Untersuchungen wurde dies experimentell bestätigt<sup>28</sup>. Eine Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration von 500 bis 1.000 ppm über der Konzentration in der Außenluft hat beispielsweise eine Verschlechterung der schulischen Leistung von 20 Prozent zur Folge.

## 5.9 Lüftung

Dem Lüftungssystem kommt mit der Heizungsanlage und der Fassade eine zentrale Bedeutung zu. Das Lüftungssystem entscheidet über mögliche Lüftungsenergieverluste ebenso wie über die Energieverbräuche der Heizungs- und Kälteanlage. Dabei werden zusätzlich die Bereiche der Raumakustik, Luftqualität und  $\text{CO}_2$ -Konzentration berührt, wodurch die Komplexität der Integration des Lüftungssystems in ein integrales Planungskonzept aufgezeigt wird. Daher muss in neu zu errichtenden, wie auch zu sanierenden Schulen untersucht werden, wie und vor allem welche Lüftungsprinzipien eingesetzt werden. Hohe Standzeiten mit geringstem Wartungsaufwand sind ebenso zu fordern, wie Robustheit gegen Vandalismus und effektive Wärmerückgewinnung. In diesem Spannungsfeld zeigt der Stand der Technik verschiedene Lösungsvarianten auf. Dazu zählen zentrale raumlufttechnische Anlagen ebenso wie dezentrale Systeme mit und ohne Latentspeichersysteme (PCM), die helfen können, speziell den schulischen Vorgaben zu entsprechen.

Die meisten deutschen Schulgebäude sind alt und entsprechen nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik. Dieser Umstand hängt zum Teil mit dem Sanierungsstau zusammen. Die Kommunen können ihre Gebäude aufgrund fehlender Gelder entweder nicht, oder nur sehr unzureichend modernisieren. In manchen Kommunen gelten Haushaltssperren, wodurch nur noch das Nötigste saniert und renoviert werden kann.

---

<sup>28</sup> Olesen, B. W.: Steigerung der Leistungsfähigkeit bei einem optimalen Raumklima in Schulen. Technische Universität Dänemark, CCI Fachveranstaltung 2009 Stuttgart

Durch das Konjunkturpaket II erhalten die Kommunen und andere öffentliche Träger einen finanziellen Anreiz ihre Schulgebäude energetisch zu sanieren. Die dabei geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie z. B. die EnEV, führen zu hochgedämmten Schulgebäuden. Aufgrund der hohen Personenbelegung und der damit einhergehenden zwingenden Vorgaben für die Außenluftversorgung (DIN EN 15251 und DIN EN 13779), spielt die Wahl des Belüftungssystems eine entscheidende Rolle.

Bei Sanierungen muss zu Beginn eine wichtige Entscheidung getroffen werden und zwar: Soll das Gebäude über eine freie Lüftung verfügen oder soll es über eine Lüftungsanlage gelüftet und belüftet werden?

Die freie Lüftung stellt nach dem aktuellen Stand der Technik keine wirkliche Alternative dar. Zwar wird in aktuellen Untersuchungen, wie auch in diesem Forschungsvorhaben, prinzipiell eine Raumluftqualitätsverbesserung festgestellt, diese ist aber weder definiert quantifizierbar, noch reproduzierbar einzuregeln. Dies begründet sich primär durch die auf das Gebäude einwirkenden instationären Anströmungsverhältnisse.

Meistens werden bei der freien Lüftung alle Fenster geöffnet wobei im Winter die Schüler, die an den Fenstern sitzen, anfangen zu frieren. Dies hat zur Folge, dass die Heizkörperventile öffnen und als Folge die Heizkosten trotz Sanierung steigen.

Somit ist direkt erkennbar, dass eine Sanierung der Gebäudehülle zwingend mit einem sinnvollen Belüftungssystem gekoppelt ist. Dies wird auch vom Bundesamt für Gesundheit und Umwelthygiene in ihrem „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“<sup>29</sup> befürwortet. Die darin beschriebenen Vorteile, wie z. B. das Einhalten der Mindestluftwechselzahl, der energetische Vorteil durch Wärmerückgewinnung und die Möglichkeit im Sommer durch Intensivlüftung zur Gebäudeabkühlung beizutragen, liegen auf der Hand.

Raumlufttechnische Anlagen in Schulgebäuden unterscheiden sich nach dem Stand der Technik nicht von Anlagen in anderen Nichtwohngebäuden. Gleichzeitig werden Ihre konstruktive Ausführung ebenso wie die planungstechnischen Vorgaben durch die selben Normen und Richtlinien reglementiert. Aus der Vielzahl der zurzeit gültigen Regeln sollen hier nur die wichtigsten aufgeführt werden.

#### **EnEV 2009/DIN V 18599:**

Die EnEV schreibt nach § 15 vor, dass raumlufttechnische Anlagen ab einem Gesamtvolumenstrom ab 4.000 m<sup>3</sup>/h mit einer Wärmerückgewinnung (WRG) auszurüsten sind. Im Übrigen verweist die EnEV auf die DIN V 18599 bezüglich weiterer einzuhaltender Randbedingungen bzw. auf das durchzuführende Berechnungsverfahren zum Nachweis der Einhaltung der EnEV hin. Diese Vorgaben der DIN V 18599 werden durch die begleitend zu beachtenden DIN EN 15251 und DIN EN 13779 geregelt.

#### **DIN EN 15251/13779:**

Beide Normen regeln unter anderem die einzuhaltenden Raumluftparameter, um thermische Behaglichkeit und ausreichende Außenluftversorgung zu sichern. Dabei sind unterschiedliche Raumluftqualitäten zulässig (IDA1 bis IDA4). Der VDI empfiehlt hierzu die Stufe IDA2, die sich weitestgehend mit bereits bekannten Festlegungen deckt und einen sinnvollen Kompromiss zwischen Komfort und Energieverbrauch darstellt. Die Normen regeln Raumlufttemperatur, Außenlufttraten, akustische Vorgaben und weitere Parameter. Bezüglich der

---

<sup>29</sup> Umweltbundesamt, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, 2008  
([http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3689](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3689))

Außenluftstraten werden verschiedene Berechnungsgrundlagen vorgeschlagen. Für Schulgebäude ist vorzugsweise das Verfahren auf Basis der aktuellen CO<sub>2</sub>-Raumlufkonzentrationen zu wählen.

#### **VDI 3803/3804:**

Beide Richtlinien stellen den Stand der Technik für die konstruktive Ausführung von raumluftechnischen Anlagen dar und beschreiben die zurzeit führenden Klimasysteme für Nichtwohngebäude, die auch auf Schulgebäude anzuwenden sind.

#### **VDI 6035:**

Neben den zuvor aufgeführten zentralen raumluftechnischen Anlagen (RLT) werden in Sanierungsfällen zunehmend dezentrale Lüftungsanlagen (DZL) eingesetzt. Die hierbei zu beachtenden komplexen Randbedingungen und daraus resultierenden umfangreichen Vorgaben für DZL sind in der VDI 6035 geregelt. Diese ist in Schulgebäuden bei geplanten DZL zu beachten.

#### **VDI 6022:**

In der VDI 6022 werden die hygienischen Vorgaben für RLT, DZL aber auch weitere technische Einrichtung der TGA geregelt.

### **4.9.1 Zentrale und dezentrale Lüftungsanlagen in Schulgebäuden**

Die grundsätzliche Entscheidung zwischen RLT und dezentraler Lüftungsanlage (DZL) wird im Allgemeinen an der Frage festgemacht, ob es sich im vorliegenden Fall um einen Neubau oder eine Sanierung handelt. Neubauten sind aufgrund des geringeren Wartungsaufwandes und der mit zentralen Einrichtungen verbundenen Vorteile (WRG, Filtergröße, mögliche Be- und Entfeuchtung ...) auszurüsten. In komplexen Sanierungsfällen, ohne die Möglichkeit Lüftungskanäle in ausreichender Dimensionierung nachzurüsten, stellen DZL eine sinnvolle Alternative dar, sind aber mit erheblich größerem Wartungsaufwand verbunden.

Eine eindeutige Empfehlung kann nicht gegeben werden. Schulgebäude sind entsprechend ihres Gesamtzustandes und Nutzungsprofils individuell zu behandeln. Bei der in diesem Forschungsprojekt begleitete Sanierung einer Schule hat es sich beispielsweise als vorteilhaft gezeigt, größere Bereiche mit jeweils einem eigenständigen Gerät zu versorgen. Dadurch wurden Installationsvorteile von DZL ebenso genutzt wie Wartungs- und Betriebsvorteile von zentralen RLT.

Als ebenfalls vorteilhaft zeigt sich in der Planungsphase ein hybrides Belüftungskonzept. Dieses sieht eine dezentrale Außenluftzuführung in den Schulräumen durch reine Belüftungsgeräte vor. Die Abluft wird dabei über ein zentrales Abluftgerät, ohne Kanalführung, durch Überströmöffnungen aus den Räumen in die Flurbereiche gesammelt. Im Abluftgerät wird zentral eine WRG durch eine Wärmepumpe umgesetzt, die das gewonnene Warmwasser dem Heizungssystem zuführt. Dadurch entfällt eine komplette Zu- und Abluftkanalführung. Problematisch bei diesem Konzept ist die nicht abschließend geklärte Umsetzung des Brand-schutzes bzw. der Brandgasführung und Abschottung.

Aus der Vielzahl der möglichen Argumente für die verschiedenen Systeme wurde eine Übersicht (Tabelle 5-9) erstellt, die eine Entscheidungsfindung unterstützen soll.

Tabelle 5-9: Vor- und Nachteile einer zentralen und dezentralen Lüftungsanlage in Schulgebäuden <sup>30</sup>

<b>Zentrale Lüftungsanlage</b>		<b>Dezentrale Lüftungsanlage</b>	
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Maximaler Komfort, auch unter extremen Außenluftzuständen	Hoher Installationsaufwand	Einfache Planung und Installation	Für Wartung und Reparaturen müssen die betroffenen Räume vom Wartungspersonal betreten werden
Energieeinsparung durch kontrollierte Lüftung mit Energierückgewinnung	Nachrüstung im Altbau relativ schwierig	Minimierung der Technikflächen	Hohe Wartung und Reparaturkosten durch hohen Zeitaufwand
Automatische Frischluftzufuhr (keine Fensterlüftung)	Hohe Brandschutzanforderung	Individueller Gerätebetrieb durch den Nutzer	Mögliche Probleme bei hohen Windlasten
Keine luftseitigen Zugerscheinungen oder Geräusche	Höherer Raumbedarf für die Aufstellung der Anlage	Bei guter Anlagenauslegung Minimierung der Betriebskosten	Filtration der Luft nur mit geringen Filterklassen möglich F5/F6; keine Höchstfiltration möglich
Abtransport von Schadstoffen, verbrauchter Luft und Feuchtigkeit	Keine Förderung in Deutschland, trotz nachweislich hoher Primärenergieeinsparung und Umweltentlastung	Bei Störung fällt nur ein Gerät aus, nicht die ganze Anlage	Keine freie Wahl der Außenluftansaugung
Verhinderung von Schimmelbildung		Keine oder nur geringe brandschutztechnische Anforderungen	Anlagen können nur in der Außenfassade eingesetzt werden
Lärmschutz		Können auch mit zentralen Abluftsystemen kombiniert werden	Ventilatoren direkt im Klassenraum, eventuell zu laut
Anlage kann im Keller oder auf dem Dach installiert werden		Keine Zuluftversorgungsleitung	Keine Belüftung von innenliegenden Räumen möglich
Belüftung auch von innenliegenden Räumen			Belüftung mehrerer Räume nicht möglich

<sup>30</sup> Zentrale Lüftungsanlage: [http://energieberatung.ibs-hlk.de/planLuK\\_lueftger\\_kwrl.htm](http://energieberatung.ibs-hlk.de/planLuK_lueftger_kwrl.htm); Dezentrale Lüftungsanlage: <http://www.bine.info/hauptnavigation/publikationen/publikation/gebäude-sanieren-schulen/lueftung/>

<b>Zentrale Lüftungsanlage</b>		<b>Dezentrale Lüftungsanlage</b>	
<i>Vorteile</i>	<i>Nachteile</i>	<i>Vorteile</i>	<i>Nachteile</i>
Wartung der Anlage ist einfach und kostengünstig			Wärmerückgewinnung mit gegenüber zentralen Systemen geringeren Wirkungsgraden
Bei Bedarf muss nur ein Filter ausgetauscht werden			Es werden mehrere Geräte pro Klassenraum benötigt
Hoher thermischer Komfort			Kühlleistung oft nicht ausreichend
Anpassung der Filterstufen an Standortbedingungen möglich			Im Kühlfall muss gegebenenfalls Kondensat erfasst und abgeführt werden
Planungs- und gegebenenfalls Gestaltungsfreiheit			



## 5.10 Akustik

Die sich innerhalb eines Raumes einstellenden akustischen Bedingungen sind eine direkte Folge der innerhalb des Raumes aktiven Geräuschquellen und der Ausgestaltung des Raumes.

Schul- und Unterrichtsräume lassen sich bezüglich der akustischen Bedingungen speziell unter dem Gesichtspunkt der Hörsamkeit in kleinen bis mittleren Räumen beurteilen (DIN 18041, Ausgabe Mai 2004). Darüber hinaus sind weitere Normen und Richtlinien zu berücksichtigen, in denen zugehörige Parameter und Berechnungsverfahren geregelt werden.

Grundsätzliches Ziel bei der Ausgestaltung eines Unterrichtsraumes muss es sein, die durch den Unterrichtenden/Lehrenden vorgetragenen Ausführungen gut verständlich an die Schüler zu übertragen. Dabei sollen Störgeräusche von außerhalb der Klasse durch geeignete Maßnahmen ebenso gedämpft werden, wie Geräusche durch raumluftechnische Anlagen. Ebenfalls zu berücksichtigen sind raumakustische Absorptionsflächen, die den Grundpegel in den durch Schüler besetzten Klassenräumen entsprechend absenken.

Werden die im Weiteren aufgeführten Planungs- und Ausführungshinweise nicht oder nur sehr unzulänglich berücksichtigt, wird Unterricht nur begrenzt und im Allgemeinen nur sehr ineffektiv möglich sein.

Die durch zu hohe Grundpegel in Aufenthaltsräumen, bzw. an Arbeitsplätzen zu erwartenden Probleme können nach VDI 2058 sein:

psychisch:

- Verärgerung,
- Anspannung,
- Resignation,
- Angst,
- Nervosität,

physisch:

- Erhöhung des systolischen und/oder diastolischen Blutdrucks,
- Verengung der peripheren Blutgefäße,
- Erhöhung von Stresshormonwerten,
- verstärkte Magnesium-Ausscheidung,
- Veränderung von Atem- und Herzrhythmus,
- Verringerung der Magen- und Darmbewegung.

### 5.10.1 Grundlagen

Um die im Weiteren aufgezeigten Untersuchungsergebnisse und Ausführungs- sowie Planungsvorschläge korrekt umsetzen zu können, sind sowohl die hier aufgeführten akustischen Grundlagen wichtig, als auch die Ausführungen unter Kapitel 2.4.4, S. 53.

Die in einem Raum installierten akustisch wirksamen Maßnahmen sollten ihre Hauptwirkung in den Bereichen der menschlichen Sprache haben. Diese bewegt sich im Bereich von wenigen 100 Hz bis etwa bei 5.000 Hz. Das menschliche Ohr kann allerdings Geräusche und Töne über diesen Bereich hinaus von ca. 20 Hz bis 20.000 Hz wahrnehmen. Dieses maximale Spektrum wird allerdings nicht von jedem wahrgenommen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass speziell die höheren Frequenzbereiche mit zunehmendem Alter schlechter oder gar nicht mehr gehört werden können. Übermäßige Belastungen der Ohren (z. B. durch zu laute Musik), aber auch Erkrankungen und Stress können dieses Spektrum einschränken, als auch selektiv beeinflussen.

Die durch Schallquellen an die Luft abgegebenen Druckschwankungen breiten sich in der Luft bis an das Ohr aus. Das menschliche Ohr empfindet aufgrund seiner organischen Konstruktion die Geräusche als Druckschwankungen, die als Nervenregungen an das Gehirn weitergeleitet werden. Die kleinste von einem gesunden Ohr empfundene Schalldruckschwankung ist der international definierte Bezugsdruck von  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ . Schalldrücke ab ca. 20 N/m<sup>2</sup> werden bereits als sehr schmerzvoll wahrgenommen und sind zu vermeiden. Es hat sich international durchgesetzt, den tatsächlich physikalischen Schalldruck auf die Hörschwelle zu beziehen. Da sich wie aufgezeigt das Empfindungsvermögen des menschlichen Ohres über mehrere 10er-Potenzen erstreckt, wird dieser Quotient logarithmiert. Der so definierte Schalldruckpegel ergibt sich zu

$$L_p = 10 \cdot \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 [dB].$$

Neben dem am Ohr empfundenen Schalldruckpegel ist vor allem die tatsächliche Leistung der Schallquelle relevant. Diese wird einerseits durch Effekte wie Absorption abgebaut, andererseits auf eine mit dem Abstand zur Quelle zunehmende Fläche verteilt. Dadurch nimmt der lokale Eindruck ( $L_p$ ) in Abhängigkeit vom Abstand zur Geräuschquelle und der Raumbeschaffenheit ab. Der diesbezügliche Schalleistungspegel ist wie folgt definiert:

$$L_w = 10 \cdot \log \left( \frac{W}{W_0} \right) [dB].$$

Die zugehörige Bezugsgröße (kleinste wahrnehmbare Leistung) ist:  $W_0 = 10^{-12}$  Watt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass beide Größen ( $L_p$ ,  $L_w$ ) in gleichen Einheiten gemessen werden, aber grundsätzlich verschiedene physikalische Größen sind. Im akustischen Freifeld ergibt sich zwischen der Schalleistung und dem lokal empfundenen Schalldruckpegel als Funktion des Abstandes zur Quelle folgender Zusammenhang:

$$L_w = L_p + 10 \cdot \log \left( \frac{S}{S_0} \right).$$

Mit  $S_0 = 1 \text{ m}^2$  und  $S$  = Kugeloberfläche einer ungestört in alle Richtung abstrahlenden Schallquelle.

Neben der Definition des Schalldruck- und des Schalleistungspegels ist es wichtig, die Empfindung des menschlichen Ohres auf die unterschiedlichen Frequenzen beurteilen zu können. Im Bereich der menschlichen Sprache hört bzw. empfindet das Ohr gut während es speziell im unteren Frequenzbereich in seinem Empfinden stark nachlässt. Physikalisch exakt arbeitende Messinstrumente, wie sie im Rahmen dieser Untersuchung verwendet wurden,

bedienen sich daher technischer Einrichtungen, um das Hörvermögen des menschlichen Ohres zu berücksichtigen. Dazu werden die in den Terz- bzw. Oktav-Bändern gemessenen Schalldruckpegel korrigiert (A-Bewertung).

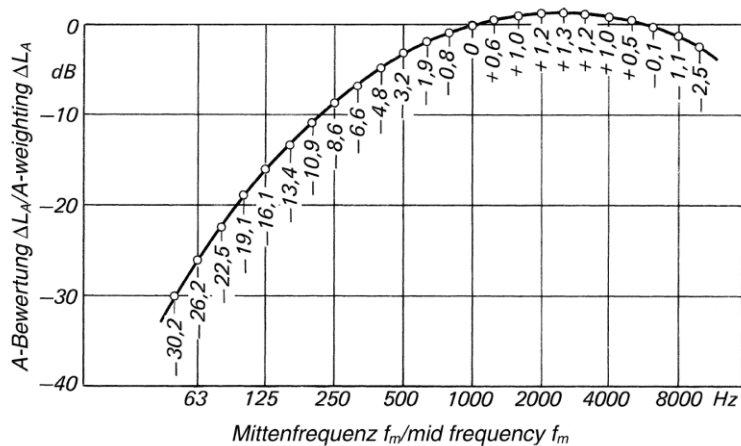


Abbildung 5-2: Korrekturwerte bei entsprechenden Mittenfrequenzen der Terzbänder nach VDI 2081

Abbildung 5-2 gibt nach VDI 2081 die Korrekturwerte bei entsprechenden Mittenfrequenzen der Terzbänder an, mit denen die tatsächlich gemessenen Schalldruckpegel korrigiert werden. Es hat sich allgemein als nützlich erwiesen, einen Einzahlwert als Gesamtschalldruckpegel anzugeben, der aus den Einzel-Schalldruckpegeln in den Frequenzbändern gebildet wird:

$$L_{p\ ges.} = 10 + \log \left( \sum_{i=f_u}^{f_o} 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)} \right) \quad 5-2$$

Dieser Schalldruckpegel, der am jeweiligen Arbeitsplatz lokal am Ohr empfunden wird, sollte je nach Anforderung an die Tätigkeit bestimmte Grenzwerte (z. B. nach VDI 2081) nicht überschreiten. Für Klassen- und Seminarräume liegt dieser Wert zwischen 35 dB(A) und 40 dB(A).

### 5.10.2 Raumakustik

Aufbauend auf den zuvor genannten Grundlagen muss die sich einstellende Raumakustik abgeleitet und bei der Planung und Sanierung von Schul- und Seminarräumen berücksichtigt werden. Grundsätzlich wurde bereits auf die Zusammenhänge zwischen der Schalleistung und dem am Ohr empfundenen Schalldruck eingegangen. Wichtig sind die physikalischen Phänomene, die zu einer Abnahme des Schalldruckpegels im Raum führen und eine Reflexion der Schalldruckwellen und damit einen Nachhall unterdrücken.

Der Nachhall und die Reduzierung des lokalen Schalldruckpegels beruhen neben anderen Phänomenen primär auf dem Absorptionsvermögen der Oberflächenmaterialien der Schul- und Seminarräume. Die auf diese Oberfläche treffenden Schalldruckwellen werden, entsprechende Porosität und Materialbeschaffenheit vorausgesetzt, durch Reibung und Verformungsarbeit primär in Wärme gewandelt und somit absorbiert.

Dieser Vorgang unterbindet Reflexionen und unterstützt den Abbau des Schalldruckfeldes, wodurch gute sprachliche und gesangliche Verständigung möglich wird. Dieser Zusammenhang lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$L_w = L_p - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right) \text{ [dB]} \quad 5-3$$

mit  $Q$  = Richtungsfaktor,  $r$  = Abstand zur Schallquelle und  $A$  = Absorptionsfläche des Raumes in  $\text{m}^2$ -Sabine (siehe auch VDI 2081).

Aufgrund des mit dem Abstand rasch abnehmenden Einflusses des Richtungsfaktors wird deutlich, dass die sich im Raum einstellende Raumakustik maßgeblich durch die Absorptionsfläche des Raumes bestimmt wird.

Die Absorptionsfläche eines Raumes lässt sich im Planungsfall theoretisch abschätzen und im bereits ausgeführten Fall messtechnisch erfassen bzw. überprüfen.

Im Planungsfall erfolgt die Berechnung der Absorptionsfläche nach DIN EN 12354 Teil 6. Hierzu müssen die akustischen Stoffdaten als Eingangsgrößen bekannt sein. Diese können neben der DIN EN 12354 Teil 6 weiteren Datenbanken entnommen werden. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die so berechneten äquivalenten Absorptionsflächen eines Raumes hinreichend genau sind, um bereits im Planungsfall die sich einstellende Raumakustik abzuschätzen.

Im bereits ausgeführten Fall kann der zuvor berechnete Wert überprüft, bzw. im Sanierungsfall ermittelt werden. Über die sogenannte Sabine-Gleichung sind Raumvolumen, Absorptionsfläche und messtechnisch zu ermittelnde Nachhallzeit eines Raumes gekoppelt:

$$A = 0,163 \cdot \frac{\text{Raumvolumen [m}^3\text{]}}{\text{Nachhallzeit [s]}} \text{ [m}^2\text{ Sabine]} \quad 5-4$$

Dabei gilt der Koeffizient für eine von der Raumtemperatur abhängige Schallgeschwindigkeit von 345,6 m/s. Die Nachhallzeit wird vorzugsweise in den für die menschliche Sprache relevanten Terzbändern von 125 Hz bis 8000 Hz gemessen.

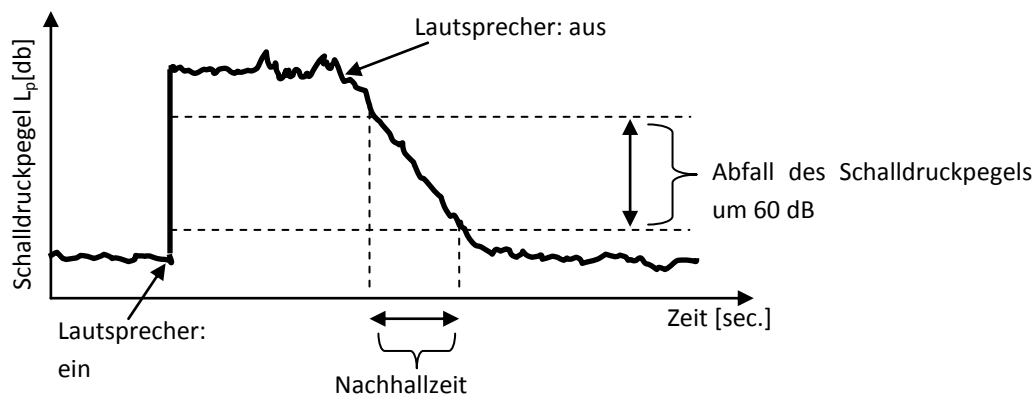


Abbildung 5-3: Messverlauf zur Ermittlung der Nachhallzeit

Abbildung 5-3 gibt den typischen Messverlauf zur Ermittlung der Nachhallzeit an. Mittels vorzugsweise weißem oder rosa Rauschen wird der Schalldruckpegel über einen Lautsprecher in einem zu untersuchenden Raum auf einen Maximalwert angeregt. Nach Abschaltung des Geräusches wird die Zeit als Nachhallzeit im jeweiligen Frequenzband erfasst, in der der Schalldruckpegelabfall um 60 dB abfällt.

Aufgrund der sabinschen Gleichung ist direkt zu erkennen, dass die Nachhallzeit entscheidenden Einfluss auf die Raumakustik und damit Sprachverständlichkeit in z. B. Schul- und Seminarräumen hat.

In der DIN 18041 (Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen) ist daher die einzuhaltende Nachhallzeit geregelt.

Für Sprache ergibt sich eine Nachhallzeit von maximal:

$$T_{NZsoll} = 0,37 \cdot \log(\text{Raumvolumen}) - 0,14 \text{ [s]} \quad 5-5$$

In Unterrichtsräumen gilt:

$$T_{NZsoll} = 0,32 \cdot \log(\text{Raumvolumen}) - 0,17 \text{ [s]} \quad 5-6$$

Grafisch nach DIN 18041 ergibt sich für die verschiedenen Nutzungsarten eines Raumes Abbildung 5-4 in Abhängigkeit des Raumvolumens:

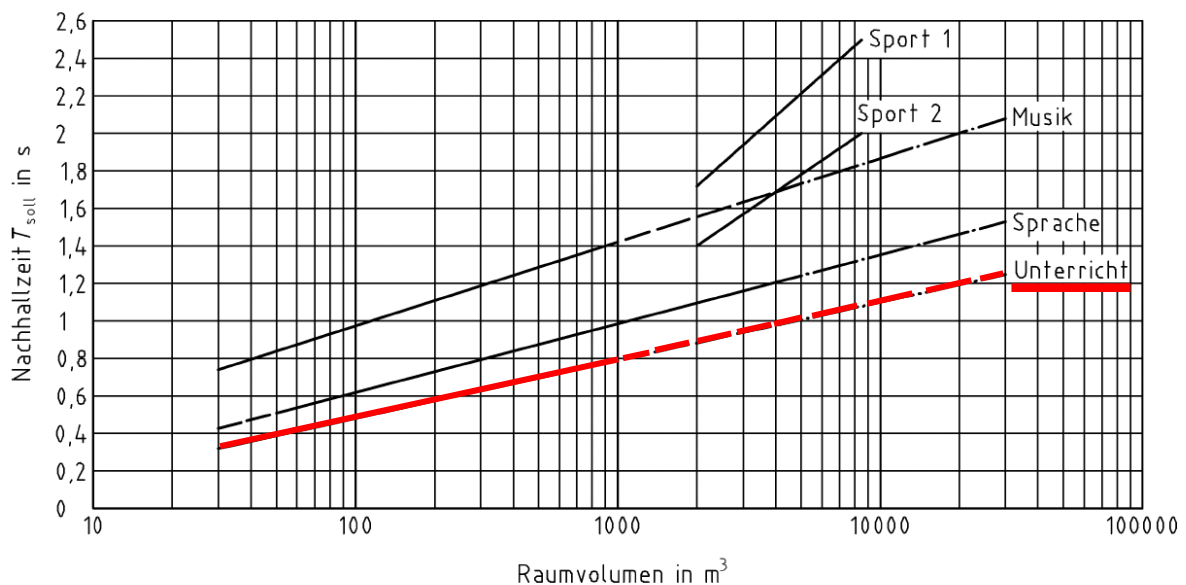


Abbildung 5-4: Sollwert  $T_{soll}$  der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten<sup>31</sup>

Die in den meisten hier untersuchten Klassenräumen geforderte maximale Nachhallzeit liegt daher deutlich unter 1,0 s. Vorzugsweise unter 0,7 s.

<sup>31</sup> DIN 18041, Version Mai 2004, Seite 14, Bild 1

## 5.11 Kühlung

Die Temperatur in einem Raum nimmt Einfluss auf die Behaglichkeit des Menschen. Thermische Behaglichkeit herrscht, wenn er die Temperatur weder als zu warm noch zu kalt empfindet. Welche Temperatur das ist, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, z. B. der Lufttemperatur, der durchschnittlichen Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen, dem Aktivitätsgrad, dem allgemeinen Wohlbefinden, der Kleidung usw.

In Klassenräumen liegt die Temperatur für die thermische Behaglichkeit in der Regel in dem Bereich von 20 °C bis 26 °C. Doch in den Übergangszeiten und besonders im Sommer wird dieser Temperaturbereich sehr schnell überschritten. Konsequenz daraus ist die merkliche Abnahme der geistigen und körperlichen Leistungsfähigkeit der Schüler und Lehrer.

Quellen für den Anstieg der Temperatur sind:

- Einfallende Sonnenstrahlung durch die Fenster
- Wärmeeintrag über Wände und Decken
- Personen
- Computer und die dazugehörige Peripherie
- Beleuchtung

Besonders Räume in denen sich schon hohe thermisch innere Lasten befinden, z. B. ein vollbesetzter EDV-Klassenraum in dem alle Computer in Betrieb sind, sind für einen Temperaturanstieg prädestiniert. Scheint die Sonne in den Raum (Sonnenschutz fehlt bzw. ist nicht betätigt) und/oder die Außentemperatur steigt, kommt es sehr schnell zur Überhitzung. Doch auch in einem besetzten Standard-Klassenraum mit entsprechender Ausrichtung und fehlendem Sonnenschutz kann die Temperatur auf ein unbehagliches Maß steigen.

Was kann also getan werden, um dem Temperaturanstieg entgegenzuwirken? Am besten ist es bereits, im Vorfeld mögliche Wärmequellen in den Räumen zu reduzieren, denn Wärme, die gar nicht erst im Raum anfällt, muss auch später nicht abgeführt werden. Dies fängt bereits bei der Planung des Gebäudes an (Lage, Ausrichtung, Materialwahl, Betonkernaktivierung, Größe der Fenster usw.) und wird durch überlegte Planung der einzelnen Räume weitergeführt. So ist für jeden Klassenraum mit entsprechender Ausrichtung außen liegender Sonnenschutz vorzusehen (siehe Abschnitt 5.1.1.3, S. 114). Darüber hinaus ist zu prüfen, welche Technik in EDV-Räume nötig ist. Ist es z. B. möglich die Rechner durch Thin-Clients zu ersetzen (siehe Abschnitt 7.2.1, S. 188)?

Sollten diese Maßnahmen nicht ausreichen bzw. nicht mehr durchführbar sein, gibt es andere Möglichkeiten, eine Schule oder einzelne Räume zu kühlen bzw. die Wärmelastspitzen abzufangen:

- Einbringen kühlerer Luft über eine Lüftungsanlage  
In dem Fall sollte sich zur Energieeinsparung ein Wärmerückgewinner in der Anlage befinden. Zudem ist zu prüfen, ob eine Alternative zur konventionellen Kältebereitstellung eingesetzt werden kann, z. B. Brunnenwasser/Grundwasser, ein fließendes Gewässer in der Nähe, Kühlturm usw.

- **Einbau einer Kühldecke**  
Eignet sich besonders für den Sanierungsfall und kann auch für den Heizfall eingesetzt werden. Je nach Auslegung und Betrieb lassen sich Räume kühlen oder Wärmelastspitzen abfangen. Vorteilhaft ist Kühldecken mit Grundwasser zu betreiben, dadurch sind sie ökologisch und bzgl. der Betriebskosten ökonomisch. (Mehr zur Funktion in Abschnitt 6.1, S. 144)
- **Einbau einer Schwerkraftkühlung/Kühlkonvektoren**  
Eignet sich auch für den Sanierungsfall. Wie auch schon bei der Kühldecke gilt auch hier, die Schwerkraftkühlung kann je nach Auslegung und Betrieb entweder kühlen oder die Wärmelastspitzen abfangen. Bei entsprechender Auslegung kann sie zusätzlich die Luft entfeuchten. Zum Betrieben reicht ebenfalls Grundwasser aus. (Mehr zur Funktion in Abschnitt 6.1, S. 144)
- **Einbringung von PCM (Phase Change Material)**  
Eignet sich zum Abfangen der anfallenden Wärmelastspitzen über den Tag. Dazu wird PCM als zusätzliche Speichermasse in den Raum eingebracht. Bei PCM handelt es sich um Latentwärmespeicher (evtl. bekannt als regenerierbarer „Taschenwärmer“). Beim Phasenübergang von fest zu flüssig wird Wärme benötigt, in diesem Fall die Raumwärme. Damit PCM am nächsten Tag die Raumwärme wieder für den Phasenübergang nutzen kann, muss es in der Nacht regeneriert werden. Dazu reicht es in den meisten Fällen aus, die kühle Nachtluft über das PCM zu führen. (Mehr in Abschnitt 7.2.4, S. 197)
- **Nutzung der Nachtkühlung**  
Eignet sich auch zum Abfangen der anfallenden Wärmelastspitzen, die im Laufe des Tages auftreten. Bei der Nachtkühlung wird im Sommer die kühlere Nachtluft durch das Gebäude geleitet. Auf diese Weise reduziert sich die Temperatur in den Bauteilen, um am nächsten Tag wieder entstehende Wärme speichern zu können. Die Nachtkühlung unterscheidet passiv und aktiv. Bei der passiven Nachtkühlung handelt es sich um freie Lüftung, die von der Wetterlage und dem Wind abhängig ist. Für die aktive Nachtlüftung wird die kältere Nachtluft mechanisch in das Gebäude geleitet.

## 5.12 Green IT - Thin-Clients

Weiterführende Informationen zu Green-IT – Thin-Clients sind in Abschnitt 7.2.1 (S. 188) zu finden.





## **6 Messtechnische Untersuchungen und Analysen nach Durchführung einzelner aktueller Sanierungsmaßnahmen an den Wirtschaftsschulen**

### **6.1 Umgestaltung eines Computerunterrichtsklassenraumes mit zwei Kühlsystemen an der Wirtschaftsschule Steinfurt**

Besonders bei höheren Außentemperaturen überhitzen besonders Computerunterrichtsräume sehr schnell, dies führt zu hohen negativen Auswirkungen der thermischen Behaglichkeit und zu Leistungs- und Konzentrationseinbußen bei den Schülern. Grund sind die hohen inneren Lasten in einem Computerraum. In jedem Klassenraum entstehen innere Lasten durch die Schüler und die Beleuchtung. In einem Computerraum entstehen zusätzliche innere Lasten durch Rechner und Bildschirme. Bei einem Anstieg der Außentemperatur steigt auch sehr schnell die Temperatur im Raum an. Dies ist auch an den Wirtschaftsschulen der Fall. Die Computerunterrichtsräume befinden sich im 3. Obergeschoss und sind nach Westen ausgerichtet.

Im Rahmen der Simulation mit dem Programm DesignBuilder wurde unter anderem der Raum 326 genauer betrachtet, dabei handelt es sich um einen ca. 80 m<sup>2</sup> großen Raum mit 31 Rechnern und 31 Bildschirmen. Die Simulation des voll besetzten Raumes an einem warmen Sommertag ergab, dass die maximale sensible Kühllast ca. 10 kW beträgt und bereits um 10 Uhr eine Innenraumtemperatur von 40 °C erreicht ist. Gespräche mit den Fachlehrern und Temperaturmessungen des Hausmeisters aus dem letzten Sommer bestätigen die Simulationsergebnisse.

Überlegungen des Kreises Steinfurt und der Fachhochschule, der Überhitzung in den Computerräumen entgegen zu wirken, nahmen in Gesprächen schnell Gestalt an. Es wurde festgelegt, in einem Computerraum parallel zwei Varianten von Raumkühlsystemen zu untersuchen.

Bei dem ausgewählten Computerraum handelt es sich um Raum 319 der Wirtschaftsschule. Im Rahmen von Umbaumaßnahmen musste der Raum erweitert werden, sodass dort in dem gleichen Zeitraum die Installation der Kühlsysteme stattfinden konnte. In dem neu fertiggestellten Raum befinden sich 27 Computerarbeitsplätze und zusätzlich ein Rittalsserver.

Bei dem Kühlsystem 1 handelt es sich um eine Hochleistungskühldecke und bei dem Kühlsystem 2 um ein Schwerkraftkühlsystem. Die Installation beider Systeme in einem Raum bietet zum einen die Möglichkeit, das Kühlverhalten beider Systeme von denselben Nutzern bewerten zu lassen. Zum anderen soll untersucht werden, wie viel jedes System leisten kann und wie viel Leistung durch den gemeinsamen Betrieb möglich ist.

Um das Verhalten des Raumes und die Tauglichkeit der Systeme untersuchen zu können, sind in Raum 319 an verschiedensten Positionen Temperaturfühler angebracht. Zudem gibt es Fühler zur Bestimmung der Strahlungstemperatur, der Raumfeuchte und des CO<sub>2</sub>-Gehaltes. An den Fenstern installierte Sensoren protokollieren das Lüftungsverhalten.

Für die Feststellung des Stands der außen liegenden Verschattung befinden sich in der Nähe der Fenster Temperaturfühler in verschiedenen Höhen.

Um die Wirkung der Kühlsysteme belegen und dokumentieren zu können, dient der Computerraum 326 als Referenzraum, in dem zu diesem Zweck identische Messtechnik installiert

ist. Dieser hat eine Fläche von ca. 80 m<sup>2</sup> und verfügt mit 31 Computerarbeitsplätzen annähernd über die gleiche Anzahl wie in Raum 319.

Der Betrieb der beiden Kühlsysteme in Raum 326 wurde im Frühjahr 2008 aufgenommen.

## 6.2 Beschreibung der Kühlsysteme

In Abbildung 6-1 ist die Position der Übergabestation der Hochleistungskühldecke und der Schwerkraftkühlung im Raum 319 zu sehen. Abbildung 6-2 zeigt beide Übergabestationen der eingebauten Systeme mit den einzelnen Komponenten. Die Abfuhr der Kühllast geschieht mit Brunnenwasser, welches über einen Wärmeübertrager eines jeden Systems geführt wird. Im Kreislauf der Kühlsysteme befindet sich ebenfalls Wasser.

Messtechnisch werden alle Größen der Systeme erfasst, um eine Energiebilanz zu erstellen, dazu zählen unter anderem die Volumenströme und die Vor- und Rücklauftemperaturen.

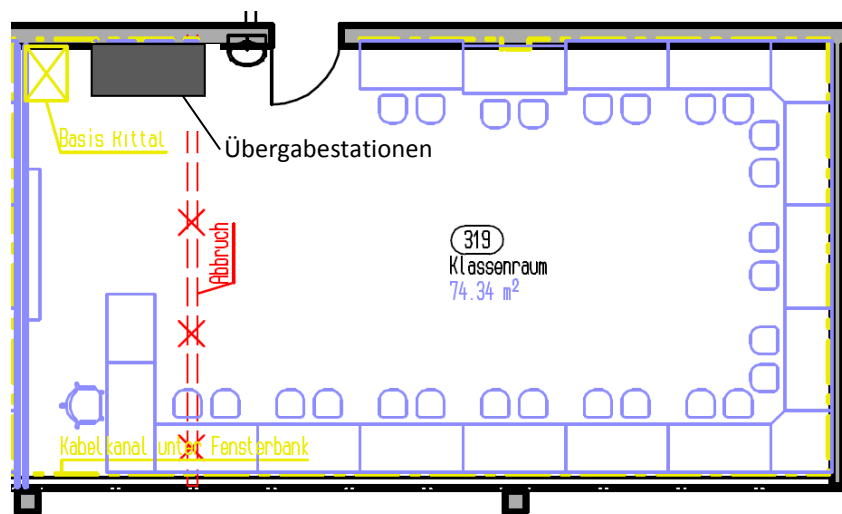
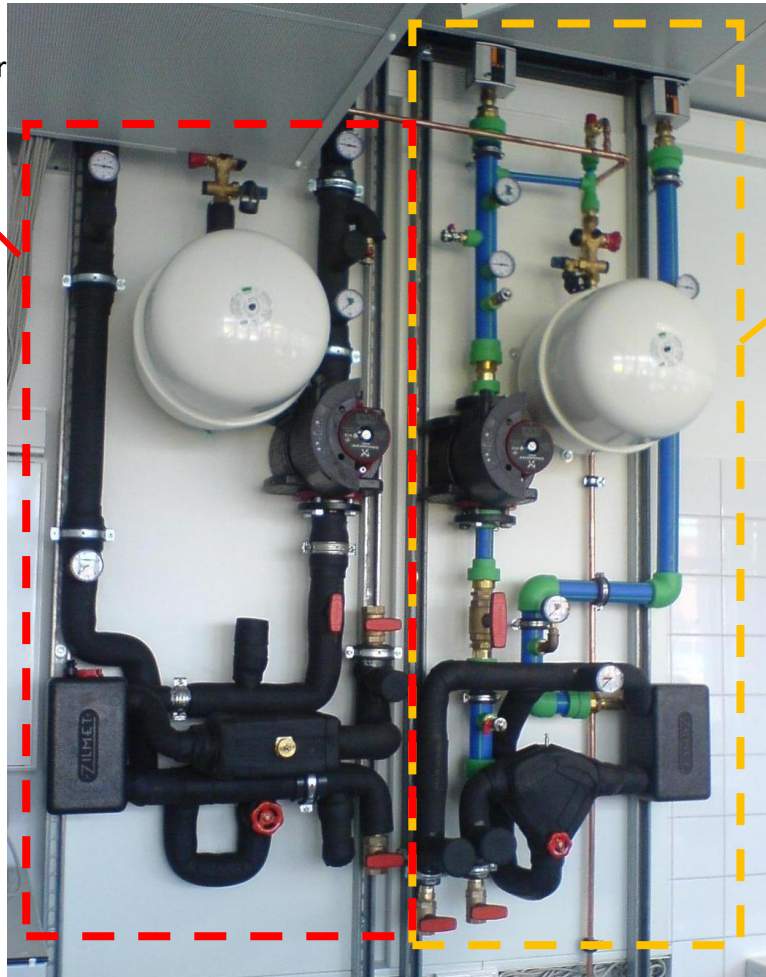


Abbildung 6-1: Position der Übergabestation der Hochleistungsdecke und der Schwerkraftkühlung in Raum 319 der Wirtschaftsschulen

Übergabestation der  
Schwerkraftkühlung



Übergabestation der  
Kühldecke

Abbildung 6-2: Übergabestation der Hochleistungskühldecke und der Schwerkraftkühlung in Raum 319 der Wirtschaftsschulen

### 6.2.1 Kühlsystem 1 – Hochleistungskühldecke

Bei diesem System handelt es sich um eine Metallkühldecke Typ MD CU WT von der Firma Emco mit einer Kühlleistung von 60 - 90 W/m<sup>2</sup> und einer Gesamtfläche von ca. 60 m<sup>2</sup>. Die Leitungen sind mäanderförmig in der Platte eingebracht. Abbildung 6-3 gibt einen schematischen Überblick über den Aufbau einer solchen Decke.



Abbildung 6-3: Schematischer Aufbau einer Kühldecke

Um Kondensatbildung zu verhindern, ist in diesem System ein Taupunktwärter installiert.

### 6.2.1.1 Thermografieaufnahmen der Kühldecke

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Temperaturentwicklung der Kühldecke in Raum 319 der Wirtschaftsschulen. Abbildung 6-4 zeigt die Kühldecke, die anderen drei Abbildungen zeigen über einen Zeitraum von 25 Minuten die Veränderung der Temperaturen der Kühldecke während des Kühlens anhand von Thermografie-Aufnahmen. Abbildung 6-5 zeigt die Thermografie-Aufnahme kurz nach dem Einschalten der Kühldecke. Den weiteren Verlauf der Temperaturen zeigen Abbildung 6-6 und Abbildung 6-7. Es wird sichtbar, dass die Kühldecke einwandfrei funktioniert und sich im gesamten Bereich der Decke eine gleichmäßige Temperatur einstellt. Bei den hellen Balken (im linken und rechten Randbereich) die noch zu sehen sind, handelt es sich um die eingeschaltete Beleuchtung.



Abbildung 6-4: Foto der Kühldecke in Raum 319



Abbildung 6-5: Thermografie-Aufnahme der Kühldecke in Raum 319 kurz nach dem Einschalten der Kühldecke

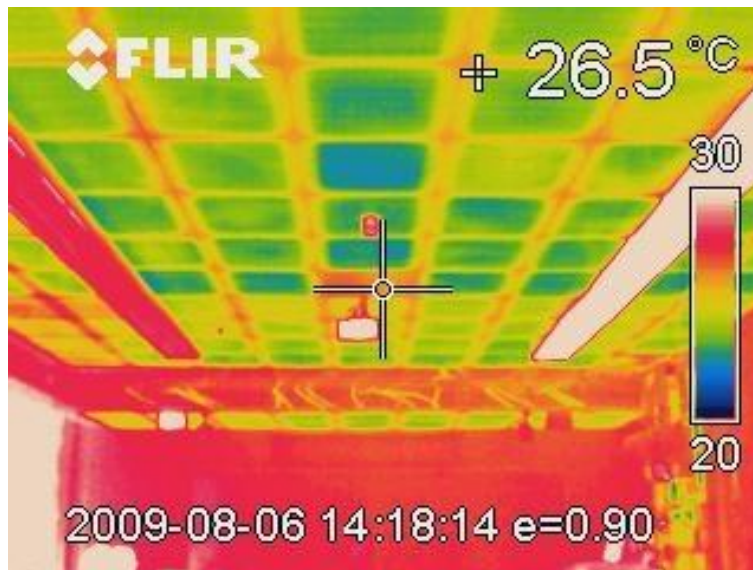


Abbildung 6-6: Thermografie-Aufnahme der Kühldecke in Raum 319 nach ca. 12 Minuten

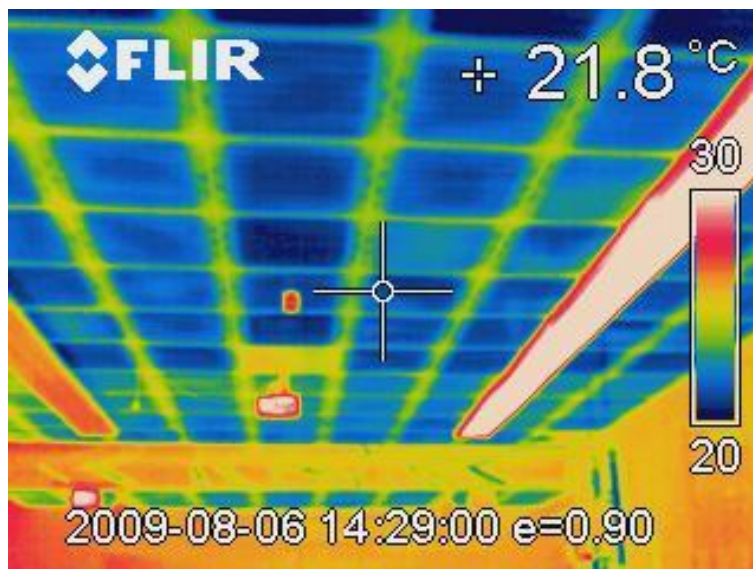


Abbildung 6-7: Thermografie der Kühldecke in Raum 319 nach ca. 25 Minuten

Die nachfolgende Abbildung 6-8 zeigt eine Thermografie-Aufnahme der Mäandern der Kühldecke. Es wird deutlich, dass die Kühldecke gleichmäßig und vollständig durchflossen wird.

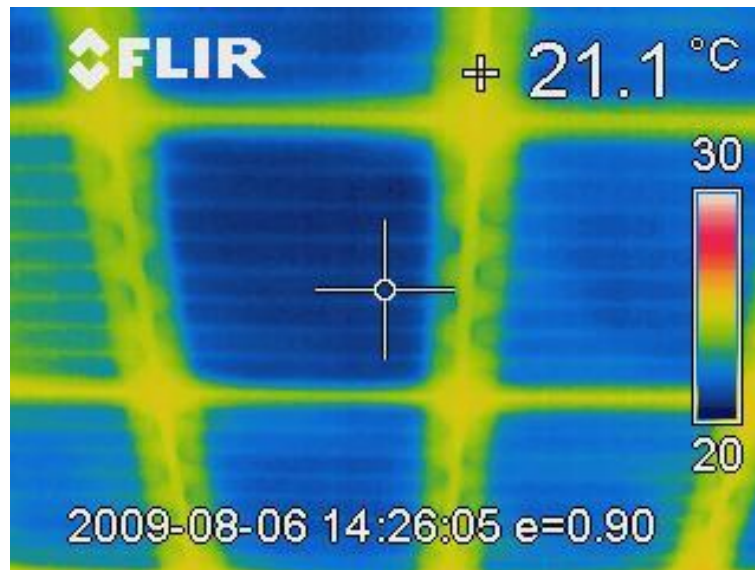
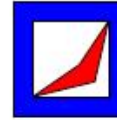


Abbildung 6-8: Thermografie-Aufnahme der Mäandern der Kühldecke

Im Rahmen der Abnahme des Raumes 319 hat die Firma Klimakontor einen Abnahmebericht erstellt. In Abbildung 6-9 folgt ein Ausschnitt des Berichts, der vollständige Bericht befindet sich im Anhang A 4.



Projekt	Geschoss	Raum
Wirtschaftsschule Steinfurt	3. OG	319

Messort:	Parameter:	Wert:
	Emissionsgrad	0,95
	Raumtemperatur	25 °C
	Außentemperatur	ca. 30 °C
	Voriauftemperatur	20 °C
	Betriebszeit	ca. 5 h
	Kühldeckentyp	Emco Kupfermäander
	Deckentyp:	gelochte Metallkassetten

IR-Bild:	Digitalfoto:

Bemerkungen	
Ansicht	Kühldecke
Zusätzliche Informationen	k. A.
Auffälligkeit	k. A.

Kommentar:

Abbildung 6-9: Ausschnitt des Abnahmeberichts durch die Firma Klimakontor



## 6.2.2 Kühlsystem 2 – Schwerkraftkühlung

Dieses System der Fa. Emco hat eine Gesamtlänge der angebrachten Kühllunits von 12 m und besitzt eine thermische Leistung von ca. 550 bis 700 W/m.

In der nachfolgenden Abbildung 6-10 ist das Prinzip der Schwerkraftkühlung dargestellt. Die aufgestiegene warme Luft wird über die Wärmeübertrager, sogenannten Kühllunits, geführt. Durch das kalte Wasser, welches darin geführt wird, kühlt sich die Luft ab und fällt im Schacht zu Boden. Durch die dem Raum zugewandte Öffnung am Ende des Schachtes gelangt die abgekühlte Luft in den Raum und bildet dort am Boden einen Kaltluftsee.

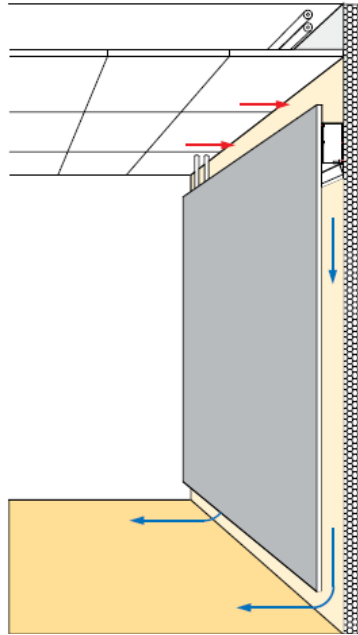


Abbildung 6-10: Schema des Funktionsprinzips der Schwerkraftkühlung

In diesem System ist bewusst kein Taupunktwärter installiert, so ist es möglich, Zustände unterhalb der Taupunkttemperatur zu fahren. Anfallendes Kondensat gelangt über Kondensatwannen ins Abwasser.

## 6.3 Ergebnis

Ergebnis der Untersuchung ist, dass beide mit Brunnenwasser betriebenen Kühlsysteme für einen thermisch hochbelasteten Computerraum mit Ausrichtung zur Sonnenseite funktionieren.

Beide Kühlsysteme kühlen im Sommer und in der Übergangszeit für den Zeitraum von 05:30 bis 16:00 Uhr und regeln in dem Temperaturbereich von 22 °C bis 26 °C.

Bei den Schülern und Lehrern wird der Testraum (R 319) mit den Kühlsystemen äußerst positiv angenommen und besonders im Sommer im Vergleich mit Computerräumen ohne Kühlung überdurchschnittlich genutzt. Zu keinem Zeitpunkt gab es Kritik oder Klagen.

### 6.3.1 Schwerkraftkühlung

Abbildung 6-11 zeigt, dass bereits beim Unterrichtsbeginn ein Unterschied zwischen den Temperaturen im Testraum (R 319) und dem Referenzraum (R 326) zu erkennen ist. Die Temperatur im Testraum liegt den ganzen Tag unter der Temperatur im Referenzraum und steigt bis 16:00 nicht über 26 °C. Beide Räume sind belegt.

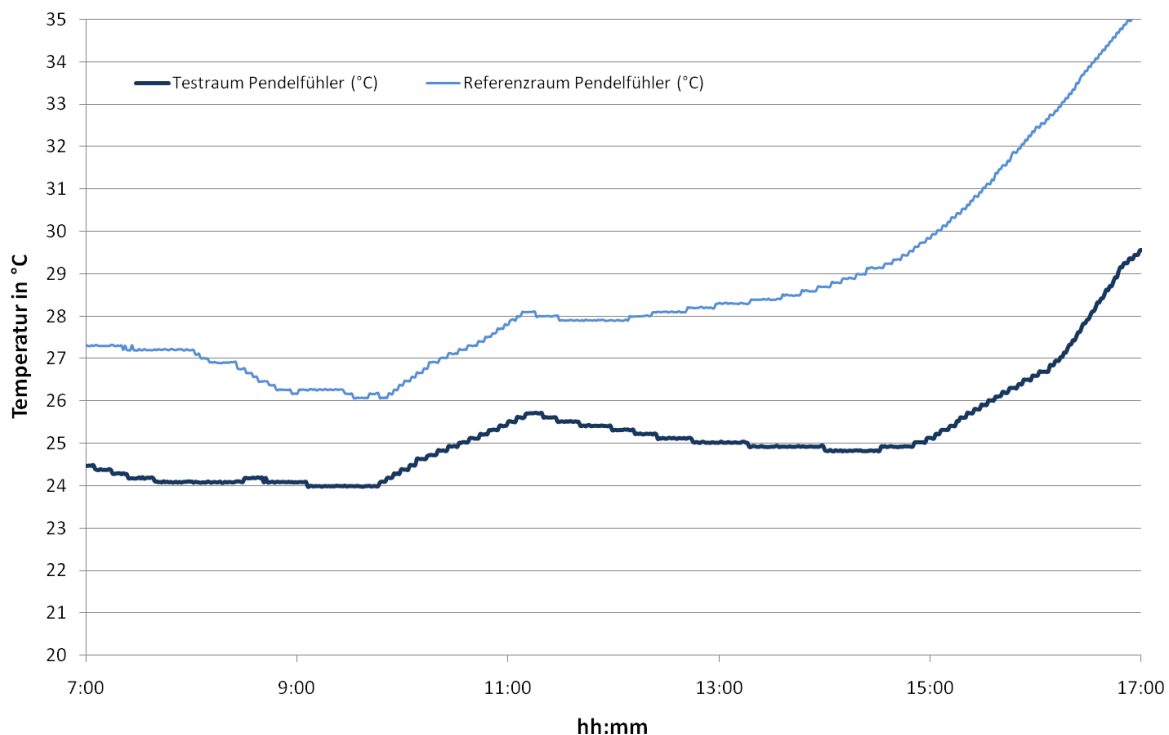


Abbildung 6-11: Raumlufttemperatur vom 19.08.09 beim Betrieb der Schwerkraftkühlung in Raum 319 und im Referenzraum 326

### 6.3.2 Kühldecke

Wie bei der Schwerkraftkühlung steigt auch bei der Kühldecke die Temperatur im Testraum nicht über 26 °C. Auch hier ist über den ganzen Zeitraum ein deutlicher Abstand der Temperaturen beider Räume zu erkennen. Auch hier sind beide Räume belegt.

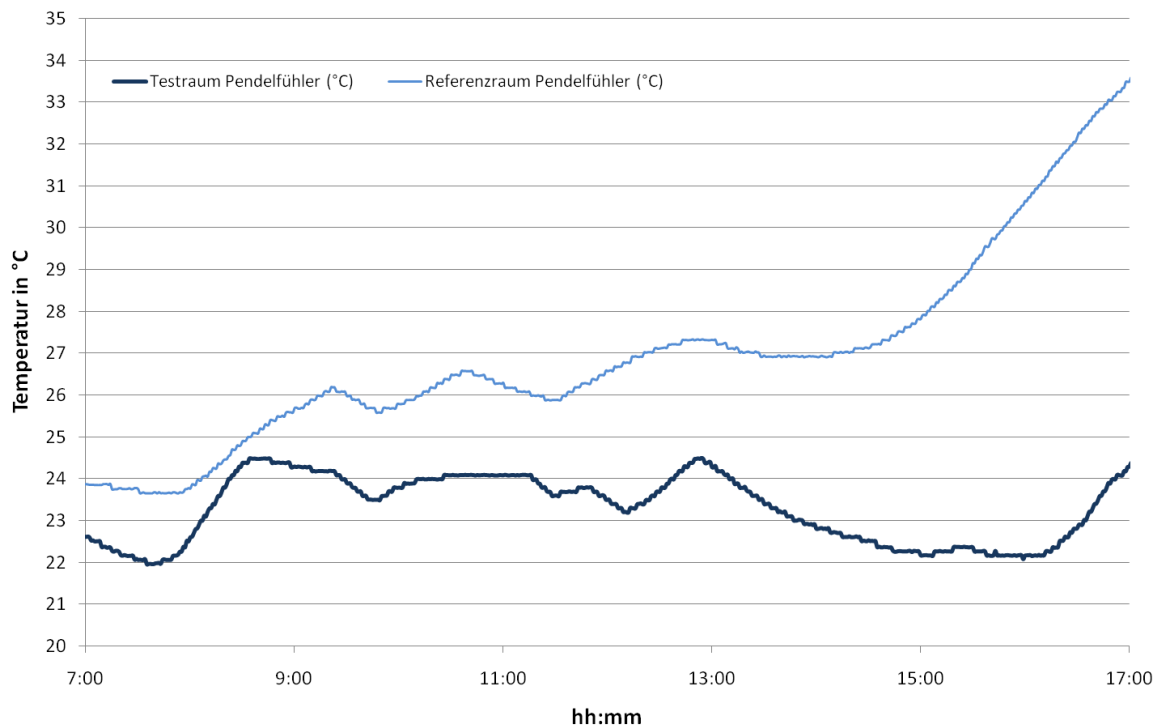


Abbildung 6-12: Raumlufttemperatur vom 24.08.09 beim Betrieb der Kühldecke in Raum 319 und im Referenzraum 326

### 6.3.3 Fazit

Im hier beschriebenen Fall wurde ein EDV-Raum unter den zuvor aufgeführten Aspekten saniert. Aufgrund der sehr hohen inneren Lasten ist primär der Kühlfall im Sommer von Bedeutung. Bereits bei moderaten Außentemperaturen unter 25°C wurden in diesem Raum operative Raumtemperaturen von deutlich über 35 °C gemessen. Unter diesen thermischen Randbedingungen sind weder Schüler noch Lehrer leistungsfähig. Unter der Vorgabe, keine konventionelle Kälteanlage aus Betriebskosten betreiben zu dürfen, wurde eine Brunnenanlage geschaffen, mit der oberflächennahes Grundwasser erschlossen wurde. Ganzjährig steht dadurch Kaltwasser von ca. 10 °C zur Verfügung. Diese Temperaturen reichen für übliche Klimaanlage nicht aus, eignen sich aber sehr gut für flächige Kühlsysteme wie Klimadecken und Schwerkraftkühlsysteme.

Aufbauend auf der Erkenntnis, dass eine Sanierung nur integral erfolgen kann, muss wie in diesem Bericht aufgezeigt, die Raumakustik bereits in der Planung der Haustechnik (speziell der Heiz-, Kühl- und Lüftungstechnik sowie der Hygiene) berücksichtigt werden. Um den Primärenergieeinsatz zu reduzieren bzw. im ökologisch wichtigeren Fall bei Einsatz von regenerativen Energiequellen auch diesen möglichst gering zu halten, müssen flächige Heiz- und Kühlsysteme mit nur geringen Übertemperaturen (Heizfall) und geringen Untertemperaturen (Kühlfall) zum Einsatz kommen. Da sich im Sanierungsfall die Nachrüstung von Fußbodenheizungssystemen in den meisten Fällen ausschließen lässt, kommen in modernen und zukunftssicheren Sanierungsmethoden Klimadecken und Schwerkraftkühlsysteme zum Einsatz.

Beide Systeme heben sich im Sanierungsfall durch folgende Vorteile von konventionellen Standardlösungen ab.

### **Kühldecke**

- Vorlauftemperaturen:

Die nur geringen Über- und Untertemperaturen erlauben den Einsatz von Solarthermie, bewährter Brennwertechnik ebenso wie von Geothermie.

- Ausführung:

Da Klimadeckensysteme im Deckenbereich installiert werden, können diese an Vorlauf- und Rücklaufsysteme im Deckenbereich des Flures angebunden werden. Dies ermöglicht einfache Sanierungsmethoden ohne Böden, Wände und Fassaden zu verändern.

- Akustik:

Aus hygienischen Gründen werden im Bodenbereich meist abwaschbare und damit geschlossporige Bodenbelege gewählt, die nur geringe akustische Absorption bieten. Dadurch geht eine wichtige Fläche, die die Raumakustik positiv beeinflussen kann, verloren. Die Klimadecke ermöglicht in den jeweiligen Ausführungen eine Kompensation dieser fehlenden Absorptionsfläche durch Perforation, Akustikflies und Auflagedämmung.

- Flächiges System:

Thermischer Komfort hängt primär von der Art und Weise des Energieaustausches von Menschen mit der Umgebung ab. Strahlungsaustausch, bei flächigen Systemen gegeben, wird als sehr angenehm empfunden.

- Operative Raumtemperatur:

Der Mensch empfindet Behaglichkeit aufgrund der operativen Raumtemperatur. Diese als Mittelwert aus Raumlufttemperatur und Strahlungstemperatur gebildet, ermöglicht bei gleichem thermischem Komfort niedrigere Raumtemperaturen im Winter und höhere Raumtemperaturen im Sommer. Dadurch kommt es zu deutlichen Energieeinspareffekten.

### **Schwerkraftkühlung**

- Vorlauftemperaturen:

Die nur geringen Über- und Untertemperaturen erlauben den Einsatz von Solarthermie, bewährter Brennwertechnik ebenso wie von Geothermie.

- Ausführung:

Die Konvektoren in der Zwischenwand befinden sich fast in Raumhöhe, das ermöglicht eine einfache Installation des Vor- und Rücklaufs im Deckenbereich des Flures. Dies ist eine einfache Sanierungsmethode ohne Böden, Wände und Fassaden verändern zu müssen. Alle Wandflächen bleiben frei nutzbar.

- Raumtemperatur:

Die Raumtemperatur mit dem Schwerkraftkühlsystem wird von denen im Raum befindlichen Personen als sehr angenehm empfunden. Die kühlere Luft wird ohne Zugscheinungen im ganzen Raum optimal verteilt.

## 7 Entwicklung von Sanierungskonzepten für die Technischen Schulen und die Wirtschaftsschulen

### 7.1 Entwicklung einer Planungsmethodik

Die folgende Auflistung enthält Vorgaben an denen sich die Methodik orientiert.

Planungsleitfaden	
a. Einbindung der Schulgemeinschaft	Schulleitung, Abteilungsleiter, Lehrerrat, Schüler
b. Pädagogisches Konzept	Multifunktionsraum, Selbstlernzentrum, pädagogisches Zentrum, Schülerbüro, Bistro, Beratungsräume, IT-Zentrum
c. Lebenszykluskosten	Fassade, Dach, Fenster, Glas, Nachrüstbarkeit, Wartung, Reinigung, Nachfolgekosten, Vorbildfunktion
d. Tragwerksplanung	Umbau und Erweiterungen nach wirtschaftlichen Lösungen ausrichten
e. Gebäudesimulation	Digitalisierung des Gebäudes, Simulation von Maßnahmenpaketen, Variantenrechnung, Vergleiche
f. Energiekonzept	Ziele ermitteln, EnEV 2009 Mindeststandard, Energiebedarf, Messungen/Erfassung der Ist-Situation
g. Raumtemperaturen	Beheizung, Kühlung, Wärmerückgewinnung
h. Raumluft	Anforderungen an eine mechanische Lüftungsanlage definieren, welche Räume müssen mechanisch belüftet werden, Zuluftströme definieren, Regelanlage,
i. Raumakustik	Nachhallzeiten in Unterrichtsräumen ca. 0,5 s; Akustik in Lehrerzimmer, Verwaltung und Flure definieren, vorhandene Messergebnisse berücksichtigen
j. Beleuchtung	Konzepte, LED-Konzepte
k. EDV-Räume	Energieeffiziente Computertechnik, Thin Client-Lösungen
l. Brandschutzkonzept	Brandschutzkonzept § 9 Bau Prüf. VO
m. Entwurfsplanung	Abgestimmt auf die technische, gesundheitliche und betriebliche Notwendigkeit
n. Terminplanung	Entwurf, Ausschreibung, Bauantrag, Baubeginn

### **7.1.1 Beschreibung des bestehenden Gebäudes der Technischen Schulen**

Eine ausführliche Beschreibung des Gebäudes ist in Kapitel 2.2.2 (S. 28) zu finden.

#### **7.1.1.1 Wärmeversorgung der Technischen Schulen**

Im Jahre 2004 wurde die Wärmeversorgung der Schule und Sporthalle von einer bisherigen Gasheizung mit zwei Gasheizkesseln auf Fernwärmeversorgung über die Heizungsanlage des Kreishauses umgestellt.

Die Erneuerung der Fenster und Wärmedämmung der Stützen würde ca. 10 % Energieeinsparung am gesamten Wärmeverbrauch der Schule bedeuten.

#### **7.1.1.2 Beschreibung der Haustechnik**

Im Rahmen der Gebäudeunterhaltung sind in den letzten Jahren die lufttechnischen Anlagen zur Be- und Entlüftung der innenliegenden Klassenzimmer saniert worden.

Ein weiterer und ebenfalls in den letzten Jahren umfangreicher und auf den neusten Stand der Technik gebrachter Bereich ist die Erneuerung der Beleuchtungskörper in den Klassenzimmern. Hier ist eine tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung eingesetzt worden.

Alle erneuerten technischen Anlagen im Heizungs- und Lüftungsbereich werden über eine Gebäudeleittechnik bedarfsgerecht sowohl vom Hausmeister als auch über die Fernwirkzentrale im Kreishaus geregelt.

#### **Zustand Haustechnik**

Die Haustechnik der Schule und der Sporthalle ist für den Schul- und Sportbetrieb in einem funktionstüchtigen und gebrauchsfähigen Zustand. Alle schulischen Aktivitäten sind ohne Einschränkungen durchführbar. Einschränkungen bestehen lediglich in der Gymnastikhalle der Sporthalle, wo in den Wintermonaten durch eine unzureichende Luftführung Tauwasserbildung an den ungedämmten Scheiben austritt.

Des Weiteren ist die Beheizung der Werkhallen an extrem kalten Tagen durch den fehlenden hydraulischen Abgleich der Luftheritzer und der stark undichten Rolltore eingeschränkt.

Die Wärmeversorgung der Versuchs- und Unterrichtsräume, der Werkstattbereiche und der Sporthalle; die Trinkwasserver- und -entsorgung aller Bereiche, die Beleuchtung der Flure in der Schule und der gesamten Sporthalle, die Lüftungstechnik der Sporthalle sind nur innerhalb der Gebäudeunterhaltung gepflegt und gewartet worden. Die Anlagen sind veraltet und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik.

## 7.1.2 Simulationsrechnungen für die Technischen Schulen

### 7.1.2.1 Simulation des Ist-Zustands

Die Technischen Schulen des Kreises Steinfurt – Berufskolleg bilden in mehreren Bildungsgängen im gewerblich-technischen Bereich aus. Sie sind Berufsschule, Berufsfachschule sowie Fachoberschule und bieten ein Berufsgrundschuljahr sowie ein Schuljahr für Jugendliche ohne Berufsausbildungsverhältnis an. An den Technischen Schulen werden ca. 1.900 Schüler unterrichtet. Abbildung 7-1 zeigt die Technischen Schulen.



*Abbildung 7-1: Ansicht der Technischen Schulen*

Im Rahmen der Erarbeitung eines Leitfadens für die integrale Sanierung der Technischen Schulen ist eine thermische Simulation durchgeführt und in mehreren Arbeitsschritten optimiert worden.

Der Leitfaden bzw. das Energiekonzept hat das Ziel, den Bauherren zu einem frühen Planungsstadium eine eindeutige Entscheidungshilfe für die langfristig anstehenden Investitionsvorhaben bezüglich energetischer Sanierungsmaßnahmen zu liefern, die auf technisch fundierten und quantitativ nachvollziehbaren Ansätzen und Grunddaten basieren. Studien sollen dabei nicht nur einen speziellen Lösungsansatz bieten, sondern einen raschen Überblick sämtlicher technischer Realisierungsmöglichkeiten geben. Damit soll ein Bauherr die Technik für seine Objekte nicht erst auf der Baustelle kennen lernen, sondern in die Entscheidungsfindungen frühzeitig aktiv einbezogen werden.

Mit Hilfe einer thermischen Simulation lässt sich der Energieverbrauch eines Gebäudes realitätsnah abbilden. Auf den Energieverbrauch eines Gebäudes wirken sich viele Faktoren aus. Außentemperatur, Sonneneinstrahlung, Gebäudehülle, Gebäudemasse, Nutzerverhalten, Beleuchtung, sonstige elektrische Geräte sowie die Anlagentechnik sind einige dieser Faktoren. Bei einer thermischen Simulation werden alle diese Faktoren und deren Zusammenwirken berücksichtigt. Dies geschieht, indem ein Gebäude in verschiedene Zonen unterteilt wird. Diesen Zonen kann dann ein Profil zugeordnet werden, welches ein gewisses Nutzerverhalten, die gewünschte Raumtemperatur, die Beschaffenheit der Außenhülle, die Gebäu-



demasse und alle weiteren Faktoren enthält. Mit Hilfe dieser Profile wird dann der Energieverbrauch des Gebäudes während eines Testreferenzjahres (TRY) ermittelt.

Die energetische Simulation der Technischen Schulen erfolgte mit DesignBuilder. Diese Software stammt aus England und ist seit 2005 auf dem Markt verfügbar. DesignBuilder ist ein GUI (Graphical User Interface, grafische Benutzeroberfläche), welches mit EnergyPlus, dem eigentlichen Simulationsprogramm, arbeitet. Mit Hilfe von DesignBuilder, werden die von EnergyPlus benötigten Eingabedaten erzeugt, und die Ergebnisse von EnergyPlus übersichtlich dargestellt.

Dass sich die Gebäude sehr realitätsgetreu abbilden lassen, zeigen Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3. Der tatsächliche Verbrauch für Wärme und Strom wird mit den Werten der Simulation verglichen. Die Abweichung vom Ist-Wärmeverbrauch zur Simulation beträgt nur 1,5 % und die Abweichung vom Ist-Stromverbrauch zur Simulation beträgt nur 6,9 %. Diese Werte liegen vollkommen im tolerierbaren Bereich.

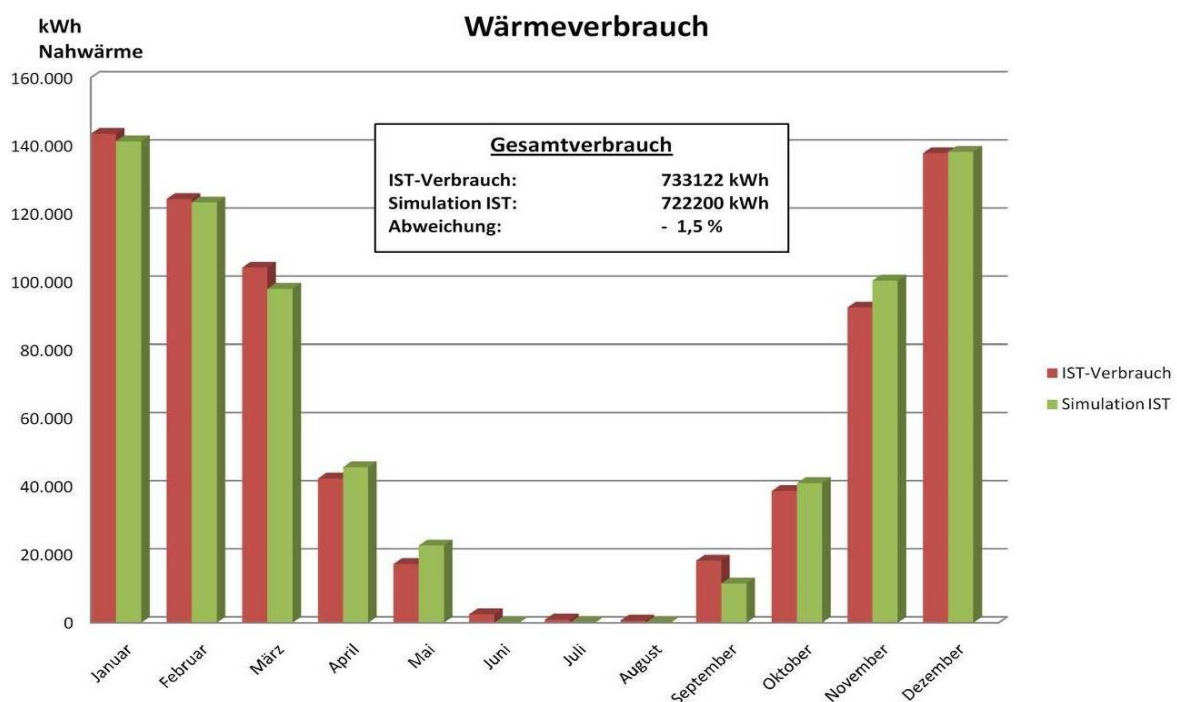


Abbildung 7-2: Vergleich vorhandener und simulierter Gesamtwärmeverbrauch der Technischen Schulen Steinfurt mit der Software DesignBuilder. Die Abweichung vom Ist-Wärmeverbrauch zur Simulation beträgt nur 1,5 %.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Diplomarbeit Thomas Grothaus, Entwicklung von Sanierungsmaßnahmen für die Technischen Schulen des Kreises Steinfurt durch energetische Simulation, September 2008

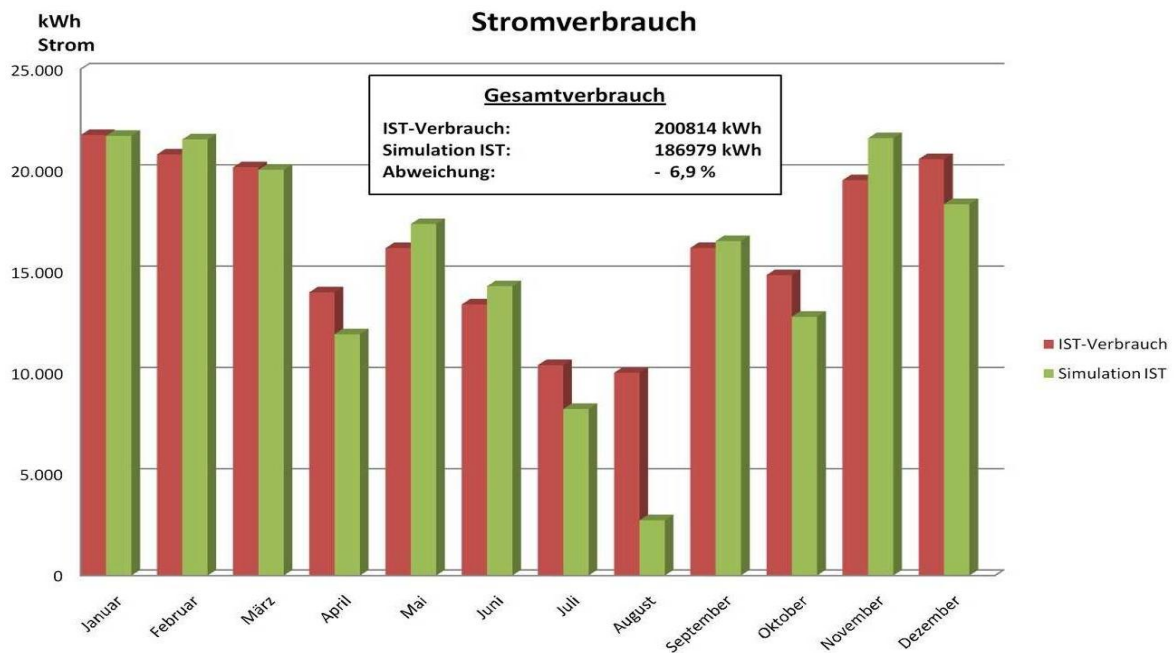


Abbildung 7-3: Vergleich vorhandener und simulierter Gesamtstromverbrauch der Technischen Schulen Steinfurt mit der Software DesignBuilder. Die Abweichung vom Ist-Stromverbrauch zur Simulation beträgt nur 6,9 %.<sup>32</sup>

Mit Hilfe der Simulationssoftware „DesignBuilder“ ist ein Modell der Technischen Schulen entstanden, welches das reale Gebäude in seiner Gesamtheit nahezu real wiedergibt. Betrachtungen, die Maßnahmen am gesamten Gebäude betreffen und auch in einzelnen Räumen sind nun möglich. Abbildung 7-4 zeigt z. B. die visualisierte Ansicht der Technischen Schulen vor der Sanierung, die mit der Software DesignBuilder erstellt wurde.

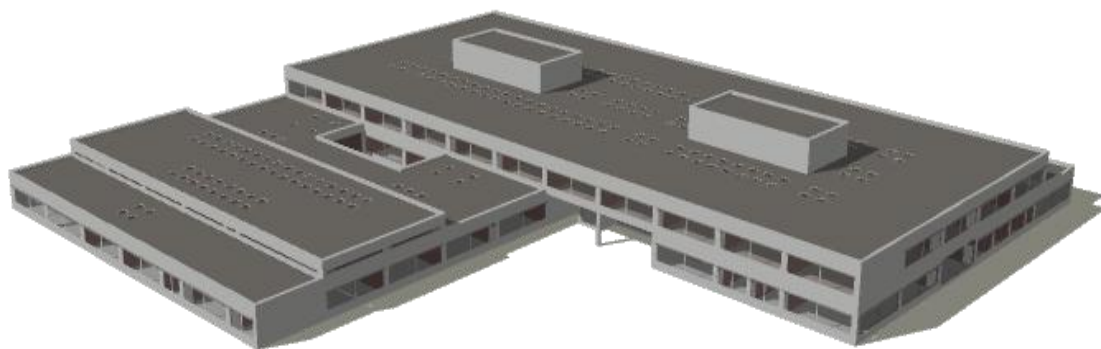


Abbildung 7-4: Visualisierte Ansicht der Technischen Schulen vor der Sanierung, erstellt mit der Software DesignBuilder<sup>32</sup>

### 7.1.2.2 Simulation von Sanierungsmaßnahmen

Nach der Erstellung eines realitätsnahen Modells der Technischen Schulen wurden verschiedene Sanierungsmaßnahmen simuliert und auf ihre Energieeinspar- und damit auch Kosteneinsparpotenziale hin untersucht.

Folgende Sanierungsmaßnahmen wurden untersucht und simuliert:

- Dämmung der Außenbauteile nach EnEV 2007
- Dämmung nach Kommunalkredit-Anforderungen
- Dämmung nach KfW-60 Standard

Dämmung der Außenbauteile nach EnEV 2007:

Bauteil	U-Wert in W/(m <sup>2</sup> ·K)
Außenfenster	1,7
Außenwand	0,35
Dach	0,25
Dachluken	1,7

U-Werte nach EnEV 2007 für Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen  $\geq 19\text{ °C}$

Dämmung nach Kommunalkredit-Anforderungen:

Bauteil	U-Wert in W/(m <sup>2</sup> ·K)
Außenfenster	1,3
Außenwand	0,25
Dach	0,147
Dachluken	1,3

U-Wert – Anforderung für die Beantragung eines Kommunalkredites der KfW Förderbank 2008 aus dem Programm „Energetische Sanierung“

Dämmung nach KfW-60 Standard:

Bauteil	U-Wert in W/(m <sup>2</sup> ·K)
Außenfenster	1,0
Außenwand	0,14
Dach	0,11
Dachluken	1,0
Bodenplatte	0,27

U-Werte zum Erreichen des KfW- 60 Standards (gilt eigentlich nur für Wohngebäude)

Die Simulationen zeigen, dass durch Sanierungsmaßnahmen an der Außenhülle des Gebäudes Einsparungen im Wärmebedarf bis zu 57 % möglich sind.

Der Wärmebedarf würde sich anhand der Berechnungen von 733.000 kWh auf 315.000 kWh verringern.

### 7.1.2.3 Simulationen nach baulichen Optimierungsmaßnahmen

Im weiteren Verlauf der Planungen betrachtet und entwickelte ein Planungsteam, bestehend aus Architekten, Fachplaner, Bauherrenvertreter und der FH Münster als wissenschaftliche Begleitung, weitere Maßnahmen mit den Themenschwerpunkten:

- Lebenszykluskosten,
- Architektur als dritter Pädagoge und
- energetische Optimierung

Dabei entstand die visualisierte Ansicht der Technischen Schulen nach der Sanierung, wie sie Abbildung 7-5 zeigt.



Abbildung 7-5: Visualisierte Ansicht der Technischen Schulen nach der Sanierung<sup>33</sup>

Darüber hinaus wurden in den regelmäßig stattfindenden Planungsbesprechungen sowohl bauliche Veränderungen, als auch technische Optimierungen diskutiert und anschließend untersucht. Diese Veränderungen lassen sich in zwei große Bereiche gliedern:

- bauliche und bauphysikalische Änderungen
- Änderungen am Nutzungsprofil

Als fest stand welche Änderungen durchgeführt werden sollen, wurden diese simuliert. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 7.1.2.4, Seite 164 bzw. Abschnitt 7.1.2.5, Seite 166 zu finden.

Welche Änderungen das im Einzelnen waren, wird nachfolgend aufgelistet.

---

<sup>33</sup> Planungsgruppe agn, Ibbenbüren, 2010

## Bauliche und bauphysikalische Änderungen

Hierunter fallen:

- Fenstermaße in einzelnen Räumen vergrößert
- Verstärkte Wärmedämmung im Außenwandaufbau
- Verstärkte Dachdämmung
- Änderung der Klassen ohne natürliche Belichtung durch Einbau von Lichthöfen
- Bauliche Erweiterung durch Schaffung eines Multifunktionsraumes

## Änderungen am Nutzungsprofil

Hierunter fallen:

- Jährliche Nutzung anhand des Schulferienkalenders für NRW, täglich von Montag bis Freitag
- Anpassung der Raumnutzungsprofile an den geplanten Betrieb der Schule
- Anpassung der durchschnittlichen Lichtleistung auf 15 W/m<sup>2</sup> für alle Räume (ausgenommen Werkstattbereiche mit erhöhten Decken: 20 W/m<sup>2</sup>)
- Einsatz von Klimawänden berücksichtigt
- Für die nach Süden gerichteten Klassenräume im Obergeschoss, sowie für die EDV-Räume wurde eine Möglichkeit der Kühlung vorgesehen (26 °C Auslegungsfall)
- Der Verwaltungsbereich erhält keine mechanische Lüftung, aber Kühlung über die Decken
- Der Betrieb der Heizungsanlage wird von April bis Oktober vorgegeben

Die Anforderungen für das Nutzungsprofil wurden für die verschiedenen Bereiche wie folgt definiert und in die Simulationssoftware eingegeben:

- Klassenräume:
  - Geplante Nutzung von 8 – 15 Uhr (Unterbrechung von 10 – 12 Uhr)
  - Angenommene Klassenstärken von 20 – 25 Schüler
  - Einsatz von Klimawänden
  - Aufheizung der Räume auf 20 °C Innentemperatur
- EDV-Räume:
  - Geplante Nutzung von 8 – 15 Uhr (Unterbrechung von 10 – 12 Uhr)
  - Angenommene Klassenstärken von 20 – 25 Schüler
  - Einsatz von Klimawänden
  - Zusätzliche Raumkühlung mit einer Auslegungstemperatur von 26 °C
  - 20 PCs pro EDV-Raum mit einer Einzelleistung von 150 W

- Nebenräume und Flurbereiche:
  - Simulierte Nutzungszeiten von 10 - 12 Uhr
  - 0 – 10 Personen je nach Raumgröße
  - 15 °C im Flur und Lagerräumen, 20 °C in Übungsräumen
- Werkstattbereich:
  - Geplante Nutzung von 8 – 13 Uhr
  - 18 °C Innentemperatur
  - Erhöhte Lichtleistung von 20 W/m<sup>2</sup>
  - ca. 15 Personen pro Werkstattraum
- Verwaltung:
  - Geplante Nutzungszeit von 8 – 15 Uhr
  - 1-2 Personen pro Verwaltungsraum
  - 1-3 EDV-Geräte mit Einzelleistungen von 150 W/m<sup>2</sup>
- Lehrerzimmer:
  - 20 °C Innentemperatur
  - ca. 30-35 Personen
  - Nutzung von 10 – 12 Uhr
- EDV-Raum Serverraum:
  - 5 kW EDV-Leistung
  - Betriebszeit 8.760 h/a
  - Kühlung des EDV-Serverraum

#### 7.1.2.4 Ergebnisse der Simulationsrechnung

Abbildung 7-6 zeigt die mit DesignBuilder erstellte Visualisierung nach der Sanierung.



Abbildung 7-6: Visualisierte Ansicht der Technischen Schulen nach der Sanierung, erstellt mit der Software DesignBuilder

Aufgrund der umfangreichen Betrachtungen der einzelnen Gebäudebereiche,

- durch Prüfung der verbauten Materialien,
  - durch Abgleich der verschiedenen Nutzungszeiten und
  - durch ein integrales, auf den Nutzer abgestimmtes neues Gebäudekonzept
- ist es möglich, den Primärenergiebedarf erheblich zu senken.

Nach der Erstellung der Simulation mit EnergyPlus/DesignBuilder lassen sich verschiedenste Analysen anhand von Grafiken erstellen, kritisch betrachten und Ergebnisse auf Richtigkeit prüfen.

Einzelne Energieverbraucher lassen sich sowohl in Diagrammen als auch in Tabellen auswerten und anschaulich darstellen. Wie so etwas aussehen kann, zeigen Abbildung 7-7 und Abbildung 7-8. Die Abbildungen zeigen die detaillierten Berechnungsergebnisse für die Brennstoff-Aufteilung und die inneren Gewinne der Technischen Schulen nach der Sanierung.

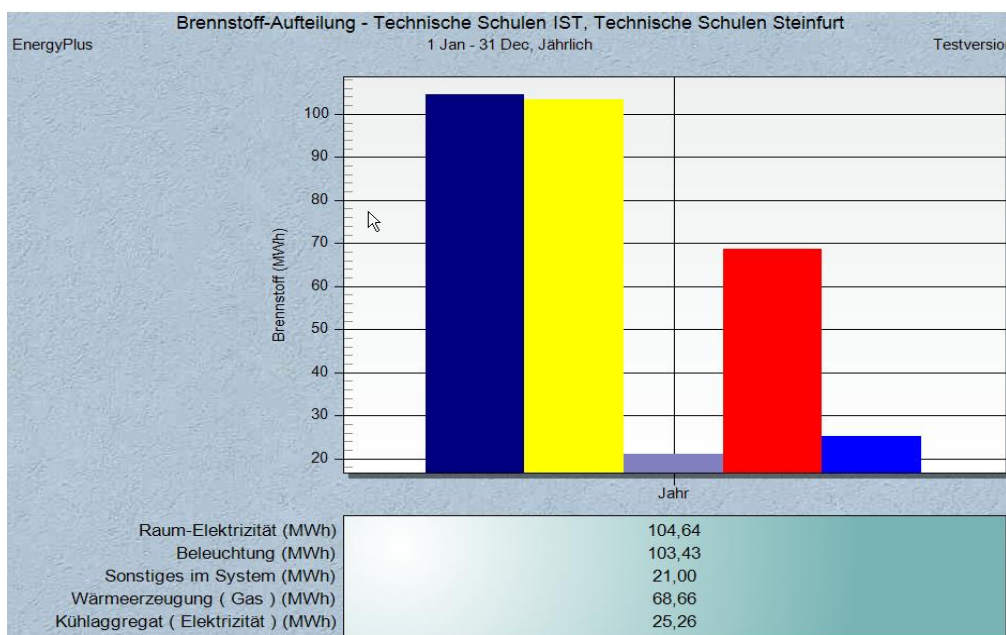


Abbildung 7-7: Detailliertes Berechnungsergebnis zur Brennstoff-Aufteilung der Technischen Schulen nach der Sanierung, dargestellt mit der Software DesignBuilder

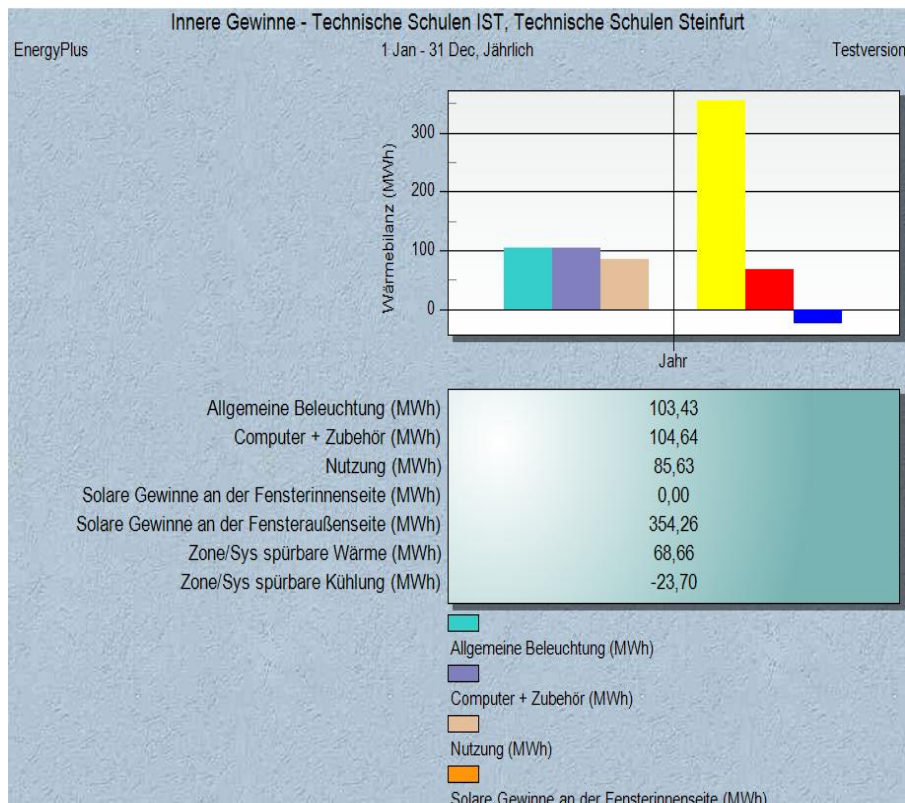


Abbildung 7-8: Detailliertes Berechnungsergebnis der inneren Gewinne der Technischen Schulen nach der Sanierung, dargestellt mit der Software DesignBuilder

### 7.1.2.5 Vergleich des Primärenergieeinsatzes vor und nach der Sanierung

Bereits bei der Planung sind wichtige Grundsatzentscheidungen mit den Architekten, Planern und Gebäudenutzern festgelegt worden:

- Belichtung aller Klassenräume mit Tageslicht
- Zentralisierung von Gebäudebereichen (z. B. EDV-Fachklassen)
- Mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung der Klassenräume zur Vermeidung hoher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen
- Beheizung und Kühlung der Klassen und der EDV-Computerbereiche über ein flächiges Heiz- und Kühlsystem
- Tageslichtabhängige Beleuchtung
- Akustisch wirksame Decken und Fußbodenaufbauten

Die nachfolgende Abbildung 7-9 zeigt den Vergleich des Verbrauches für Wärme und Strom vor der Sanierung mit dem simulierten Bedarf nach der Durchführung der geplanten Sanierungsmaßnahmen. Abbildung 7-10 zeigt hingegen den Vergleich des Jahresprimärenergieverbrauches vor der Sanierung mit dem Jahresprimärenergiebedarf nach der Umsetzung des erarbeiteten Sanierungskonzeptes.



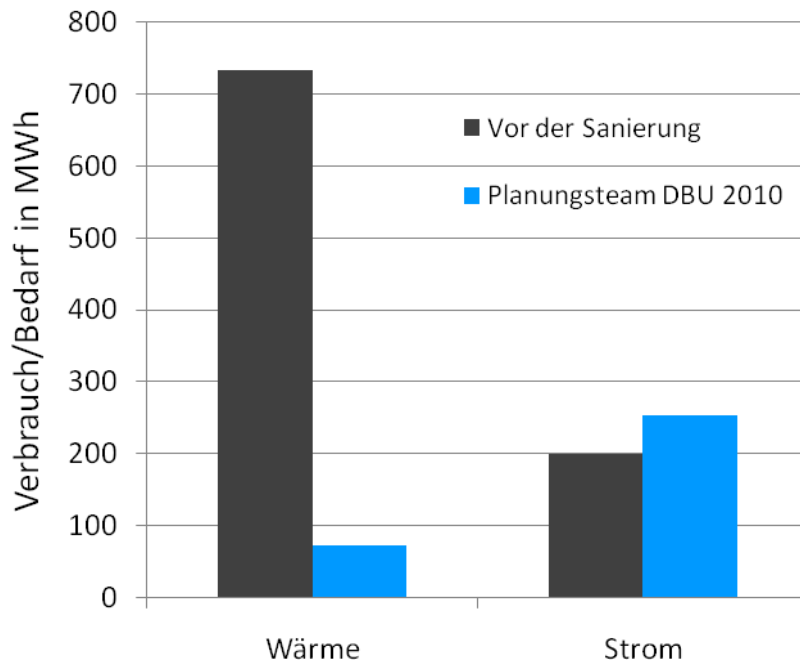


Abbildung 7-9: Vergleich des Wärme- und Stromverbrauchs vor der Sanierung mit dem simulierten Bedarf nach Durchführung der geplanten Sanierungsmaßnahmen für die Technischen Schulen, ermittelt mit DesignBuilder

### Jahresprimärenergieeinsatz

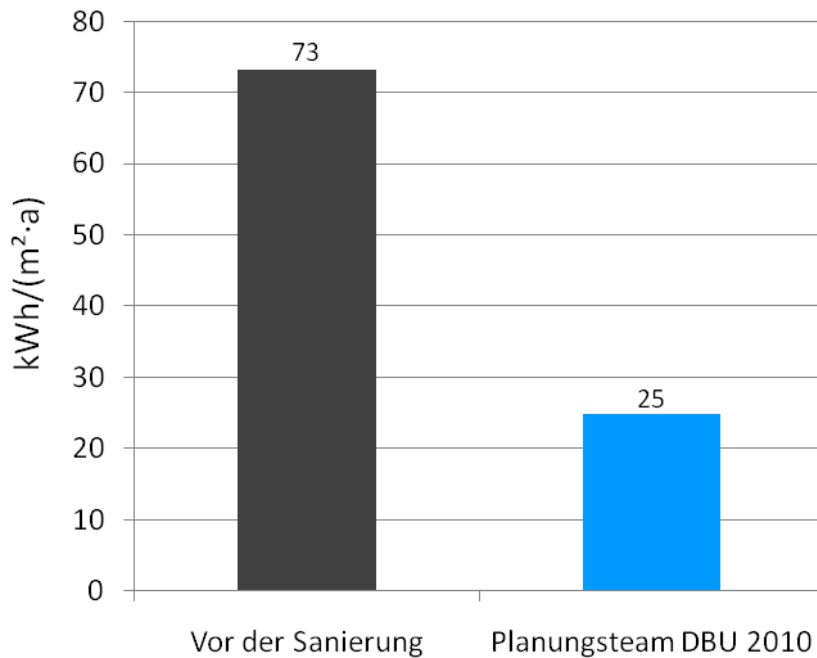


Abbildung 7-10: Vergleich des Jahresprimärenergieverbrauchs vor der Sanierung mit dem ermittelten Jahresprimärenergiebedarf nach Durchführung des Sanierungskonzept der Technischen Schulen, ermittelt mit DesignBuilder

### **7.1.2.6 Schlussbetrachtung**

Erfolgt die Eingabe und Simulation der Gebäudedaten bereits vor der Sanierung mit Hilfe eines Simulationsprogramms, erhält der Bauherr Aussagen über die Wirksamkeit der geplanten Maßnahmen und z. B. über den zu erwartenden Primärenergieeinsatz seines zu sanierenden Gebäudes (Liegenschaft). Zudem werden Gebäudestrukturen realitätsnah in einer dreidimensionalen Ansicht abgebildet.

Durch die realitätsnahe Abbildung des Gebäudes mit Hilfe der Simulation, erhält der Bauherr Planungssicherheit und eine verlässliche Grundlage für den Bau und Betrieb seiner Gebäude.

### **7.1.3 Beschreibung der bestehenden Gebäude der Wirtschaftsschulen**

Eine ausführliche Beschreibung der Gebäude ist in Kapitel 2.2.1 (S. 23) zu finden.

#### **7.1.3.1 Wärmeversorgung der Wirtschaftsschulen**

Die Wärmeversorgung der Wirtschaftsschule erfolgt durch Fernwärme. Das Heizwerk, welches von der DSK (Deutsche Steinkohle AG) betrieben wird, erzeugt durch die Verbrennung von Anthrazit aus der Zeche in Ibbenbüren warmes Heizwasser. Die Fernwärmeübergabestation befindet sich im Kellergeschoss des Hauses III. Die Fernwärmeleitung ist im Jahr 2003 erneuert worden. Im selben Jahr wurde auch die Übergabestation im Haus III saniert und die Anschlussleistung konnte durch eine Wärmemengenanalyse von 1.400 kW auf 640 kW reduziert werden. Die Häuser I und II werden vom Haus III aus versorgt. Die Erwärmung von Trinkwasser erfolgt ausschließlich elektrisch und dezentral.

Die von der Wirtschaftsschule benötigte Jahreswärmemenge beträgt rund 586.043 kWh. Bezogen auf die Bruttogeschosfläche im Ausgangszustand des Gebäudes vor der Sanierung ergibt sich damit ein spezifischer Verbrauch von 57,5 kWh/m<sup>2</sup>.

#### **7.1.4 Simulationsrechnung für die Wirtschaftsschulen**

Im Zuge der Sanierung der Wirtschaftsschulen im Jahr 2008 wurden folgende Baumaßnahmen durchgeführt:

- Anbau einer Aula
- Ersatz des dritten Obergeschosses (Spitzdach) des Hauses III durch ein Vollgeschoss in Holzständerbauweise mit Flachdach
- Energetische Optimierungsmaßnahmen an Haus III
- Erneuerung aller Fenster in Haus III

Der U-Wert der Außenwände des aufgestockten Dachgeschosses von Haus III ist im Wärmeschutznachweis vom Dezember 2006 gemittelt mit 0,21 W/(m<sup>2</sup>·K) angegeben. Eine Sanierung der bestehenden Außenwände des Hauses III war nicht angedacht.

Die neuen Fenster in Haus III in Zweischeiben-Isolierverglasung einen U-Wert von 1,50 W/(m<sup>2</sup>·K) besitzen.

Die Planungstätigkeiten für die oben aufgeführten Maßnahmen waren zu Beginn des Projektes „Erarbeitung eines Leitfadens zur integralen Sanierung von Schulen auf Basis der Sanierung der Technischen Schulen und der Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt“ im Sommer 2007 bereits weit fortgeschritten, da die Sanierungsarbeiten im Jahr 2008 abgeschlossen werden sollten und wurden.

Im Rahmen des Projektes wurden über den Planungsstand 2007 hinausgehende Untersuchungen mit Hilfe von Simulationen und Messungen durchgeführt. Mittels Simulationen werden Maßnahmen zur bauphysikalischen und technischen Optimierung untersucht. Die bauphysikalischen Ansätze zur Optimierung zielen auf eine Senkung des Wärmebedarfs ab. Unter den technischen Optimierungen sind Maßnahmen zu verstehen, die zur Verbesserung der Regelungstechnik, der thermischen Behaglichkeit und der Luftqualität führen.

Die einzelnen Maßnahmen zur Energieeinsparung werden vom Betreiber nur dann umgesetzt, wenn sie im Rahmen eines vorgegebenen Zeitraums ein wirtschaftliches Ergebnis erzielen. Alleinige Argumente, die den Vorteil dieser Maßnahmen für die Umwelt oder die

Rohstoffeinsparung herausstellen, spielen auch bei öffentlichen Entscheidungsträgern eine untergeordnete Rolle. Folglich kann nur dann Energie gespart werden, wenn die Maßnahmen einen wirtschaftlichen Nutzen erzielen, da sie sonst nicht realisiert werden.

Die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen wird mittels der Kapitalwertmethode beurteilt. Ziel ist es, die maximal mögliche Investition zu berechnen, bei der sich die Sanierungsmaßnahme gemäß den Vorgaben des Betreibers der Schule aufgrund der eingesparten Energiekosten noch rechnet. Die Zeitspanne, die maximal zur Erreichung der Wirtschaftlichkeit erlaubt ist, wurde vom Kreis Steinfurt mit 20 Jahren festgelegt.

Eine Besonderheit bei den Betrachtungen der Wirtschaftsschulen in Steinfurt liegt in der Art der Heizenergiebereitstellung. Die Gebäude werden - wie bereits erwähnt - über Fernwärme aus einem Heizwerk der Deutschen Steinkohle AG versorgt. Wie bei Fernwärme üblich, teilen sich die Kosten in einen Grundpreis und einen Arbeitspreis auf. Der Arbeitspreis ist an den Ölpreis gekoppelt ist. Jede Einsparung an Heizwärme hat nur eine Einsparung am spezifischen Arbeitspreis und nicht am Grundpreis zur Folge, daher darf in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen nur der Arbeitspreis einfließen. Der Kostensteigerungsfaktor für Energie wird auf 8 % pro Jahr bestimmt (durchschnittlicher jährlicher Anstieg der Energiekosten über die letzten 30 Jahre 5 % bis 8 %).

Über den Kalkulationszinsfuß in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Kapitalwertmethode werden die zukünftigen Gewinne oder Zahlungen auf den heutigen Zeitpunkt abgezinst. Der Zinssatz richtet sich entweder nach den Ansprüchen des jeweiligen Investors, nach einer Verzinsung seines eingesetzten Kapitals oder nach den Kapitalkosten, sprich den Zinsen für Fremdkapital. Bei Trägern der öffentlichen Hand richtet sich der Kalkulationszinsfuß nach den Zinsen für Fremdkapital. Als derzeitiger Effektivzins für Fremdfinanzierung werden 3,5 % für 20 Jahre angesetzt. Dieser soll nun als Kalkulationszinsfuß in die Berechnung einfließen. Hiermit wird zunächst der Summenfaktor für Energie berechnet und dann die maximal mögliche Investition bei heutigem Geldwert.

#### **7.1.4.1 Bauphysikalische Optimierungsansätze**

Einen Schwerpunkt der hier beschriebenen Untersuchungen stellt die Anwendung energetischer Simulationen als Werkzeug zur Optimierung der Gebäude dar. Mittels des dynamischen Simulationsprogramms „DesignBuilder“ wurde der energetische Ist-Zustand der Wirtschaftsschule zum Zeitpunkt vor der Sanierung mit großer Genauigkeit abgebildet. Das Simulationsprogramm basiert auf dem Berechnungscode „EnergyPlus“ und berücksichtigt alle energetisch relevanten Witterungseinflüsse und alle Prozesse innerhalb des Gebäudes, die den Kühl- und Wärmebedarf beeinflussen. Sämtliche Bauteile des Gebäudes fließen mit ihren Abmessungen und relevanten Stoffgrößen in die Simulation ein. Die Simulation liefert sämtliche Energieströme, die in das Gebäude hinein- und aus dem Gebäude heraustreten, sowie alle im Gebäude freigesetzten Energien.

Die Simulation ergab für den Ausgangszustand des Gebäudes eine sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Wärme- und Stromverbräuchen der Wirtschaftsschule, wie anhand von Abbildung 7-11 und Abbildung 7-12 deutlich wird.

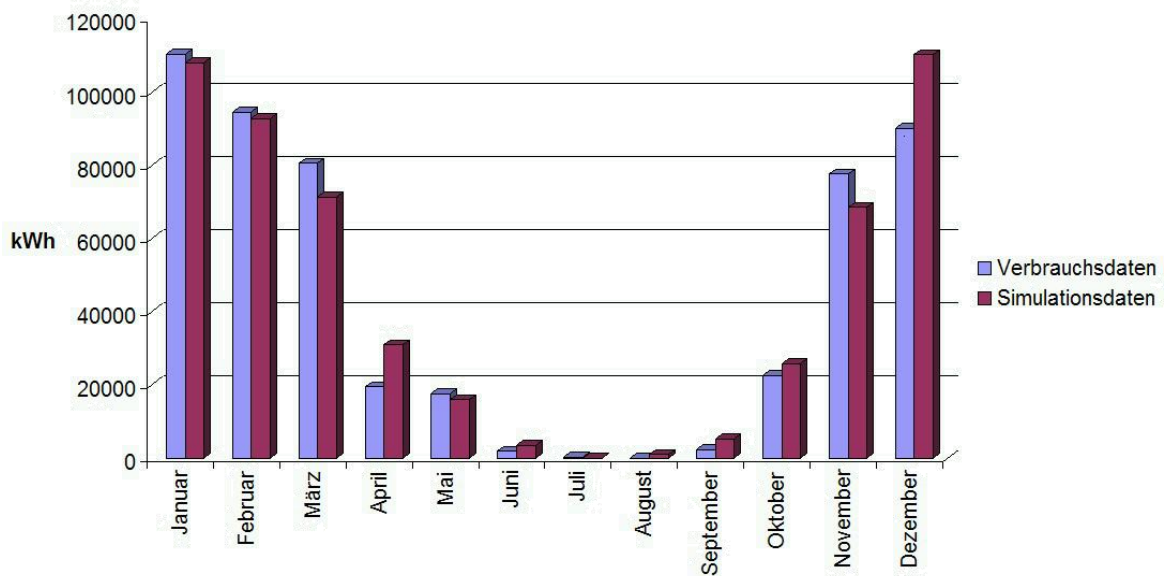


Abbildung 7-11: Monatlicher Nutzwärmeverbrauch der Wirtschaftsschule – Vergleich von gemessenem und simuliertem Verbrauch <sup>34</sup>

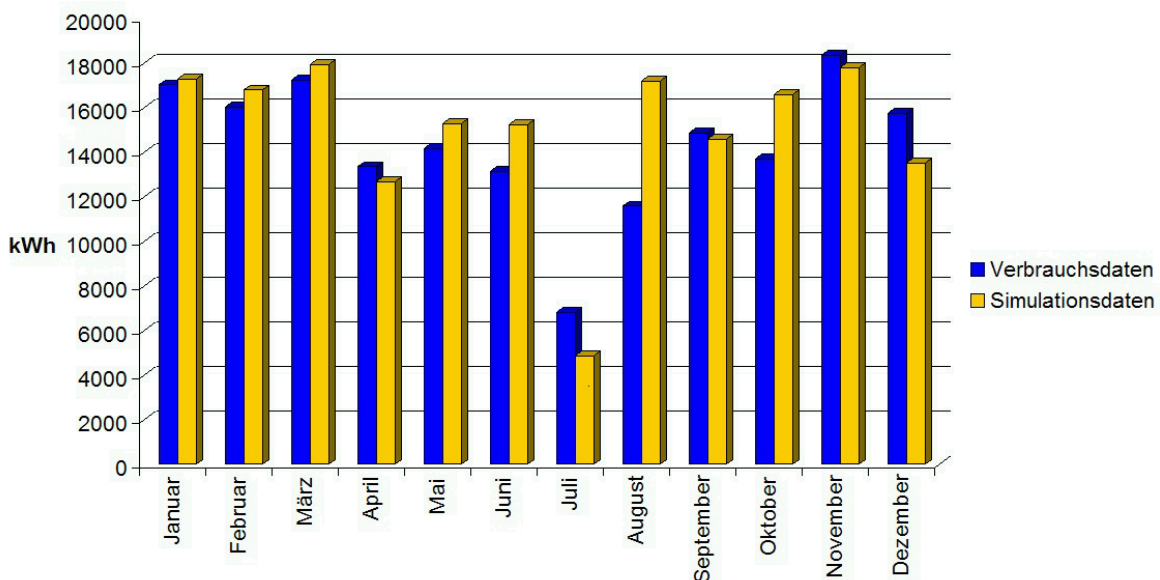


Abbildung 7-12: Monatlicher Stromverbrauch der Wirtschaftsschule – Vergleich von gemessenem und simuliertem Verbrauch <sup>34</sup>

Mit dieser wirklichkeitsnahen Abbildung der Wirtschaftsschulen ist ein wichtiger Schritt hin zur Optimierung geschafft: Es liegt ein Referenzmodell vor, das den Ist-Zustand des Gebäudes ausreichend genau beschreibt. Im nächsten Schritt werden Maßnahmen zur energetischen Optimierung am Modell simuliert. Die Ergebnisse dieser neuen Simulationsrechnungen können dann mit denen des Ist-Zustandes verglichen werden, und die Wirkung der jeweiligen Maßnahme kann hinsichtlich ihres Einflusses auf den Energieverbrauch des Gebäudes bewertet werden.

<sup>34</sup> Diplomarbeit Jens Willmes, Simulationsrechnungen zur energetischen Optimierung der Wirtschaftsschulen in Steinfurt, März 2008

Mit bauphysikalischen Maßnahmen kann direkt Nutzwärme eingespart werden. Die Verbesserung der Außenhülle des Gebäudes durch zusätzliche Dämmung oder neue Fenster verringert die Transmissionswärmeverluste. Jede eingesparte Kilowattstunde Heizwärme spart aufgrund der Verluste entlang der Versorgungstrecke mehr als eine Kilowattstunde Brennstoff ein.

Zu den Verlusten der Versorgungskette tragen im Fall der Wirtschaftsschulen die Verluste der Kessel im Kesselhaus, die Verluste der Fernwärmeleitungen und die Verluste des Heizsystems von der Übergabestation über die Verteilung der Heizwärme bis in die zu beheizenden Räume bei. Für die Bereitstellung von 1 kWh Wärme müssen bei den Wirtschaftsschulen 1,56 Kilowattstunden Brennstoffenergie als Anthrazitkohle eingesetzt werden. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der verwendeten Kohle ergibt sich pro Kilowattstunde vermiedener Nutzwärme eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 0,54 kg.

Da der größte Teil der Nutzwärme über die Außenwände, Dächer und Fenster dem Gebäude verloren geht, eröffnen sich hier energetische, ökonomische und ökologisch interessante Verbesserungsmöglichkeiten. Diese werden im Folgenden für jedes der drei Häuser aufgestellt und einer genaueren Untersuchung unterzogen.

#### *7.1.4.1.1 Bauphysikalische Optimierungsansätze Haus I*

Das Haus I aus dem Jahr 1982 ist in seiner ursprünglichen Form nahezu unverändert geblieben. Während an den anderen beiden Häusern bereits verschiedene Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, waren für Haus I im Zuge der Sanierung 2008 keine Maßnahmen vorgesehen.

Als mögliche Ansätze für eine energetische Optimierung dieses Gebäudes wurden folgende Maßnahmen anhand einer Simulationsrechnung näher untersucht:

- Maßnahme 1: Austausch der Fenster
- Maßnahme 2: Verbesserung der Dämmung am Dach
- Maßnahme 3: Verbesserung des Wärmeleitwiderstands der Außenwand
- Gemeinsame Betrachtung der Maßnahmen 1 bis 3

#### **Maßnahme 1: Austausch der Fenster**

Bei den Fenstern des Hauses I handelt es sich um die bei der Errichtung eingesetzten Elemente aus dem Jahr 1982. Damals wurde Isolierverglasung mit einem U-Wert von 3,0 verbaut. Die Fenster sind mit einer Standzeit von nunmehr 26 Jahren als alt zu bewerten. Die neuen Fenster sollen dieselben Eigenschaften besitzen, wie die Fenster, die für die Sanierung des Hauses III vorgesehen sind. Die Daten stammen aus dem Wärmeschutznachweis für die Aufstockung und Sanierung des Hauses III. Die vorgesehene Verglasung ist eine Zweischeiben-Isolierverglasung mit einem U-Wert für das gesamte Fenster von 1,5 W/(m<sup>2</sup>·K). Der Wert liegt unter der aktuellen Anforderung der EnEV von 1,7 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen sind in Tabelle 7-1 aufgeführt. Sie ergeben, dass im Vergleich zum Ist-Zustand über die neuen Fenster ca. 46.000 Kilowattstunden weniger pro Jahr an Wärme über die Fenster verloren gehen, dies aber nur eine jährliche Heizwärmeeinsparung für das Gebäude von circa 17.000 Kilowattstunden bedeutet. Dies ist dadurch zu begründen, dass zum einen die solaren Wärmegewinne im Fall der neuen Fenster niedri-

ger sind und zum anderen nicht alle einem Raum zugeführte Wärme durch die Heizung bereitgestellt wird. Gerade bei Schulen spielen die inneren Lasten durch Personen, Beleuchtung und elektrische Geräte und zusätzlich die Sonneneinstrahlung eine große Rolle.

*Tabelle 7-1: Energetische Auswirkung neuer Fenster in Haus I*

	<b>Fenster alt</b> [kWh/a]	<b>Fenster neu</b> [kWh/a]	<b>Einsparung</b> [kWh/a]
Wärmeverluste durch die Fenster	- 67.824	- 21.942	45.882
Heizwärmebedarf	155.953	138.832	17.121

Wenn alle einem Raum zugefügte Wärme ausschließlich durch die Heizung erzeugt würde, dann wäre die Verringerung der Transmissionswärmeverluste mit der Einsparung an jährlicher Heizwärme gleichzusetzen.

Nach den oben angegebenen Vorgaben ist diese Maßnahme innerhalb der nächsten zwanzig Jahre wirtschaftlich, sofern die Investition unterhalb von ca. 38.600 Euro (brutto) liegt. Dieses Ergebnis gilt unter der Annahme einer mittleren jährlichen Energiepreissteigerung von acht Prozent. Unter Annahme einer geringeren Energiepreissteigerung in Höhe von sechs Prozent wäre eine Investition in Höhe von 31.000 Euro wirtschaftlich.

Die spezifische Investition für neue Fenster liegt bei circa 500 Euro pro Quadratmeter Fensterfläche. Die gesamte Fensterfläche bei Haus I beträgt ungefähr 275 Quadratmeter, dies bedeutet ein Investitionsvolumen von 137.500 Euro. Innerhalb des Betrachtungszeitraums kann somit kein wirtschaftliches Ergebnis erzielt werden.

Die ökologischen Auswirkungen der Verbesserung der Fenster bestehen in einer Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes des Heizwerks. Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt wurde, entspricht eine eingesparte Kilowattstunde Nutzwärme circa der Vermeidung von einem halben Kilogramm CO<sub>2</sub>. Folglich würde sich durch diese Maßnahme die Kohlendioxidemission um 9,3 Tonnen pro Jahr verringern.

### **Maßnahme 2: Verbesserung der Dämmung am Dach**

Die zweite simulierte Maßnahme befasst sich mit dem Dach des Hauses I und seiner Dämmung. Flachdächer waren gerade in den 70er Jahren bis in die 80er ein Stilelement moderner Architektur. Viele dieser Dächer sind heute wegen Undichtigkeiten oder mangelhafter Wärmedämmung instand zu setzen. Das Flachdach des Hauses I aus dem Jahr 1982 ist ein sogenanntes Warmdach mit Kiesschüttung. Das heißt, dass kein Hohlraum zwischen Wärmedämmung und Dachhaut vorhanden ist. Somit lässt sich dieses Dach durch das Aufbringen von Wärmedämmschichten energetisch aufwerten. Dies wäre bei einem Kaltdach nicht so einfach möglich gewesen. Die jährlichen Transmissionswärmeverluste über das bestehende Gebäude betragen laut Simulationsrechnung 48.152 Kilowattstunden.

Das Dach hat einen U-Wert von 0,95 W/(m<sup>2</sup>·K). In einem Sanierungsfall würde das Dach bis auf die tragende Stahlbetonkonstruktion abgetragen und erneuert. Dies ergibt natürlich keinen Sinn, sofern die Abdichtung des Daches noch mangelfrei ist. Ist dies der Fall, so kann durch eine nachträgliche Aufbringung eines sogenannten Umkehrdachs eine kostengünstige-

re Optimierung und ein nachträglicher Schutz der Dachhaut erreicht werden. Ein solcher Dachaufbau ist in Abbildung 7-13 dargestellt.

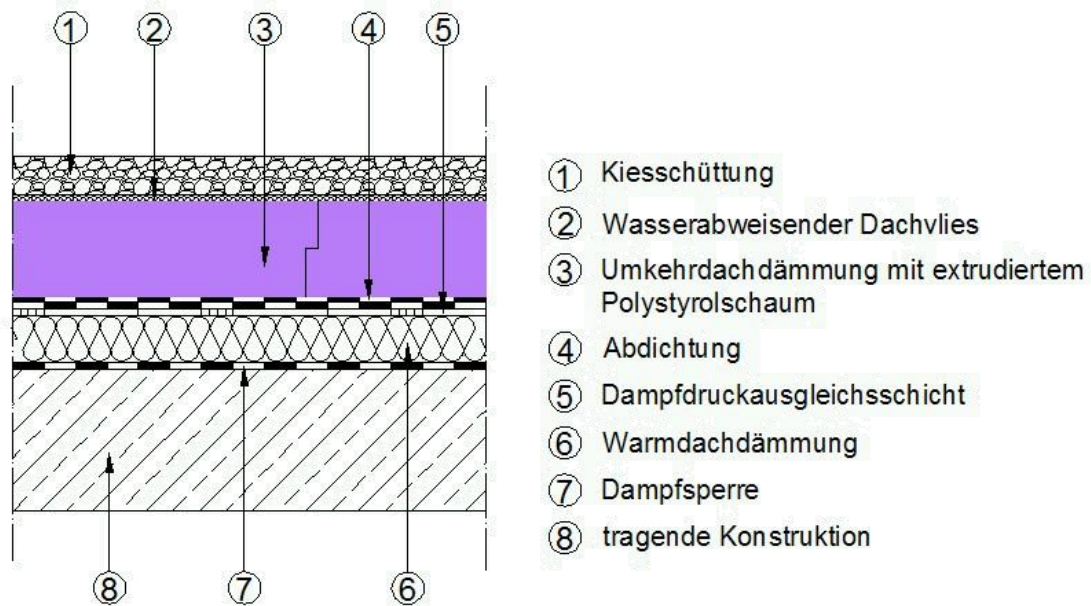


Abbildung 7-13: Dachaufbau der nachträglichen Dämmung am Haus I nach dem Umkehrdachsystem<sup>35</sup>

Die Anforderung der Energieeinsparverordnung beim Aufbringen neuer Dämmschichten auf ein Flachdach in Tabelle 1 der Verordnung bestimmt, dass der maximale Wärmedurchgangskoeffizient nach der Sanierung  $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  betragen darf. Dieser kann durch Dämmplatten mit 100 mm Dicke erreicht werden. Das neue Flachdach am Haus III hat einen U-Wert von  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Um bei einer möglichen Sanierung des Hauses I einen solchen Wert zu erreichen, bedarf es Dämmplatten mit 140 mm Dicke.

Die Auswirkungen eines so sanierten Daches auf das Modell werden in einer weiteren Simulationsrechnung überprüft und sind in Tabelle 7-2 dargestellt. Die jährlich eingesparte Heizwärmemenge für die Räume des Hauses I beläuft sich auf circa 24.000 Kilowattstunden.

Diese Einsparung wird auch einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen. Nach den Vorgaben ist diese Maßnahme innerhalb der nächsten zwanzig Jahre bei einer mittleren Energiepreissteigerung von acht Prozent wirtschaftlich, sofern die Investition unterhalb von circa 53.400 Euro liegt. Bei sechs Prozent Energiepreissteigerung darf die Investition 43.000 Euro betragen.

Tabelle 7-2: Energetische Auswirkung der Dachsanierung bei Haus I

	Dach alt [kWh/a]	Dach neu [kWh/a]	Einsparung [kWh/a]
Wärmeverluste über das Dach	- 48.152	- 12.853	35.299
Heizwärmebedarf	155.953	132.253	23.700

<sup>35</sup> Jackon Insulation GmbH



Die spezifischen Kosten für eine solche Dachsanierung liegen bei circa 50 bis 60 Euro pro Quadratmeter Dachfläche. Bei rund 950 Quadratmeter Dachfläche und einer spezifischen Investition von 55 Euro pro Quadratmeter bedeutet dies eine realistische Investitionssumme von 52.250 Euro.

Das heißt, bei einer Energiepreissteigerungsrate von acht Prozent wäre die Maßnahme der Dachdämmung wirtschaftlich. Bei einer niedrigeren Energiepreissteigerung ist die Maßnahme als nicht wirtschaftlich anzusehen.

Die Dachdämmung würde zu einer Verringerung der Kohlendioxidemission um 12,9 Tonnen pro Jahr führen.

### **Maßnahme 3: Verbesserung des Wärmeleitwiderstands der Außenwand**

Als weitere Maßnahme soll für Haus I die Verbesserung der Dämmung der Außenwände untersucht werden. Die Außenfassade des Gebäudes besteht aus einem mehrschichtigen Mauerwerk mit einer Luftschicht von 5,5 cm. Diese Luftschicht soll durch das Einblasen von einem Dämmstoff eine Kerndämmung erhalten. Als Dämmstoff kommen verschiedene Dämmmaterialien infrage, zum Beispiel Blähton, Blähperlite oder lose Mineralwolle. Wichtig ist, dass die Dämmstoffe dauerhaft wasserabweisend und nach der DIN 4108-10 genormt sind. Weiterhin müssen der jeweilige Dämmstoff und das Verfahren durch das Institut für Bautechnik (Berlin) zugelassen sein. Der am häufigsten eingesetzte Dämmstoff in diesem Bereich ist Blähperlite. Hierbei wird das Dämmmaterial durch Einfüllöffnungen in die Hohl-schicht eingebracht. Durch leichten Überdruck wird das Material dicht abgelagert und eine hohlraumfreie Auffüllung kann erreicht werden.

Die jährlichen Transmissionswärmeverluste über die Fassade belaufen sich auf 95.519 Kilowattstunden pro Jahr. Der derzeitige U-Wert der Außenwand ist 1,0 W/(m<sup>2</sup>·K). Durch eine Kerndämmung mit Blähperlite kann der U-Wert der Wand auf 0,51 verringert werden.

Da die Kerndämmung im Bezug auf Tauwasserbildung bauphysikalisch nicht unproblematisch ist, wurde mittels einer Wasserdampfdiffusionsrechnung ermittelt, dass beim so modifizierten Wandaufbau kein Tauwasser im Wandaufbau auftritt.

*Tabelle 7-3: Energetische Auswirkung sanierte Außenwand bei Haus I*

	<b>Wand vorher [kWh/a]</b>	<b>Wand nachher [kWh/a]</b>	<b>Einsparung [kWh/a]</b>
Wärmeverluste über das Dach	- 95.519	- 54.022	41.497
Heizwärmebedarf	155.953	130.614	25.339

Die Heizwärmeeinsparung durch diese Maßnahme beläuft sich auf circa 25.340 Kilowattstunden pro Jahr (s. Tabelle 7-3). Aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung folgt, dass mit dieser Maßnahme bei acht Prozent Energiepreissteigerung eine Investition von 57.000 Euro darstellbar ist. Dies entspricht einer spezifischen Investition in Höhe von 65 Euro pro Quadratmeter Außenwand. Bei sechs Prozent Energiepreissteigerung reduziert sich die flächen-

spezifische Investition auf 52 Euro pro Quadratmeter. Die realen Investitionskosten liegen für eine solche Maßnahme bei 20 bis 30 Euro pro Quadratmeter.

Die Durchführung dieser Maßnahme ist der aus wirtschaftlicher Sicht sehr gut vertretbar. Die Kohlendioxidemissionen würden durch die Maßnahme um rund 13,8 Tonnen pro Jahr verringert.

### Gemeinsame Betrachtung der Maßnahmen 1 bis 3

Neben der einzelnen Betrachtung der für Haus I beschriebenen Maßnahmen soll nun die gemeinsame Realisierung aller drei Maßnahmen untersucht werden. Dieses Modell weist folglich verbesserte Fenster, ein optimiertes Dach und eine Fassade mit Kerndämmung auf. Eine gemeinsame Betrachtung zeigt mögliche Wechselwirkungen auf, die bei der Realisierung der verschiedenen Maßnahmen entstehen können.

Ein Vorteil der gemeinschaftlichen Betrachtungsweise liegt in der Finanzierung. Hierfür können Finanzmodelle der KfW-Bank angewandt werden. Für diesen Maßnahmenverbund käme der sogenannte KfW-Kommunalkredit Gebäudesanierung 20/3/20 infrage. Um diesen in Anspruch nehmen zu dürfen, muss ein Maßnahmenpaket mit mindestens drei von einem Sachverständigen empfohlenen Maßnahmen aufgestellt sein. Der Kredit hat eine Laufzeit von zwanzig Jahren bei festen Zinsen von 2,15 %. Für alle Maßnahmen kombiniert lässt sich die in Tabelle 7-4 abgebildete Investitionsschätzung aufstellen.

Die Einsparungen bei Durchführung aller drei Maßnahmen wurden am Modell des Hauses I simuliert. Diese ergab eine Senkung des Heizwärmebedarfs von 73.269 Kilowattstunden pro Jahr.

*Tabelle 7-4: Investitionskosten des Maßnahmenpakets bei Haus I*

Maßnahme	spezifische Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€]
Fenster	500	275	137.500
Dach	55 (50 - 60)	950	52.250
Außenwände	25 (20 - 30)	875	21.875
<b>Summe</b>			<b>211.626</b>

Mit einem Kalkulationszinssatz von 2,15 % für das Kapital und einer Laufzeit des Kredits von 20 Jahren wurde die Rentabilität der kombinierten Maßnahme ermittelt. Bei einer jährlichen Preissteigerung der Energie von acht Prozent wird die Rentabilitätsschwelle zu Beginn des 22. Jahres erreicht. Bei sechs Prozent wird die Wirtschaftlichkeit im 25. Jahr nach der Investition verwirklicht.

Folglich liegt die Wirtschaftlichkeit des Maßnahmenpaketes nicht in dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Es kann jedoch festgestellt werden, dass die Wirtschaftlichkeit innerhalb der Nutzungsdauer erreicht wird. Zudem wird der Energiebedarf um 73.269 kWh gesenkt. Hierdurch erzielt man auf Haus I bezogen eine Senkung des jährlichen Heizwärmebe-

darfs von 47 %. Dies bringt eine jährliche Kohlendioxidvermeidung von 39,9 Tonnen pro Jahr mit sich.

#### *7.1.4.1.2 Bauphysikalischer Optimierungsansatz Haus II*

Haus II der Wirtschaftsschulen in Steinfurt ist im Jahr 1959/1960 in einer zweigeschossigen Stahlbeton-Skelettbauweise errichtet worden. Im Jahr 2001 wurde es um ein Geschoss in Holzrahmenbauweise aufgestockt. Die Fenster sind rundum auf neuem Stand. Ein Großteil der Verglasung ist aus dem Jahr 2001 oder den Sanierungen 2005. Die ältesten Fenster sind aus dem Jahr 1994. Durch das im Jahr 2001 neu errichtete dritte Geschoss erhielt das Dach einen sehr guten Wärmeschutz. Folglich lassen sich über bauliche Maßnahmen in diesem Bereich keine wirtschaftlich sinnvollen Einsparungen erzielen. Als einzige bauphysikalische Maßnahme soll hier die Sanierung der Fassade im Bereich vom Erdgeschoss bis zum zweiten Obergeschoss untersucht werden. Dieser Bereich in Stahlbeton-Skelettbauweise ist ungedämmt und weist konstruktiv durch die Stahlbeton Skelettbauweise viele Wärmebrücken auf.

Als Optimierungsansatz kommt allgemein eine zweite Fassade als Vorhangfassade oder in Form eines Wärmedämmverbundsystems infrage. Bei Wärmedämmverbundsystemen werden diese anschließend beschichtet und dann verputzt. Da beim betrachteten Gebäude eine Putzfassade aus gestalterischen Gründen nicht infrage kommt, wird der Einsatz eines Wärmedämmverbundsystems mit Vorhangfassade untersucht. Als Dämmmaterial werden bei diesem Modell Mineralwollämmplatten nach DIN 18165 eingesetzt ( $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ).

Als äußere Verkleidung können verschiedene Materialien in unterschiedlichen Formen und Farben eingesetzt werden. Am häufigsten kommen als Material Kunststoff- oder Faserzementplatten zum Einsatz. Die Unterkonstruktion, welche den Dämmstoff fixiert und auf die Vorhangfassade aufgebracht wird, basiert auf einer Konstruktion aus Aluminium oder Holz. Wichtig ist, dass auch hier eine entsprechende Zulassung des Systems vorliegt.

Die jährlichen Verluste über die bestehende Fassade beziffern sich auf 101.846 Kilowattstunden. Entscheidend ist nun, wie diese Verluste minimiert werden können und welche Auswirkungen sich auf den Heizwärmebedarf herausstellen. Die Fassade, die dem Rechenmodell zugewiesen wird, ist in Abbildung 7-14 dargestellt.

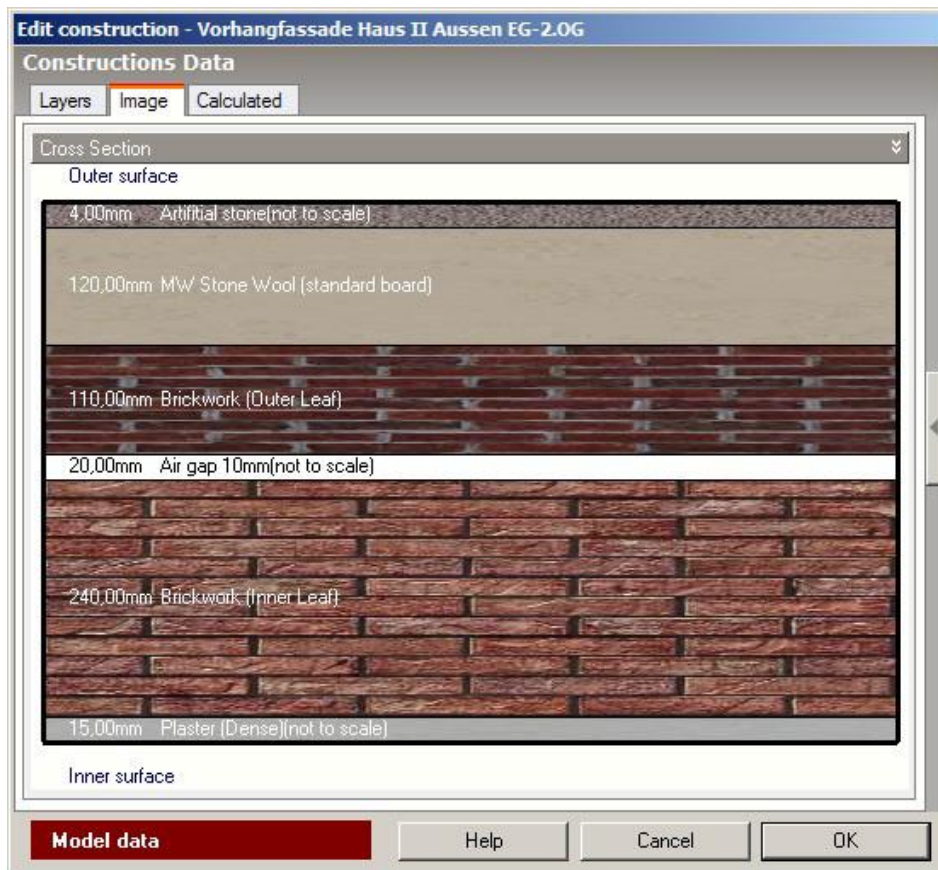


Abbildung 7-14: Aufbau der Außenwand mit Vorhangfassade <sup>34</sup>

Als Dämmstoff wurden Mineralwollämmplatten mit 120 mm Dicke angenommen und die äußere Verkleidung besteht aus Faserzementplatten. Der U-Wert der Wand verringert sich durch die Maßnahme von 1,15 auf 0,248 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die energetische Auswirkung der Dämmmaßnahme ist in Tabelle 7-5 wiedergegeben. Die Wärmeverluste über die Fassade werden um 62,5 Prozent reduziert. Diese Einsparung an Heizwärme beträgt rund 41.000 Kilowattstunden pro Jahr.

Tabelle 7-5: Energetische Auswirkung der sanierten Außenwand bei Haus II

	Fassade vorher [kWh/a]	Fassade nachher [kWh/a]	Einsparung [kWh/a]
Wärmeverluste über die Fassade	- 101.846	- 39.248	62.598
Heizwärmebedarf	149.488	108.678	40.810

Entsprechend den Betrachtungen zu Haus I wird die maximal mögliche Investition berechnet, die sich unter Vorgabe eines Betrachtungszeitraums von 20 Jahren wirtschaftlich darstellen lässt. Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung in Höhe von acht Prozent beträgt die maximale Investition rund 92.000 Euro. Die Fassadenfläche beträgt für das Erdgeschoss sowie die beiden unteren Obergeschosse zusammen etwa 550 m<sup>2</sup>. Der spezifische Flächenpreis der Vorhangfassade darf somit etwa 170 Euro pro Quadratmeter betragen. Bei

der Wahl von Faserzementplatten liegt die spezifische Investition bei circa 120 Euro pro Quadratmeter.

Bei einer Energiekostensteigerung von sechs Prozent beträgt die maximal mögliche Investition 74.200 Euro bzw. 134 Euro pro Quadratmeter. Das bedeutet, dass diese Investition bei den beiden betrachteten Preissteigerungsraten für Energiekosten eine Wirtschaftlichkeit innerhalb der nächsten zwanzig Jahre erreicht, bei 8 % Energiekostensteigerung nach dem 15. Jahr, bei 6 % zu Beginn des 19. Jahres. Die Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer einer solchen Vorhangsfassade wird auf 30 Jahre bestimmt.

Die Kohlendioxidemission des Heizwerkes verringert sich aufgrund der Maßnahme um 22 Tonnen pro Jahr.

#### *7.1.4.1.3 Bauphysikalischer Optimierungsansatz Haus III*

Im Jahr 2008 durchgeführte Sanierungs- und Erweiterungsmaßnahmen haben Haus III aufgewertet und energetisch verbessert. Das Spitzdach wurde abgetragen und durch ein Flachdachgeschoss in Holzrahmenbauweise ersetzt. Hierdurch wurde der Nachfrage nach zusätzlichen Unterrichtsräumen begegnet. Gleichzeitig wurden die Fenster aus dem Jahr 1977 durch neue Fenster ersetzt werden.

Als potenzielle Energieeinsparquelle hat sich die Fassade des Hauses III herausgestellt. Die Transmissionswärmeverluste über die Außenwände betragen circa 126.000 kWh/a. Hier ist jedoch nach Rücksprache mit dem Kreis Steinfurt eine Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes aus städtebaulichen Gesichtspunkten unerwünscht. Eine Innendämmung ist aufgrund der erheblichen bauphysikalischen Schwierigkeiten und möglichen Schäden keine Option.

Trotz dieser Einschränkungen soll die energetische Optimierung der Außenwände untersucht werden, um das damit verbundene Einsparpotenzial aufzudecken. Ferner werden hier durch Simulationsrechnungen die Maßnahmen der durchgeführten Sanierung detailliert untersucht.

Folgende Maßnahmen werden im Einzelnen durch Simulation untersucht:

- Maßnahme 1: Abtragen des Spitzdaches und Aufstockung
- Maßnahme 2: Austausch der Fenster
- Maßnahme 3: Optimierung der Außenwände
- Maßnahme 1: Abtragen des Spitzdaches und Aufstockung

#### **Maßnahme 1: Abtragen des Spitzdaches und Aufstockung**

Das Dach des Hauses III war eine energetische Schwachstelle. Dies wurde durch die Simulationsrechnung belegt. Nahezu 80.200 Kilowattstunden gingen pro Jahr über das Dach als Transmissionswärmeverlust verloren. Anstelle des Spitzdaches trat im Zuge der Sanierung ein Vollgeschoss mit Flachdach. Das neue Dach hat einen U-Wert von  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Abbildung 7-15 zeigt die Computerdarstellung des Gebäudes mit neuem Dach. Durch die Umbaumaßnahme verringert sich der Wärmebedarf von Haus III um 20.500 kWh pro Jahr. Hieraus resultieren eine jährliche Brennstoffeinsparung von rund 22.500 kWh und eine Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um 11 Tonnen jährlich.



Abbildung 7-15: Grafisches Modell des Haus III nach der geplanten Sanierung des dritten Obergeschosses, Ansicht Südwest <sup>34</sup>

### Maßnahme 2: Austausch der Fenster

Neben der Aufstockung des Hauses III wurden auch die im Jahr 1977 eingesetzten Fenster ersetzt. Die alten Fenster hatten einen U-Wert von  $3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Die neuen Fenster sollen im gesamten Haus III den Fenstern in der neuen oberen Etage entsprechen. Diese haben einen U-Wert von  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Die Verbesserung des Wärmeschutzes durch die Fenster ist mit ca. 5.200 Kilowattstunden eingesparten Transmissionswärmeverlusten niedrig. Die verringerten Lüftungswärmeverluste wurden bei der Simulation nicht berücksichtigt, da sie gerade in Schulen als problematisch angesehen werden müssen.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zum Austausch der Fenster ist nicht erforderlich, da die Fenster im Zuge der Sanierung sowieso ausgetauscht werden mussten. Die durch Aufstockung und neue Fenster nach Simulation zu erwartende Heizwärmeeinsparung ist in Tabelle 7-6 aufgeführt.

Tabelle 7-6: Auswirkung der Aufstockung und der neuen Fenster an Haus III

	Haus III vorher [kWh/a]	Haus III saniert [kWh/a]	Einsparung [kWh/a]
Heizwärmebedarf	174.661	149.035	25.625

### Maßnahme 3: Optimierung der Außenwände

Eine Verbesserung der Fassade von Haus III war im Sanierungsumfang 2008 nicht vorgesehen, da der Charakter des Gebäudes beibehalten werden soll.

Ziel der hier angestellten Betrachtung ist es dennoch, die Auswirkungen einer optimierten Fassade von Haus III mittels Simulation zu untersuchen. Mit Wärmeverlusten von 126.000 kWh/a und einem U-Wert von  $1,46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  stellen die Außenwände einen Ansatzpunkt zur Optimierung dar. Das Dämmsystem, welches hier untersucht werden soll, ist identisch mit dem bei Haus II. Eine Vorhangfassade soll angebracht werden. Als Dämmstoff dienen wieder Mineralwollämmplatten ( $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) mit einer Dicke von 120 mm.

Die Verkleidung soll auch hier aus Faserzementplatten bestehen. Der U-Wert der so wärmetechnisch aufgewerteten Wand berechnet sich zu 0,255 W/(m<sup>2</sup>·K).

Aus dem gewählten Aufbau ergeben sich auch hier geschätzte spezifische Investitionskosten von 120 Euro brutto pro Quadratmeter Außenwand. Die Fläche der Außenwand für das gesamte Gebäude beträgt ca. 1.030 Quadratmeter. Als realistische Investitionskosten werden daher 123.600 Euro veranschlagt.

Die zusätzlichen Einsparungen an einem schon durch die Maßnahmen eins und zwei optimiertem Haus III beläuft sich auf 67.589 kWh/a. Aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung folgt, dass bei einer Energiekostensteigerung von acht Prozent mit den Einsparungen eine Investition in Höhe von 152.000 Euro finanziert werden kann. Diese Summe liegt über den oben genannten Investitionskosten von 123.600 Euro. Bei sechs Prozent Energiekostensteigerung erlauben die Einsparungen eine Investition in Höhe von 123.000 Euro. In beiden Fällen ist die Maßnahme wirtschaftlich.

Die Kohlendioxidemissionen werden durch die beschriebene Sanierung der Außenfassade um 36,5 Tonnen pro Jahr reduziert.

#### 7.1.4.1.4 Zusammenfassung der bauphysikalischen Optimierungsansätze

In Tabelle 7-7 sind alle untersuchten Maßnahmen zum verbesserten Wärmeschutz der Wirtschaftsschulen Steinfurt zusammengefasst.

Die Ergebnisse zu Haus I verdeutlichen, dass die gemeinsame Durchführung aller Maßnahmen a) bis c) zu einer größeren Energieeinsparung führt, als die Summe der Einzelmaßnahmen. Dieses unterstreicht darüber hinaus den besonderen Wert und Nutzen dynamischer Simulationen. Nur unter Berücksichtigung der dynamischen Energietransportvorgänge innerhalb des Gebäudes und über die Gebäudehülle werden die Effekte der gegenseitigen Beeinflussung von Veränderungen am Baukörper sichtbar.

Tabelle 7-7: Zusammenfassung der bauphysikalischen Optimierungsmaßnahmen

Bauteil	Maßnahme	Verringerung Heizwärme		Verringerung CO <sub>2</sub> -Emission
		[kWh/a]	[%]	[t/a]
Haus I	a) neue Fenster	17.121	10,9	9,3
	b) erhöhter Wärmeschutz Dach	23.700	15,2	12,9
	c) erhöhter Wärmeschutz Außenwand	25.339	16,2	13,8
	<i>Maßnahme a) bis c) gemeinsam</i>	<i>73.269</i>	<i>47,0</i>	<i>39,9</i>
Haus II	Vorhangfassade	40.810	27,3	22,0
Haus III	Aufstockung, neues Dach und neue Fenster	25.625	14,7	13,8
	Vorhangfassade	67.589	38,7	36,5
<b>Summe</b>		<b>207,293</b>	<b>43,2</b>	<b>112,2</b>

Insgesamt kann mit den untersuchten Maßnahmen ein Einsparpotenzial von über 43 Prozent geschöpft werden. Abgesehen von der Aufstockung und den Fenstern bei Haus III sind alle Maßnahmen unter den gegebenen Randbedingungen wirtschaftlich.

Die Aufstockung von Haus III war aufgrund der Raumsituation erforderlich. Die Fenster in Haus III waren aufgrund ihres Alters zu ersetzen. Daher können für diese beiden Maßnahmen die für die Wirtschaftlichkeit angesetzten Kriterien nicht herangezogen werden.

Die Maßnahmen bei Haus I werden wirtschaftlich, indem sie gemeinsam umgesetzt werden.

#### **7.1.4.2 Betriebstechnische Optimierungen**

Neben der Optimierung der Gebäudehülle können bei bestehenden Objekten in der Regel Energieeinsparungen durch eine verbesserte Betriebstechnik erzielt werden.

Hier sind zunächst Verbesserungen der Regelung der Heizungsanlage zu nennen. Mithilfe des Simulationsmodells können die Auswirkungen von geänderten Steuerungs- und Regelparametern auf das energetische Verhalten des Gebäudes vor dem Hintergrund der geforderten Behaglichkeit untersucht werden.

Ebenfalls können mit dem Simulationswerkzeug im Zuge der Planung von gebäudetechnischen Veränderungen oder von Umnutzungen einzelner Räume vermutete kritische Betriebs- und Behaglichkeitssituationen eingehend im Detail beleuchtet werden, bevor die kostenintensive Umsetzung der Maßnahmen erfolgt. Hierdurch lassen unzumutbare Arbeits- und Lernsituationen im Vorfeld erkennen und durch rechtzeitige Einflussnahme auf die Planung verhindern. Kostenintensive Nachbesserungen nach Fertigstellung werden so vermieden.

Eine Problemstellung im Bereich der thermischen Behaglichkeit ist im oberen Geschoss des Hauses II gegeben, das in 2000 auf das bestehende Gebäude aufgesetzt wurde. In den dort angesiedelten PC-Arbeitsräumen werden im Sommer während des Unterrichts aufgrund der hohen inneren Lasten und der Ausrichtung der Fassade nach Südwesten Temperaturen von über 40 °C gemessen.

##### *7.1.4.2.1 Regelungstechnische Optimierung*

Bei messtechnischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Nachtabenkung nicht optimal funktioniert. In einigen Klassenräumen wurde die Komforttemperatur bis 2 Uhr in der Nacht gehalten. Die Ursache hierfür kann zum einen in hydraulischen Mängeln des Heizungsnetzes liegen, durch welche einige Räume über- bzw. unterversorgt werden. Zum anderen kann der Fehler in einer falschen Steuerung der Nachtabenkung gesucht werden.

Die Nachtabenkung startete im Ausgangszustand der Anlage um 21.00 Uhr abends und endete 5.00 Uhr morgens. Die Absenkttemperatur liegt bei 17 °C. In der Simulation wurde der Beginn der Absenkphase auf 18.00 Uhr vorgezogen und bis auf 6.00 Uhr ausgedehnt. In Tabelle 7-8 sind die Auswirkungen dieser Maßnahme auf die Einsparung an Heizwärme für die einzelnen Gebäude der Schule zusammengefasst. Die Summe der Einsparung aller Häuser liegt in der Größenordnung der Maßnahmen zum verbesserten Wärmeschutz der Außenwand bzw. des Daches bei Haus I. Die Maßnahme des verlängerten Absenkbetriebs ist allerdings gegenüber diesen Maßnahmen fast kostenlos.



Tabelle 7-8: Auswirkung des verlängerten Absenkbetriebs

	Haus I [kWh/a]	Haus II [kWh/a]	Haus III [kWh/a]	Summe [kWh/a]
Simulierte Einsparung	10.503	8.628	10.130	<b>29.234</b>

Durch die ausgedehnte Nachtabsenkung darf der Komfort nicht verschlechtert werden. Darum wurden für die nach Referenzjahr kälteste Woche im Jahr die Temperaturverläufe in Klassenräumen für den Fall mit eingestellter Nachtabsenkung und ausgedehnter Nachtabsenkung verglichen. Eine Verschlechterung der Behaglichkeit ist durch die Ausdehnung der Nachtabsenkung nicht gegeben.

In Abbildung 7-16 sind für den Fall des verlängerten Absenkbetriebs die Simulationsergebnisse eines Klassenraums für den 21./22. Januar dargestellt. Die Lufttemperatur (blaue Kurve im oberen Diagramm) erreicht bereits vor Unterrichtsbeginn um 8 Uhr den erforderlichen Wert von 20 °C. Die eingebrachte Heizleistung wird im mittleren Diagramm durch die rote Linie wiedergegeben. Deutlich ist der Anstieg der Heizleistung um 6 Uhr zu erkennen. Nach dem Eintreffen der Schüler zu Unterrichtsbeginn um 8 Uhr fährt die Heizleistung herunter und wird durch die in beige dargestellte Wärmeabgabe der Schüler kompensiert. Die Komforttemperatur wird bis 18 Uhr gehalten. Anschließend fährt die Heizung herunter in den Absenkbetrieb.

In Abbildung 7-17 ist im Vergleich zu Abbildung 7-16 die Situation bei unveränderter Nachtabsenkung dargestellt. Die Heizung führt dem Gebäude bei nicht optimierter Nachtabsenkung über einen längeren Zeitraum Wärme zu, die aber nicht komplett benötigt wird, um die erforderliche Behaglichkeit herzustellen.

Der Index nach Fanger nimmt in beiden Fällen einen sehr ähnlichen Verlauf. Daher ist kein Nachteil im thermischen Komfort durch die Optimierung der Nachtabsenkung festzustellen.

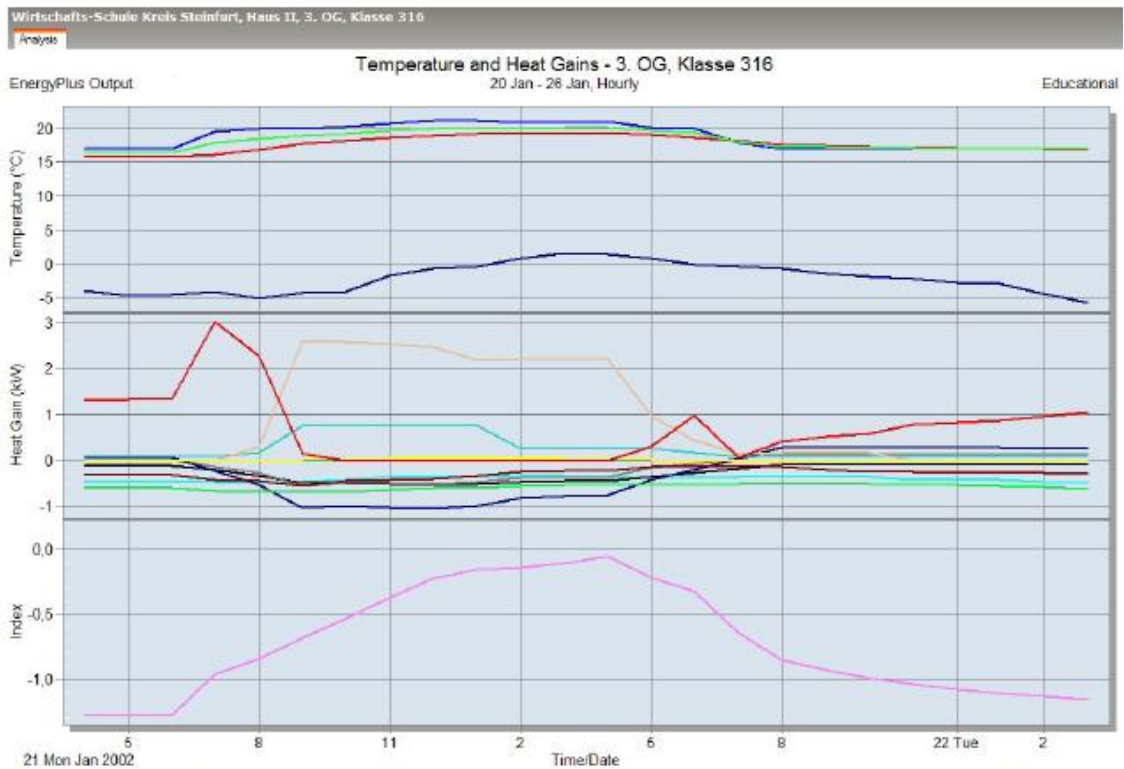


Abbildung 7-16: Verlauf der Wärmegewinne und -verluste, der Temperaturen und des Fanger-Index bei verlängerter Nachtabsenkung<sup>34</sup>

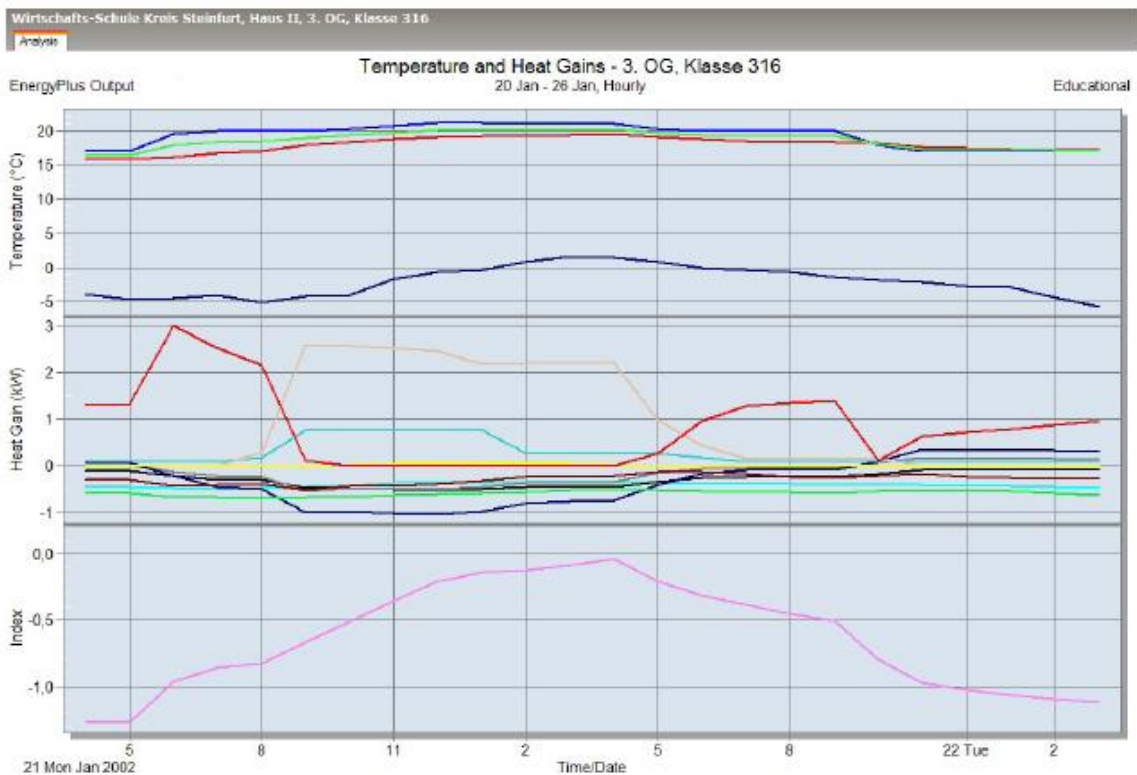


Abbildung 7-17: Verlauf der Wärmegewinne und -verluste, der Temperaturen und des Fanger-Index bei Nachtabsenkung im Ist-Zustand<sup>34</sup>

#### 7.1.4.2.2 Entwicklung einer Kühlung für thermisch hoch belastete Räume

Nach Aussagen des Hausmeisters der Wirtschaftsschulen sind bei sommerlichem Wetter in den Computerräumen des Hauses II Temperaturen oberhalb von 40 °C gemessen worden. Diese extremen Werte konnten durch eine Simulation der betroffenen Räume bestätigt werden. Die Computerräume haben aufgrund der hohen elektrischen Anschlussleistung der Rechnerarbeitsplätze eine sehr hohe Kühllast. Hinzu kommen die inneren Lasten durch die Personen. Auf einer Fläche von etwa 76 Quadratmetern sind im Extremfall 30 Personen an 30 Computern und 30 Bildschirmen beschäftigt. Hinzu kommt die Beleuchtung.

In Abbildung 7-18 ist das Simulationsergebnis der Ausgangssituation in einem Computerraum dargestellt.

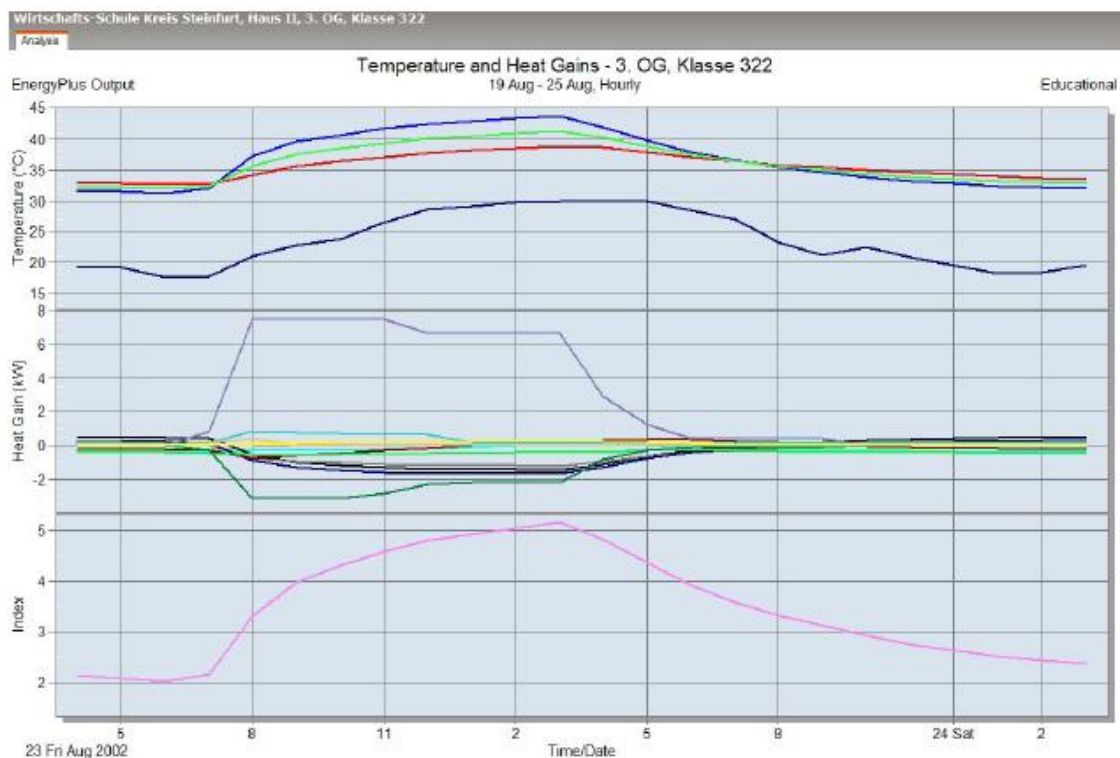


Abbildung 7-18: Verlauf der Temperaturen, Wärmegewinne und -verluste, Fanger-Index in einem ungekühlten Computerraum in Haus II <sup>34</sup>

Die dadurch resultierenden hohen Temperaturen in den Sommermonaten wirken sich sehr stark auf die Leistungsfähigkeit der Schüler und Lehrer aus. Mit jedem Kelvin oberhalb der Komforttemperatur sinkt die Leistungsfähigkeit um 3,5 Prozent.

Der Kreis Steinfurt sieht daher akuten Handlungsbedarf und hat daher im Rahmen des Projektes mit einer Hochleistungskühldecke und einer Schwerkraftkühlung zwei Systeme getestet, mit denen die Situation deutlich verbessert werden kann.

Mittels einer dynamischen Gebäudesimulation wurden für die Computerräume die erforderliche Kühlleistung und die jährliche Kühlarbeit für den Fall ermittelt, dass die operative Temperatur maximal 26 °C betragen darf. Die Ergebnisse dieser Simulation sind in Abbildung 7-19 dargestellt. Am Fanger-Index ist im Vergleich zu Abbildung 7-18 die extreme Verbesserung der Behaglichkeit zu erkennen. Die erforderliche Kühlleistung würde für die gestellte

Randbedingung 26 °C für die operative Temperatur (grüne Linie im oberen Diagramm) 10 kW betragen. Dies entspricht einer flächenspezifischen Leistung von 130 W/m<sup>2</sup>, die aber von Kühldecken nicht abgeführt werden kann.

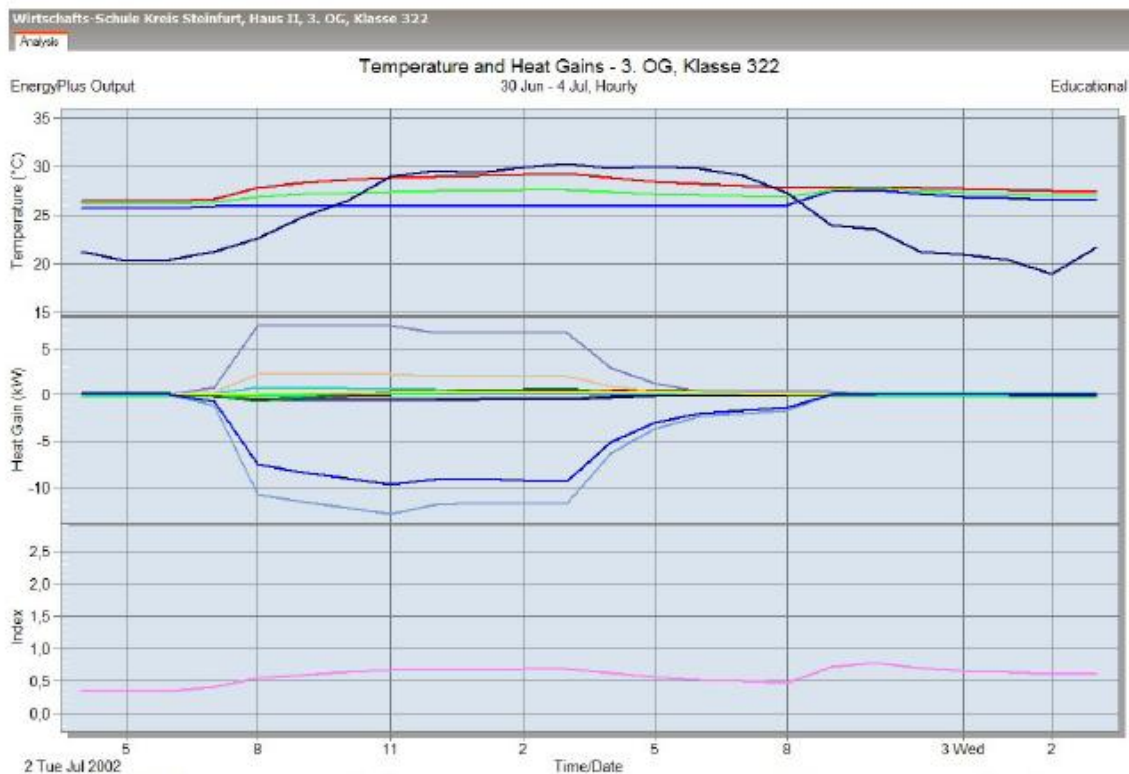


Abbildung 7-19: Verlauf der Temperaturen, Wärmegewinne und -verluste, Fanger-Index in einem gekühlten Computerraum in Haus II - Kühlleistung 10 kW<sup>34</sup>

Die mittels Kühldecken maximal realisierbare Kühllast beträgt in dem Computerraum bei einer Ausnutzung von 90 Prozent der Deckenfläche 6 kW. Eine weitere Simulation gibt Aufschluss über die Behaglichkeit, die mit dieser Leistung zu erreichen ist. Mithilfe dieser Leistung kann die operative Temperatur von 26 °C nicht eingehalten werden, aber die extremen Spitzen der Innenraumtemperatur können verringert werden.

In Abbildung 7-20 sind die Simulationsergebnisse für den Fall der reduzierten Kühlleistung dargestellt. Maximal werden Temperaturen von etwas über 30 °C erreicht. Dies hat zur Folge, dass die thermische Behaglichkeit, gemessen am Fanger-Index im Vergleich zum Optimum abnimmt, sich jedoch im Vergleich zum Ist-Zustand deutlich verbessert darstellt. Die operative Temperatur liegt rund 10 °C unter den Maximalwerten des ungekühlten Computerraums.

Die jährliche Kältearbeit, die aus dem Computerraum abgeführt werden muss, beläuft sich auf 5.000 Kilowattstunden. Das entspricht bei der Kühldecke mit einer Gesamtleistung von 6 kW einer spezifischen Kühlarbeit von 66 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr.

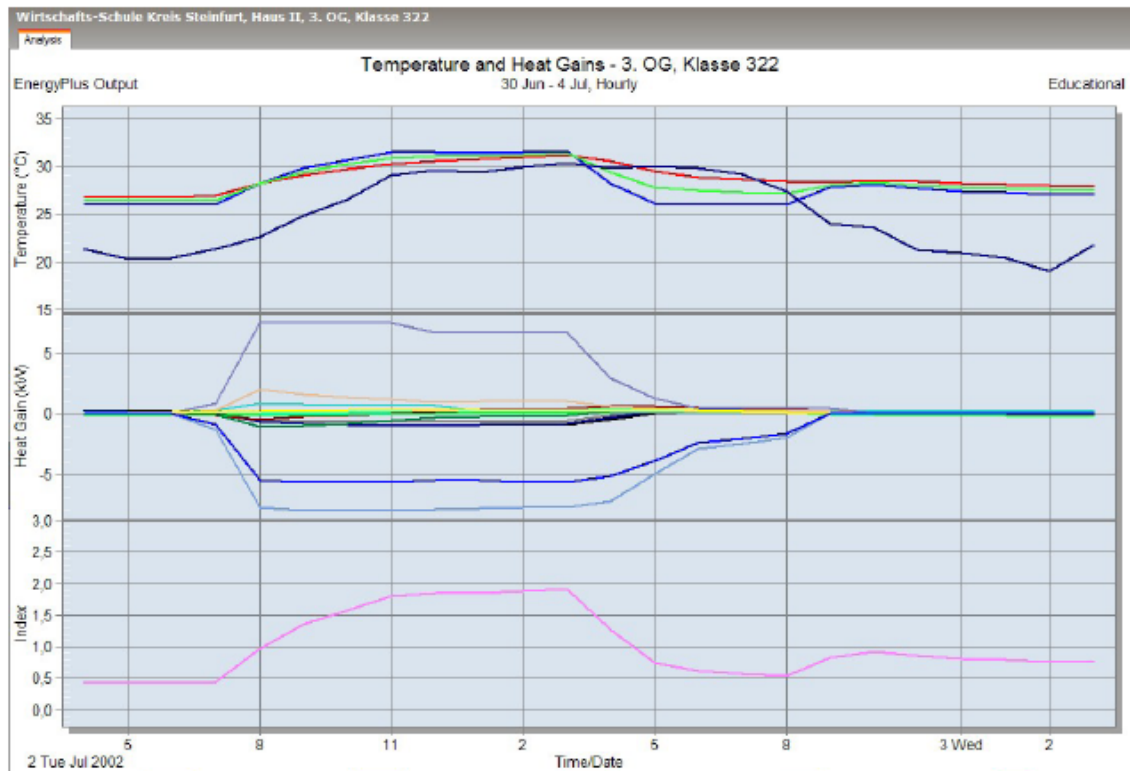


Abbildung 7-20: Verlauf der Temperaturen, Wärmegewinne und -verluste, Fanger-Index in einem gekühlten Computerraum in Haus II - Kühlleistung 6 kW<sup>34</sup>

## 7.2 Erstellung des Sanierungskonzeptes für die Wirtschaftsschulen und die Technischen Schulen

### 7.2.1 Green-IT - Thin - Clients

Circa 1/3 des Gesamtstromverbrauchs in Liegenschaften und an den Schulen benötigen Desktop-Rechner incl. Server. Eine Möglichkeit, dem steigenden Stromverbrauch entgegen zu wirken, ist der Einsatz von Thin Client Lösungen.

#### Was ist ein Thin Client:

*„Thin Client (engl. wörtlich "dünner Dienstanwender", inhaltlich bezogen auf Client-Server-Modell) bezeichnet innerhalb der elektronischen Datenverarbeitung eine Anwendung oder einen Computer als Endgerät (Terminal) eines Netzwerkes, dessen funktionale Ausstattung auf die Ein- und Ausgabe beschränkt ist.“<sup>36</sup>*

Abbildung 7-21 zeigt den Vergleich eines Thin-Clients mit ca. 0,9 kg mit einem herkömmlichen Desktop PC von ca. 8,5 kg.



Abbildung 7-21: Vergleich eines Thin-Clients (ca. 0,9 kg) mit einem herkömmlichen Desktop PC (ca. 8,5 kg)

#### Historie:

Seit den sechziger Jahren bis zum Anfang der 80er waren auf den Schreibtischen viele sogenannte Terminals zu finden. Ein Terminal ist ein Datensichtgerät mit angeschlossener Tastatur, das alle Tastendrücke des Benutzers über eine Netzwerkverbindung an einen Großrechner in einem Rechenzentrum sendet. Auf dem Großrechner werden die Benutzereingaben verarbeitet, die Programmverarbeitung durchgeführt und die daraus resultierende Datenmaske zurück zum Terminal geschickt, das diese Maske lediglich anzeigt.

Zum Zeitpunkt der Einführung von Terminals waren Desktop-PCs noch nicht bekannt und grafische Benutzeroberflächen mit Mausbedienung oder andere Eingabegeräte als der Tastatur noch gar nicht erfunden.

Mit Anstieg der Softwarelösungen und damit verbunden der Anstieg von Rechnerleistung in den 80er Jahren führte der Weg von den Terminals hin zu den Desktop-PCs an allen Arbeitsplätzen. Aber selbst heute, nach einer Ära der lokalen Verarbeitung, einer Ära der Netzwerke

<sup>36</sup> Wikipedia; <http://de.wikipedia.org/wiki/Thin-Client>; Stand 19.11.2009

und dem Einsatz von Software in Client/Serverumgebungen und inmitten des Internetzeitalters, sind einige der Vorteile der damaligen Terminals gefragter denn je, wenn es gilt, Kosten zu senken und Aufwand zu reduzieren.

Aus diesen vorgenannten Gründen wird zurzeit das Server Based Computing (kurz SBC) immer attraktiver. Es transportiert das Verarbeitungsprinzip der Terminals in das Zeitalter der grafischen Benutzeroberflächen. Bei SBC werden alle Programme, die der Anwender benutzt, alle Fenster, die er öffnet oder schließt, auf einem zentralen, leistungsfähigen Serversystem zentral ausgeführt.

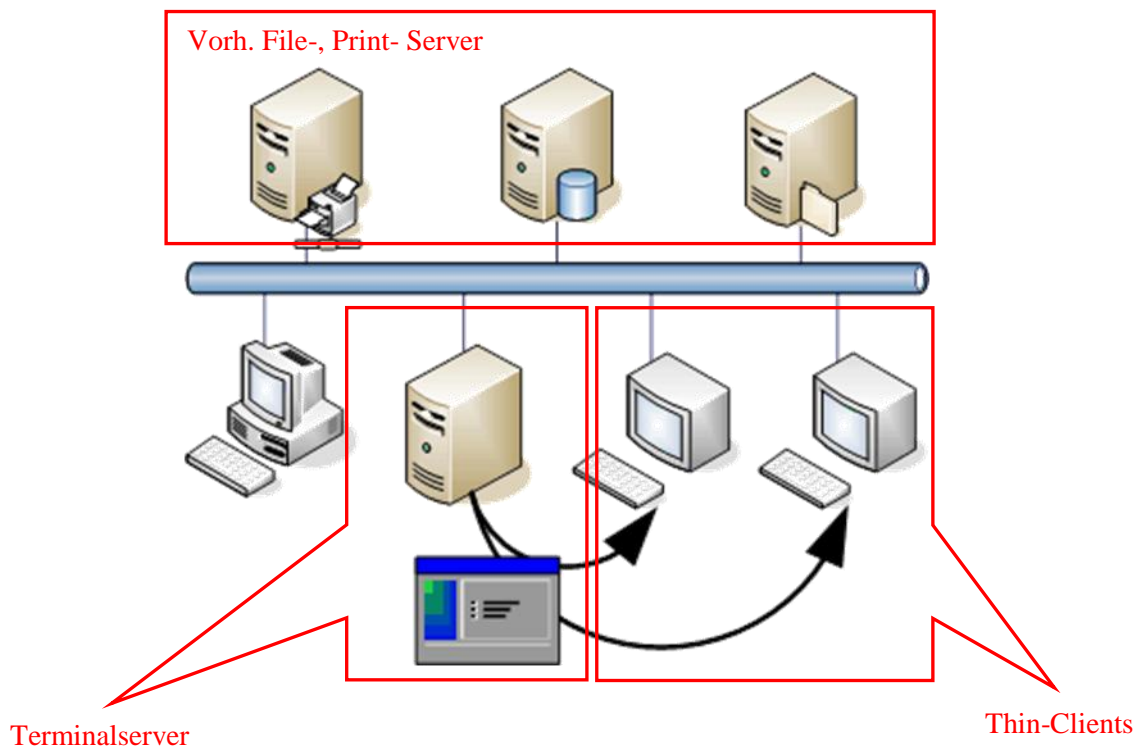


Abbildung 7-22: Darstellung herkömmlicher EDV Versorgung über vorhandenen File-, Print-Server und gegenübergestellt neue Möglichkeit der Thin-Client Lösungen über vorhandene Netzstrukturen

#### **Vorteile dieses Verfahrens sind:**

Am Arbeitsplatz des Benutzers können vergleichsweise preiswerte Endgeräte eingesetzt werden, die aufgrund fehlender lokaler Speicher über wesentlich weniger Bauteile verfügen, die ausfallen können, als beispielsweise ein Arbeitsplatz PC.

In den Thin Clients befinden sich keine beweglichen Teile (Festplatten, Lüfter, etc.), aus diesem Grunde sind Thin Clients lautlos.

Im laufenden Betrieb ist kein Hardware-Upgrade erforderlich. Alle benötigten Softwareapplikationen werden zentral auf einem Terminalserver verwaltet.

Der Stromverbrauch der Thin Clients liegt zwischen 5 und 40 Watt zu einem herkömmlichen Desktop-PC von ca. 150 Watt.

Die inneren Wärmelasten werden reduziert, sodass die Räume nicht mehr von klimatechnischen Anlagen gekühlt werden müssen.

Abbildung 7-23 zeigt anhand eines Ergebnisses einer dynamischen Simulation, wie schnell es im Sommerfall zu einer Überhitzung eines EDV-Klassenraumes kommen kann. Bereits um 10 Uhr morgens wird bei voller Belegung des Raumes eine Temperatur 40 °C erreicht. Das wiederum führt zu einer Leistungsminderung bei Lehrern und Schülern von 50 %. Temperaturmessungen an einem Sommertag bestätigten die Simulationsergebnisse.

## Überhitzung in EDV Klassen

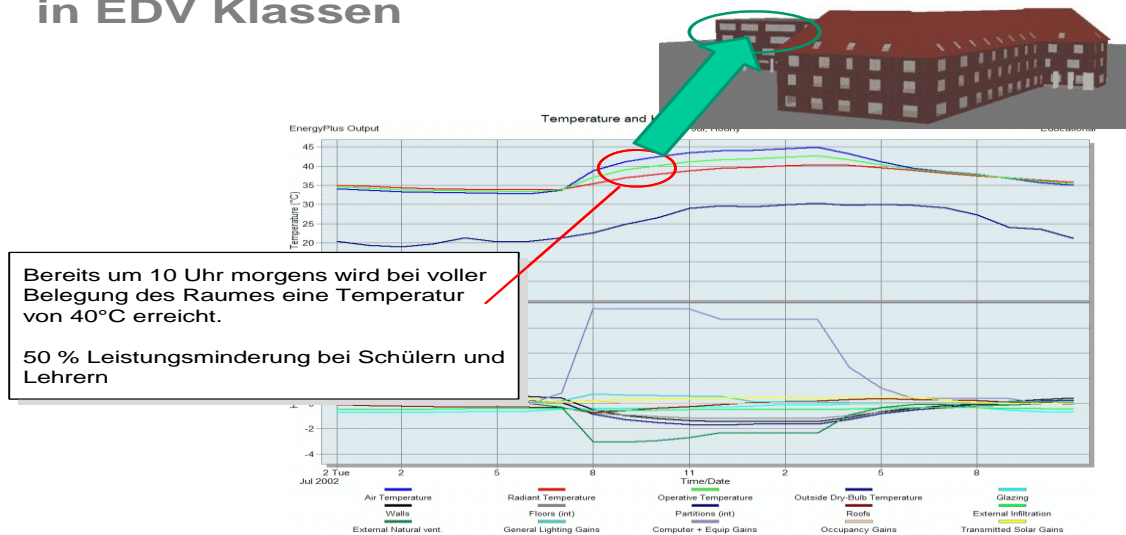


Abbildung 7-23: Ergebnisse einer dynamischen Simulation für einen EDV-Klassenraum einer Berufsschule <sup>34</sup>

Durch den Austausch der Desktop-PCs zu sog. Thin Clients und der Austausch der TFT-Flachbildschirme gegen LED bzw. LCD Bildschirme können die inneren Lasten um ca. 70 % reduziert werden. Ein weiterer Vorteil wären die großen Energie- und CO<sub>2</sub> Einsparungen, die sich bei dieser Schule ergeben würde.

### Wirtschaftlichkeit:

Anhand einer tabellarischen Auflistung wird die Umrüstung der vorhandenen Desktop-PCs zu Thin-Clients am Beispiel der Wirtschaftsschulen Steinfurt über einen Zeitraum von 5 Betriebsjahren beschrieben. Tabelle 7-9 und Tabelle 7-10 vergleichen die Ist-Situation am Beispiel der Wirtschaftsschulen Steinfurt mit insgesamt 350 Desktop-PCs mit der Energieoptimierung durch 350 Thin-Clients. Durch den Einsatz von Thin-Clients lassen sich jährlich ca. 218.500 kg CO<sub>2</sub> einsparen. Die Anschaffungskosten für Thin-Clients, Server und Storage liegen 7.000 € über den Anschaffungskosten der Desktop-PCs und dem Server. Doch bei den Betriebskosten über fünf Jahre lassen sich durch Thin-Clients ca. 222.460 € einsparen.



Tabelle 7-9: Ist-Situation am Beispiel der Wirtschaftsschulen Steinfurt mit insgesamt 350 Desktop-PCs

<b>Ist-Situation</b>				
Anzahl	Beschreibung	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Leistungsaufnahme	Anschaffungskosten
300 PCs	Intel Pentium P4, 3GHz, 1GB RAM		150 Watt	600,00 EUR
50 PCs	Intel Celeron, 1.7 GHz, 256MB RAM		120 Watt	400,00 EUR
1 Server	HP DL380G5, 2 x Xeon, 8GB RAM		800 Watt	3 000,00 EUR
<b>Anschaffungskosten</b>				
300 PCs	Intel Pentium P4, 3GHz, 1GB RAM		600 EUR	180 000,00 EUR
50 PCs	Intel Celeron, 1.7 GHz, 256MB RAM		400 EUR	20 000,00 EUR
1 Server	HP DL380G5, 2 x Xeon, 8GB RAM		3 000 EUR	3 000,00 EUR
			Summe	<b>203 000,00 EUR</b>
<b>Betriebskosten für 5 Jahre</b>				
Stromverbrauch Desktop-PCs	558 450 kWh	335070 kg	0.21 EUR	117 274,50 EUR
Stromverbrauch Server	35 040 kWh	21024 kg	0.21 EUR	7 358,40 EUR
Administration und Wartung	7 300 h		40 EUR	292 000,00 EUR
		<b>356094 kg</b>		<b>416 632,90 EUR</b>

#### Anmerkungen

Durchschnittlich 8.75 Stunden Betrieb der Desktop-PCs an 250 Tagen (Ferien, Wochenende)

Durchschnittlich 4 Stunden für Wartung und Administration an 365 Tagen (inkl. Support von externen Firmen und Austausch von Komponenten)

Tabelle 7-10: Energieoptimierung mit Thin-Clients am Beispiel der Wirtschaftsschulen Steinfurt mit insgesamt 350 Thin-Clients

<b>Energieoptimierung mit Thin-Clients</b>				
Anzahl	Beschreibung	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Leistungsaufnahme	Anschaffungskosten
350 SunRays	Alchemy CPU, SmartCard, 2FS		7.86 Watt	350 EUR
8 Server	Dell PE2950, 2 x Xeon Quad, 32GB RAM		750 Watt	7 500 EUR
1 Storage	SAN Storage Array 4 - 8TB		1 500 Watt	25 000 EUR
<b>Anschaffungskosten</b>				
350 SunRays	Alchemy CPU, SmartCard, 2FS		350 EUR	122 500,00 EUR
8 Server	Dell PE2950, 2 x Xeon Quad, 32GB RAM		7 500 EUR	60 000,00 EUR
1 Storage	SAN Storage Array 4 - 8TB		25 000 EUR	25 000,00 EUR
1 Server	HP DL380G5, 2 x Xeon, 8GB RAM		3 000 EUR	3 000,00 EUR
			Summe	<b>210 000,00 EUR</b>
<b>Betriebskosten für 5 Jahre</b>				
Stromverbrauch SunRays	30 089 kWh	18053 kg	0.21 EUR	6 318,69 EUR
Stromverbrauch Server	199 290 kWh	119574 kg	0.21 EUR	41 850,90 EUR
Administration und Wartung	3 650 h		40 EUR	146 000,00 EUR
		<b>137627 kg</b>		<b>194 169,59 EUR</b>

#### Anmerkungen

Durchschnittlich 8.75 Stunden Betrieb der SunRays an 250 Tagen (Ferien, Wochenende)

Durchschnittlich 2 Stunden für Wartung und Administration an 365 Tagen (inkl. Support von externen Firmen und Austausch von Komponenten)

Energieoptimierte Server, d.h. in den Nachtstunden (12 h) Suspend to Disk und am Tag (12 h) Betrieb an 365 Tagen. Dadurch Halbierung der Leistungsaufnahme.

## **7.2.2 Zentrale und dezentrale Lüftungsanlagen in Schulgebäuden**

Mehr Informationen zur zentralen und dezentralen Lüftungsanlage in Schulgebäuden ist in Abschnitt 4.9.1 (S. 132) zu finden.

### **7.2.3 Klimawand**

Wie im Rahmen dieser Untersuchungen aufgezeigt, sind niedrige und damit exergetisch günstige Über- bzw. Untertemperaturen im Heiz- und Kühlfall von entscheidender Bedeutung, wenn es um Energieeinsparung und wirtschaftliche Systeme geht.

Somit wurden unterschiedliche Ansätze untersucht, wobei sich neben den Klimadeckensystemen eine Klimawand aus unterschiedlichsten Gründen, ebenfalls als günstig erwies.

#### **7.2.3.1 Idee/Grundlagen**

Aufgrund der überaus positiven Erfahrung mit Hochleistungsschwerkraftkühlssystemen in EDV-Schulungsräumen im Rahmen dieser Studie, wurde die Grundidee abgewandelt und vereinfacht.

Die hier vorgestellte Klimawand benötigt aufgrund der flächigen Ausführung in Verbindung mit unterstützenden Konvektionsströmungen in Konvektionsschächten, nur geringe Über- bzw. Untertemperaturen. Gleichzeitig lassen sich zentrale und dezentrale Belüftungssysteme leistungssteigernd einsetzen. Das Gesamtsystem integriert sich unauffällig und robust mit geringstem Platzbedarf und ist somit weitestgehend aus dem Wirkungsbereich der Schüler ausgenommen.

Je nach Lastfall (Winter-/Sommerbetrieb) wird die Klimawand ohne unterstützende Hilfsgebläse lautlos durchströmt. Dabei erlaubt die quellluftartige Außenlufteinbringung eine ausgedehnte Nutzung von freier Kühlung.

#### **7.2.3.2 Prüfstand**

Ohne für zukünftige Varianten die konstruktive Ausführung abschließend zu fixieren, wurde mit einem konventionellen Kühldeckensystem der Fa. Emco, ein Konvektionsschacht entsprechend der nachfolgenden Bilder erstellt. Im Rahmen von Diplomarbeiten und weiteren Untersuchungen wurden erreichbare Heiz- und Kühlleistung bei moderaten Vorlauftemperaturen und Wassermassenströmen abgeschätzt. Grundsätzlich sind bei freier Konvektion mit Wasservorlauftemperaturen von ca. 45 °C, 400 W Heizleistung pro lfdm Klimawand zu erwarten. Im Kühlfall sind bei ca. 16 °C, 100 W Kühlleistung lfdm zu erwarten. Diese Leistungen werden durch die Einbringung der Zuluft in der Klimawand deutlich gesteigert. Erste Messungen ergaben Steigerungen um bis zu 50 %.

Diese Leistungen lassen sich durch Hochleistungskonvektoren (ebenfalls wartungsfrei, geräuschlos und ohne motorischen Antrieb), anstelle der Rohrsysteme, weiter steigern. So lassen sich bei gleichen Vorlauftemperaturen im Kühlfall bis zu 600 W pro lfdm erreichen.



*Abbildung 7-24: Geschlossene Klimawand unter Laborbedingungen*



*Abbildung 7-25: Offene Klimawand unter Laborbedingungen*

### **7.2.3.3 Umsetzung**

Die zuvor ermittelten Ergebnisse wurden in die Fachplanung der Sanierung für die Technischen Schulen des Kreises Steinfurt übernommen und zunächst für einen Modellraum in der zu sanierenden Schule umgesetzt.

Die im Flurbereich geführten Frischluftleitungen wurden über Stichleitungen mit der Klimawand verbunden. Abbildung 7-26 und Abbildung 7-27 zeigen in Detailzeichnungen den Aufbau der Klimawand. Abbildung 7-28 und Abbildung 7-29 zeigen Fotos der Klimawand im Rohbau und in Abbildung 7-30 ist die geschlossene Klimawand zu sehen.

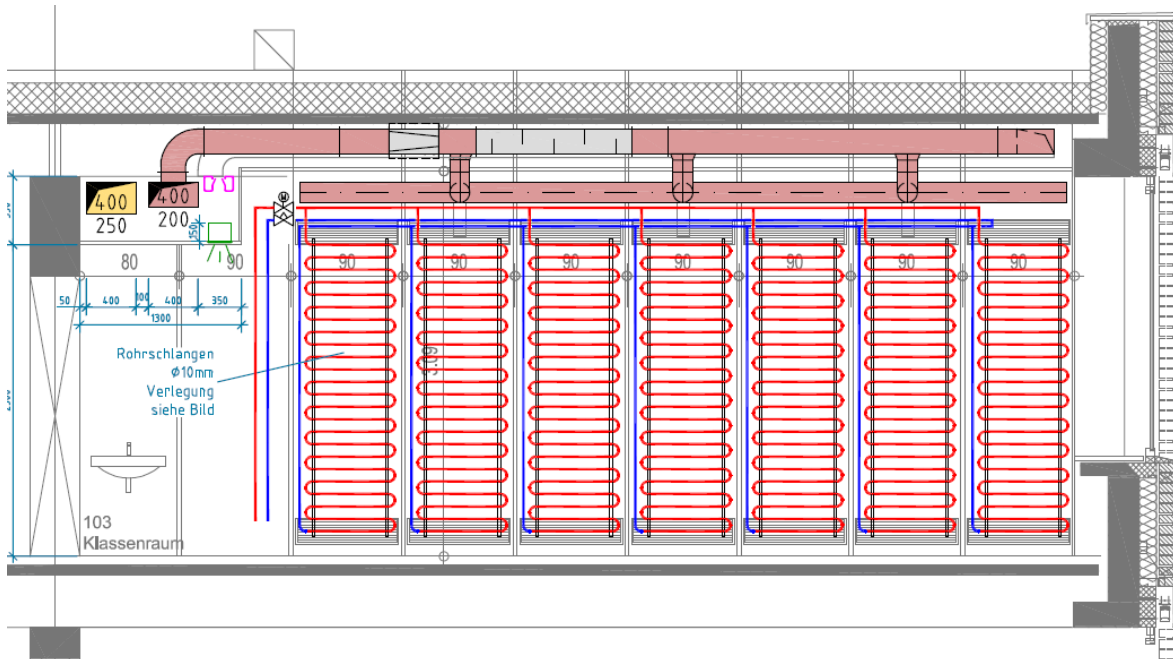
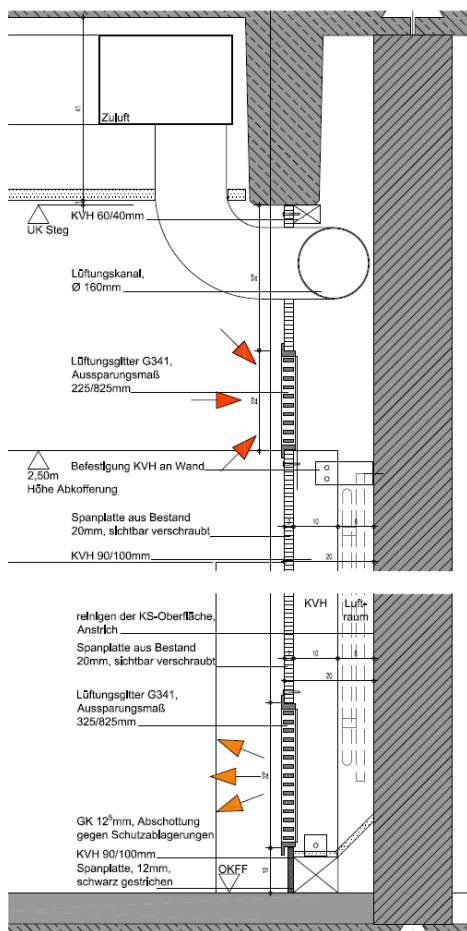
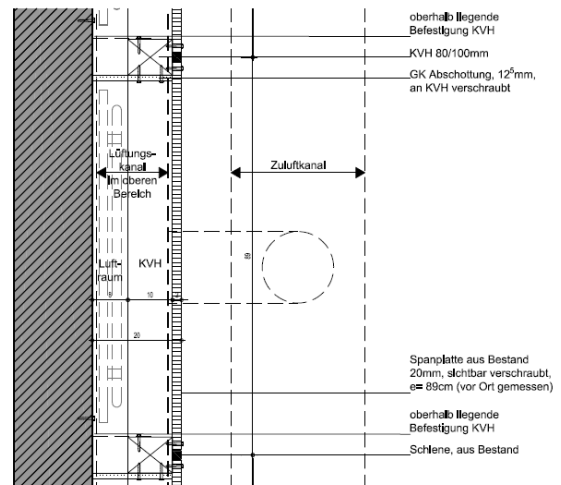


Abbildung 7-26: Detailzeichnung der Klimawand



290071 TSS Technische Schulen Steinfurt  
Klimawand Details  
M 1:5 VORABZUG 20.11.2009



architekten | ingenieure | generalplaner **agn**

agb | federlinghaus & Partner GmbH | Günter Albe 100 | 48178 Bielefeld | T 0541 / 9951-6 | E info@agn.de | www.agn.de | F 0541 / 9951-120

Abbildung 7-27: Technische Detailzeichnungen der Klimawand



*Abbildung 7-28: Schacht der Klimawand im Rohbau*



*Abbildung 7-29: Ansicht der Klimawand im Rohbau (Sanierung)*



*Abbildung 7-30: Geschlossene Klimawand (Sanierung im laufenden Betrieb)*

#### **7.2.3.4 Ausblick**

Das aufgezeigte Prinzip der geschlossenen Klimawand mit Konvektoren, das erfolgreich auch unter extremen Anforderungen, geprüft wurde, besitzt großes Potenzial im Sanierungsfall und für neu zu erstellende Schulgebäude. Neben der 100 %-Abdeckung der geforderten Heizlast im Winterfall, können bei günstigsten Vorlauftemperaturen (gegebenenfalls aus geothermischen Anlagen, die im Winter für Wärmepumpensysteme genutzt werden können) maximale Kühlleistung bei geringstem Energieaufwand erzeugt werden. Das fast wartungsfreie System kann problemlos nachgerüstet werden, da die luft- und wasserseitige Versorgung durch den abgehängten Deckenbereich in den Fluren erfolgen kann. Die Anbindung an dezentrale und zentrale raumluftechnische Anlagen rundet das Gesamtsystem ab.

Das System kann projektbezogen angepasst werden, wobei die Unterstützung eines Fachplaners bzw. Lieferanten im Hinblick auf die Ausgestaltung der Konvektionsschächte und des integrierten Heiz- und Kühlsystems erforderlich ist.

## 7.2.4 Latentspeichersystem auf der Basis von PCM-Elementen

### 7.2.4.1 Idee/Grundlagen

Die Grundidee ist die im Gebäude zentrale bzw. dezentrale Speicherung von natürlichen Tag- und Nachttemperaturschwankungen bzw. anfallenden Wärmemengen, innerhalb eines Phase Change Material (PCM)-Speichers. Die so gewonnene Kälte bzw. Wärme ist dann zeitversetzt für die Gebäudeklimatisierung zu nutzen. Dazu werden PCMs benötigt, die innerhalb dieser Temperaturschwankungsbreite einen Phasenwechsel (von fest zu flüssig) durchlaufen. Diese zentralen bzw. dezentralen Speichereinheiten sollten vorzugsweise Bestandteil der zentralen Klimaanlage bzw. RLT (RLT = raumluftechnische Anlage) oder DZL (dezentrale Lüftungsanlage) sein. Im Rahmen einer Nachrüstung können diese auch mit der Anlagentechnik strömungstechnisch verbunden werden.

Prinzipiell geeignete PCMs stehen zur Verfügung und können auch in größeren Mengen für industrielle Nutzungen produziert werden. Diese Materialien besitzen aber eine nur niedrige Wärmeleitfähigkeit (Paraffine:  $\approx 0,2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , Salze:  $\approx 0,5 - 0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ). Dadurch wird bei der Wärmeübertragung, z. B. beim Schmelzprozess, bereits nach kurzer Zeit das Problem offensichtlich, dass die äußere, nun erwärmte und flüssige Schicht, einem Transport der Wärme in den noch festen Kern des Speichers mit seiner schlechten Wärmeleitfähigkeit entgegen wirkt.

Die im PCM-Volumen gespeicherte Energie kann somit nur auf einem unbrauchbaren hohen Temperaturniveau aufgenommen bzw. beim Erstarrungsprozess auf einem zu niedrigen und somit ungünstigen Temperaturniveau abgegeben werden.

Eine Vielzahl von Untersuchungen und Messungen im Rahmen von Diplomarbeiten analysierte deshalb eine Strategie der Beimischung von Materialien mit deutlich höheren Wärmeleitfähigkeiten. Zusätzlich wurden metallische Trägerstrukturen gesucht (Aluminium-Schäume usw.), aber für die weitere Vorgehensweise verworfen. Grund ist der momentane Prototypen-Status, der mit hohen Kosten verbunden ist.

Seit Kurzem ergeben sich vielversprechende Ansätze auf der Basis von gepresstem Graphit. Dieses hochporöse Material eignet sich aufgrund seiner vergleichsweise sehr hohen inneren Wärmeleitfähigkeit sehr gut als Trägermaterial für PCM.

#### **Sommerbetrieb:**

Im Sommerbetrieb kann während kühlerer Sommernächte eine Regenerierung des PCM-Speichers erfolgen. Dazu saugt die zentrale oder dezentrale Anlage nächtliche Außenluft mit einem Temperaturniveau unterhalb des Schmelzpunktes an. Bei einem Schmelzpunkt von  $20 \text{ °C}$  könnte am folgenden heißen Sommertag die Außenluft von z. B.  $35 \text{ °C}$ , je nach Ausführung des Speichers, um mindestens  $10 \text{ °C}$  abgekühlt werden. Damit besäße sie automatisch die nach DIN 13779 geforderte Raumlufthtemperatur, ohne künstlich gekühlt zu werden. Illustriert wird dieser Gedanke in Abbildung 7-31.

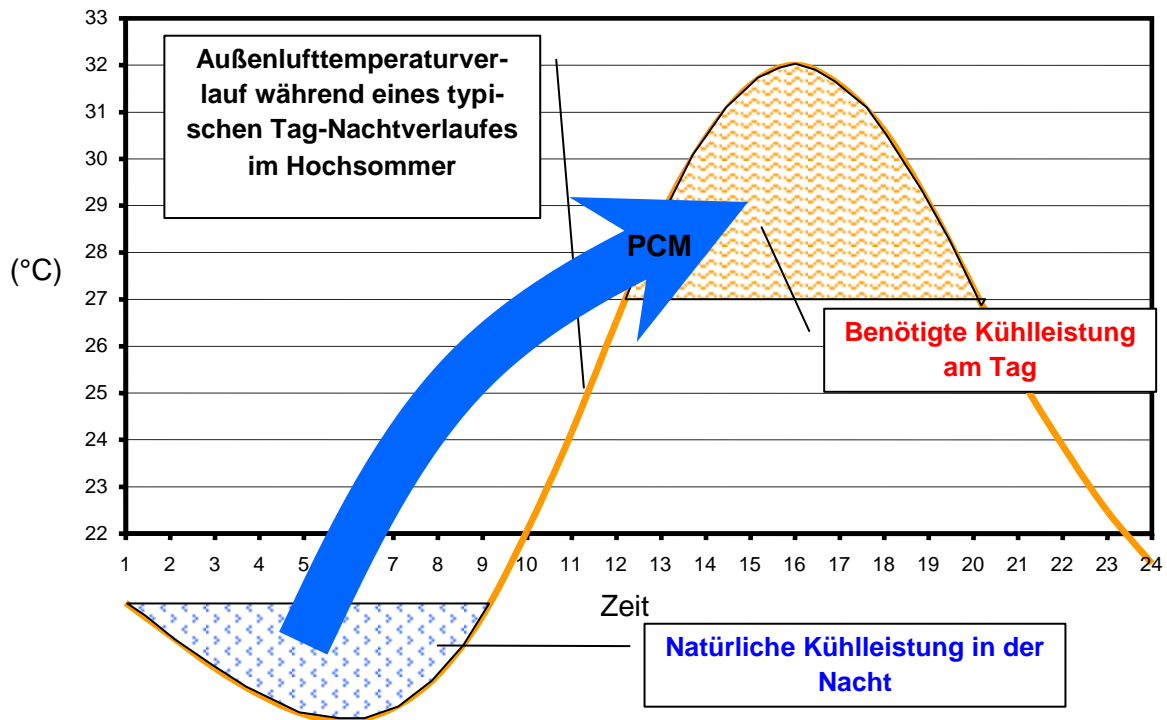


Abbildung 7-31: Grafische Darstellung des sommerlichen Kühlfalls während eines typischen Tag-Nachtverlaufes. Die Wärme, die nachts vom PCM abgegeben wird, kann tagsüber zur Kühlung der Zuluft in einem zentralen oder dezentralen Energiespeicher wieder aufgenommen werden.

Selbstverständlich könnten die Geräte auch im Umluftbetrieb betrieben werden, um einen Großteil der Raumkühlung zu übernehmen.

### Winterbetrieb:

Im Winterbetrieb gelingt eine zyklische Wärmeaufnahme des Latentspeichers durch Außenluft nicht, da die Temperaturen meist unterhalb der Raumlufttemperatur liegen. Allerdings können in zentralen Anlagen Betriebszustände im Winter auftreten, die aufgrund eines Wärmeüberschusses im Schulgebäude, eine WRG unsinnig machen. In diesen Fällen muss die RLT warme Fortluft in die Umgebung abführen.

Bei geschickter Wahl des Schmelzpunktes (20 °C bis 22 °C) könnten somit PCM-Speicher die im Sommerbetrieb zur Kühlung eingesetzt werden, im Winter zur Abwärmespeicherung eingesetzt werden. Der (intern) geschmolzene Speicher kann zu einem späteren Zeitpunkt während des isothermen Erstarrungsprozesses zur Erwärmung der kalten Außenluft genutzt werden.



### Planungsparameter:

Grundsätzlich stehen Paraffine und Salze zur Verfügung, die den hier angeführten Bedingungen genügen. Dabei liegen die Speicherfähigkeiten innerhalb eines Schmelz-/Erstarrungstemperaturbereiches zwischen 20 °C und 25 °C, bei ca. 120 kJ/kg bis ca. 150 kJ/kg.

Der Schmelzpunkt des gewählten PCMs sollte nicht unter 20 °C liegen, wenn der Latentspeicher zur Außenlufttemperierung eingesetzt werden soll.

Das gewählte PCM sollte in jedem Fall in ein hochwärmeleitfähiges Trägermaterial eingebettet sein. Vorzugsweise in eine Graphitmatrix.

Um einen relevanten energetischen Einspareffekt auf die Gebäudetemperierung zu erreichen, muss eine Menge von ca. 10 kg PCM pro m<sup>2</sup>-Schulraum eingeplant werden. Wie in bereits ausgeführten Projekten (Landesamtsgericht Düsseldorf) eignen sich hierbei aufgrund der großen Massen vorzugsweise zentrale raumlufttechnische Anlagen.

### 6.2.4.2 Mögliche Umsetzung

Die nachfolgenden Skizzen in Abbildung 7-32 zeigen im Rahmen des DBU-Projektes angedachte Lösungsvorschläge, für einen Klassenraum mit Außenluftanbindung.

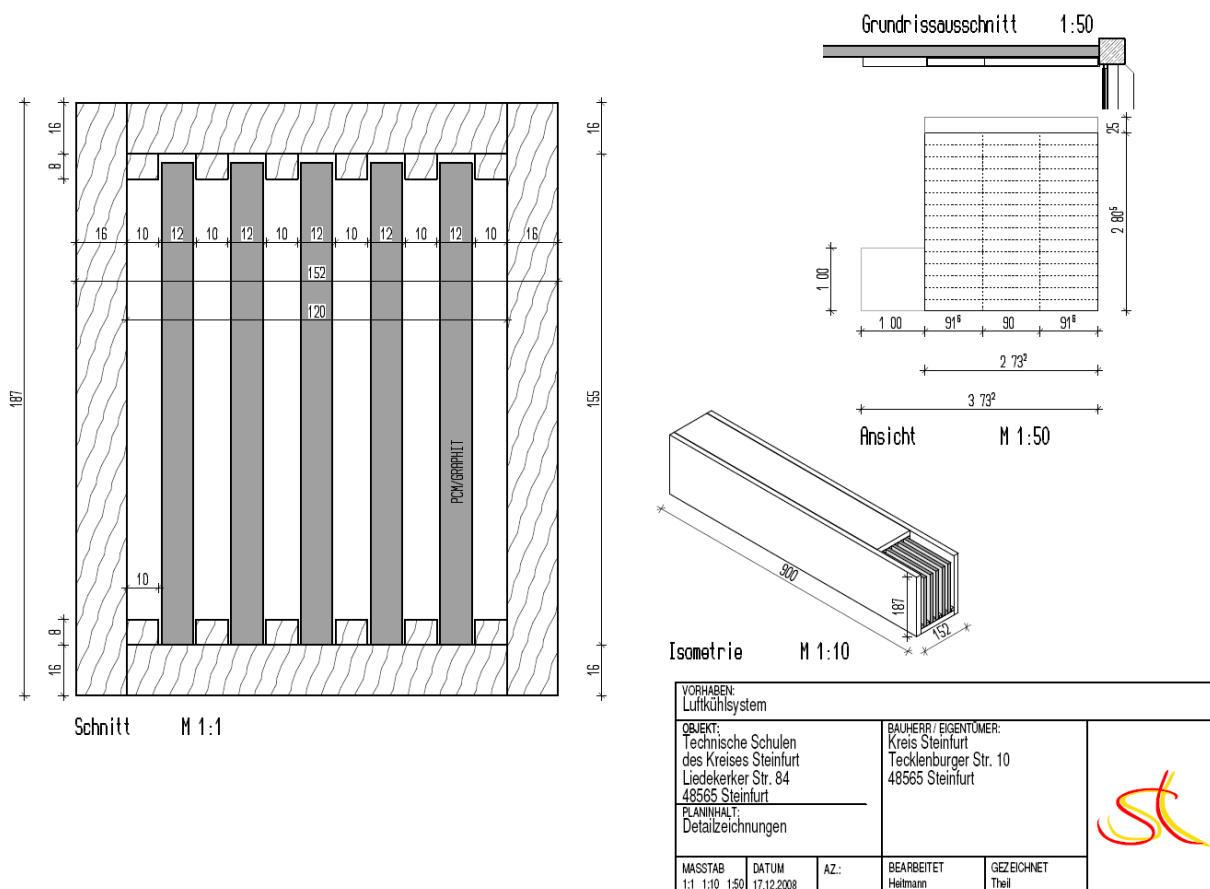


Abbildung 7-32: Angedachte Lösung im Rahmen des Projektes

Die hier gezeigte Lösung zeigt eine Klimawand im Klassenraum, die mittels Hilfsgebläse entweder mit Außenluft oder Raumluft durchströmt wird. Dabei können der Latentspeicher und die Außenluft Wärmemengen austauschen.

#### **6.2.4.3 Ausblick**

Die Frage der Energieeinsparung führt heute trivialerweise zu immer effektiveren Komponenten und Systemen, wobei die noch wichtigere Frage der Energiespeicherung oft unbeantwortet bleibt.

Integriert man die solare Leistung auf ein Schulgebäude über ein Jahr, erhält man eine Gesamtleistung die oberhalb der benötigten Heizleistung eines Schulgebäudes nach EnEV-Standard liegt. Daraus leitet sich die Bedeutung der Speichertechnik ab, die bei optimaler Funktion eine Heizungsanlage (egal wie effektiv) ersetzen würde.

Speichertechniken werden in Wohn-, Nichtwohn- und damit auch Schulgebäuden mittelfristig Einzug halten.

## 7.2.5 Automatische Fensterlüftung

### 7.2.5.1 Idee

Im Rahmen des Projektes wurde die Wirksamkeit einer automatischen Fensterlüftung erprobt. In Abhängigkeit von der Kohlendioxidkonzentration in dem entsprechend ausgerüsteten Klassenraum TS27 wurden Oberlichter von einer Steuerung geöffnet bzw. geschlossen. Bei Erreichen einer Konzentration von 1.000 ppm wurde geöffnet. Bei Unterschreitung der Konzentration von 800 ppm wurde geschlossen. Während der Pausen öffnete die Steuerung grundsätzlich die Oberlichter.

### 7.2.5.2 Umsetzung

Die automatische Steuerung der Oberlichter beinhaltet folgende Funktionen: Bei Überschreitung eines oberen Grenzwertes der CO<sub>2</sub>-Konzentration öffnen die Oberlichter, bei Unterschreitung eines unteren Grenzwertes schließen sie wieder. Zur Vermeidung der Auskühlung des Raumes im Winter gibt es einen Temperaturgrenzwert, bei dessen Unterschreitung die Fenster geschlossen werden. Damit es nicht zur Taktung kommt, wenn die Temperatur um diesen Grenzwert schwankt, wird auch hier eine Hysterese vorgesehen. Eine manuelle Bedienung soll möglich bleiben, außerdem soll es eine Zeitschaltung geben, die für eine Lüftung in den Pausen sorgt und die Automatik außerhalb des Schulbetriebes deaktiviert, sodass es weder nachts noch am Wochenende zu geöffneten Fenstern kommen kann, was potenziellen Einbrechern den Weg in die Schule ebnet würde. Des Weiteren soll es einfach möglich sein, die Sollwerte der Steuerung vor Ort zu verstellen und die Istwerte für eine spätere Auswertung mitschreiben zu lassen. Tabelle 7-11 gibt eine Übersicht über die Vorgaben, wann die Fenster geöffnet bzw. geschlossen sein sollen.

Tabelle 7-11: Vorgaben der automatischen Fensterlüftung<sup>37</sup>

Fenster AUF	Fenster ZU
CO <sub>2</sub> > 1.500 pp,	CO <sub>2</sub> < 800 ppm
Temperatur > 20 °C	Temperatur < 19 °C
In den Pausen	außerhalb des Schulbetriebes
manuell AUF für bestimmte Zeit	manuell ZU für bestimmte Zeit
weitere Funktionen: Anzeige des IST-Wertes Verstellung der SOLL-Werte Datenlogging	

Folgende Abbildung 7-33 verdeutlicht die Funktionsweise der automatischen Fensterlüftung.

<sup>37</sup> Diplomarbeit Thomas Grothaus, Entwicklung von Sanierungsmaßnahmen für die Technischen Schulen des Kreises Steinfurt durch energetische Simulation, September 2008

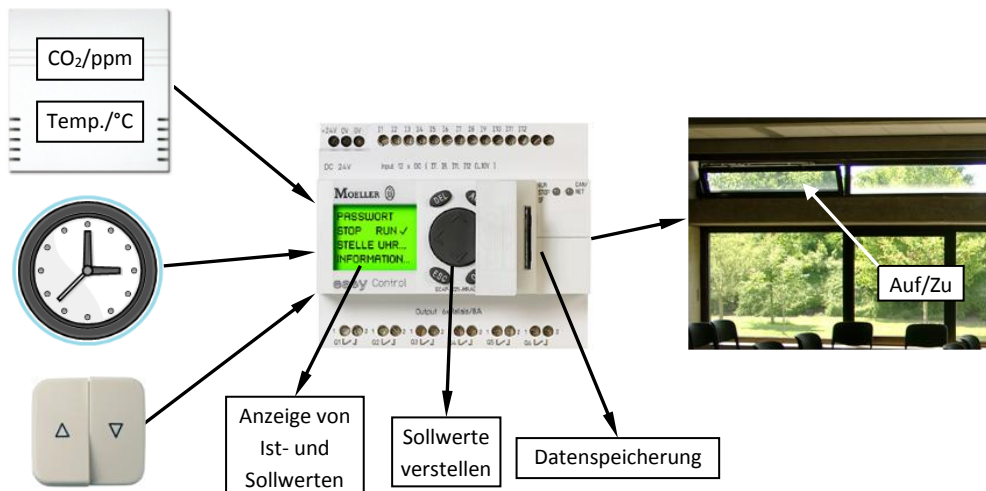


Abbildung 7-33: Funktionsweise der automatischen Fensterlüftung<sup>37</sup>

Diese Komponenten wurden zur Realisierung verbaut:

- SPS mit 24 V Spannungsversorgung
- Motoren für die Oberlichter
- Schaltrelais zur Schaltung der Motoren
- Kombifühler Temperatur & CO<sub>2</sub>
- Schalter zur manuellen Betätigung

Die folgende Abbildung 7-34 zeigt das Innere des Schaltschranks in dem ein Großteil der Komponenten zusammengeführt und angeschlossen wurde als Einbau im Klassenzimmer.



Abbildung 7-34: Das Innere des Schaltschranks im Klassenraum<sup>37</sup>

### 7.2.5.3 Ergebnis

Insgesamt erwies sich die Belüftung über Oberlichter auch hier als unzureichend. In Abbildung 7-35 sind die Auswirkungen der automatischen Belüftung auf die Kohlendioxidkonzentration in der Raumluft dargestellt. Die Zahl der Schüler betrug in allen Unterrichtsstunden 21. Die Steuerung erfüllte ihre Aufgabe und öffnete und schloss das Fenster exakt bei den vorgegebenen Konzentrationen. Insgesamt konnte die Kohlendioxidkonzentration aber nicht unterhalb von 1000 ppm gehalten werden. Der größte Teil des Unterrichts fand unter hygienisch auffälligen Bedingungen statt.

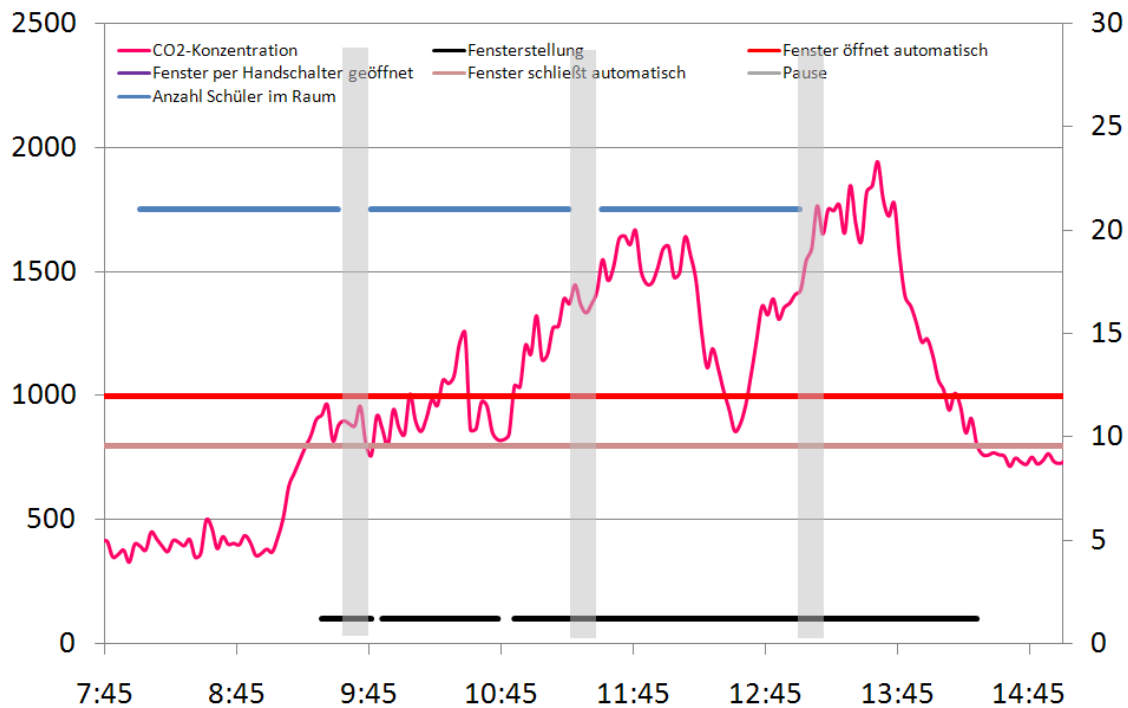


Abbildung 7-35: Auswirkungen eines automatischen Lüftungssystem

## 7 Entwicklung von Finanzierungsmodellen

Finanzierungsmodelle von Schulsanierungen sind vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele der Bundesregierung zu sehen. Das vor der Weltklimakonferenz in Bali im Dezember 2007 verabschiedete „Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP)“ beinhaltet 29 Maßnahmen, vor allem zur Förderung der Energieeffizienz und erneuerbaren Energien.

Die energetische Sanierung der sozialen Infrastruktur, das Erneuerbare Energien- und Wärmegesetz, der Ausbau der Förderprogramme zur energetischen Gebäudesanierung und die Novellierung der Energieeinsparverordnung sind die wichtigsten Programme. Aktuell wurde nach dem Konjunkturpaket I mit dem „Pakt für Beschäftigung und Stabilität“ (**Konjunkturpaket II**) ein zusätzliches Maßnahmenpaket angeboten, um Arbeitsplätze zu schaffen und gleichzeitig die Klimaschutzziele zu erreichen.

Die Förderprogramme des Bundes und der Länder sind in den jeweiligen gesetzgeberischen Kontext eingebunden. Die Durchführung, Ausgestaltung und Verteilung der zur Verfügung stehenden Mittel wird durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (**KfW**), das Bundesamt für Ausfuhrkontrolle (**BAFA**) sowie durch die Institutionen der Länder maßgeblich begleitet. Im Bereich der Zukunftsinvestitionen der Kommunen und der Länder, einem Schwerpunkt des Konjunkturpaketes II, stehen insgesamt 13.3 Mrd. € für den Zeitraum 2009 bis 2010 zur Verfügung. Der Investitionsschwerpunkt ist dabei die Sanierung von Schulen, Kindergärten, Hochschulen und Weiterbildungseinrichtungen. Mit der Sanierung sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringert und die Energieeffizienz gesteigert werden. Dabei ist ggf. die ab Oktober 2009 geltende neue Energieeinsparverordnung zu berücksichtigen.

### 7.1 Fördermittel als Zuschuss

Durch das BAFA (Bundesamt für Ausfuhrkontrolle) werden Solarkollektoren, Biomasseheizkessel und effiziente Wärmepumpen mit nicht zurückzahlbaren Zuschüssen gefördert.

Eine weitere Fördermöglichkeit ist aus dem Bereich des BMU (Bundesumweltministerium) zu nennen. Drei Förderschwerpunkte, Klimaschutz- und Teilkonzepte, Klimaschutztechnologien sowie Modellprojekte sollen das IEKP unterstützen. Je nach Konzept belaufen sich die Zuschüsse auf bis zu 80 % der förderfähigen Ausgaben.

### 7.2 Darlehensfinanzierung

Im Bereich der kommunalen Infrastruktur gibt es zahlreiche individuell zu betrachtende Förderprogramme für Investition und Sanierung. Zu nennen sind:

- Kommunal Investieren – Investoffensive Infrastruktur
- Kommunal Investieren
- Sozial Investieren – Investoffensive Infrastruktur
- Sozial Investieren – Energetische Gebäudesanierung
- Sozial Investieren
- Kommunalkredit – Investoffensive Infrastruktur
- Energieeffizient Sanieren – Kommunen
- KfW – Investitionskredit Kommunen
- KfW – Investitionskredit Kommunen – flexibel

Beispiele einzelner Programme und deren Zinssätze:

Programm	KP Nr.	Anmerkung	maximaler Zinssatz EKN % nominal (effektiv) <sup>1)</sup>						Auszahlung %	Bereitstellungsprov. <sup>2)</sup> p. M. %	Zinssätze gültig ab
			Bei Programmen mit risikogerechtem Zinssystem gelten die Preisklassen								
			A	B	C	D	E	F			
Finanzierung kommunaler Infrastrukturvorhaben - Direktkredit											
Kommunalkredit - Investitions-offensive Infrastruktur 30/ 5/ 5	207	1.- 2. Jahr <sup>6)</sup>	0,00 (0,00)						100		09.10.2009
Kommunalkredit - Investitions-offensive Infrastruktur 30/ 5/ 5	207	3.-5. Jahr <sup>6)</sup>	2,10 (2,12)						100		09.10.2009
Energieeffizient Sanieren - Kommunen 20/ 3/ 10	218	<sup>6)</sup>	1,35 (1,36)						100		26.06.2009
Energieeffizient Sanieren - Kommunen 30/ 5/ 10	218	<sup>6)</sup>	1,35 (1,36)						100		26.06.2009
<p>1) Effektivzinssatz für die Dauer der Zinsbindungsfrist. Soweit in der Darlehenszusage nicht anders angegeben, wurden die ausgewiesenen Effektivzinssätze unter programmspezifischen Annahmen berechnet; sie gelten jeweils für den Fall, dass in dem jeweiligen Kreditprogramm Tag genau die maximal möglichen Laufzeitjahre ab dem 30.12. des laufenden Kalenderjahres, die maximal mögliche Anzahl tilgungsfreier Anlaufjahre und der maximal mögliche Zinsbindungszeitraum in Anspruch genommen werden. Diese Daten sind dem Merkblatt des jeweiligen Kreditprogramms zu entnehmen. Von diesen Annahmen abweichende Darlehensbedingungen können im Einzelfall zu einem abweichenden Effektivzinssatz in der Darlehenszusage führen.</p> <p>2) beginnend zwei Bankarbeitstage und einen Monat (vier Monate in den Programmen Wohneigentum und Wohnraum Modernisieren Standard) nach Zusagedatum für noch nicht ausgezahlte Kreditbeträge.</p>											

Für den Bereich der erneuerbaren Energien werden diese Programme noch ergänzt durch:

- BMU-Umweltinnovationsprogramm
- KfW-Programm Erneuerbare Energien-„Premium“
- KfW-Programm Erneuerbare Energien-„Standard“
- Energieeffizient Bauen
- Energieeffizient Sanieren

Beispiele einzelner Programme und Zinssätze:

Programm	KP Nr.	Anmerkung	maximaler Zinssatz EKN %							Auszahlung %	Bereitstellung prov. <sup>2)</sup> p. M. %	Zinssätze gültig ab
			nominal (effektiv) <sup>1)</sup>									
			Bei Programmen mit risikogerechtem Zinssystem gelten die Preisklassen									
Laufzeit/ tilgungsfreie Anlaufjahre/ Zinsbindung	A	B	C	D	E	F	G					
Finanzierung von Umweltinvestitionen												
ERP- Umwelt- und Energieeffizienzprogramm 5/ 1/ 5	237	<sup>3)</sup> neue Länder und Berlin	2,05 (2,07)	2,40 (2,42)	2,70 (2,73)	3,00 (3,03)	3,50 (3,55)	4,20 (4,27)	4,90 (4,99)	100	0,25	09.10.2009
ERP- Umwelt- und Energieeffizienzprogramm 5/ 1/ 5	237	<sup>3)</sup> alte Länder ohne Berlin	2,30 (2,32)	2,65 (2,68)	2,95 (2,98)	3,25 (3,29)	3,75 (3,80)	4,45 (4,52)	5,15 (5,25)	100	0,25	09.10.2009
ERP- Umwelt- und Energieeffizienzprogramm 10/ 2/ 10	237	<sup>3)</sup> neue Länder und Berlin	2,80 (2,83)	3,15 (3,19)	3,45 (3,49)	3,75 (3,80)	4,25 (4,32)	4,95 (5,04)	5,65 (5,77)	100	0,25	09.10.2009
ERP- Umwelt- und Energieeffizienzprogramm 10/ 2/ 10	237	<sup>3)</sup> alte Länder ohne Berlin	3,05 (3,09)	3,40 (3,44)	3,70 (3,75)	4,00 (4,06)	4,50 (4,58)	5,20 (5,30)	5,90 (6,03)	100	0,25	09.10.2009
ERP- Umwelt- und Energieeffizienzprogramm 20/ 3/ 10	237	<sup>3)</sup> neue Länder und Berlin	3,30 (3,34)	3,65 (3,70)	3,95 (4,01)	4,25 (4,32)	4,75 (4,84)	5,45 (5,56)	6,15 (6,29)	100	0,25	09.10.2009
ERP- Umwelt- und Energieeffizienzprogramm 20/ 3/ 10	237	<sup>3)</sup> alte Länder ohne Berlin	3,55 (3,60)	3,90 (3,96)	4,20 (4,27)	4,50 (4,58)	5,00 (5,09)	5,70 (5,82)	6,40 (6,56)	100	0,25	09.10.2009

Die Inanspruchnahme der Programme ist auch abhängig von der jeweiligen Lage der Kommune innerhalb sog. Regionalfördergebiete (GA-Gebiete).



### 7.3 Contracting & PPP

Contracting basiert auf einer Idee des schottischen Erfinders James Watt: „Wir werden Ihnen kostenlos eine Dampfmaschine überlassen. Wir werden diese installieren und für fünf Jahre den Kundendienst übernehmen. Wir garantieren Ihnen, dass die Kohle für die Maschine weniger kostet, als Sie gegenwärtig an Futter (Energie) für die Pferde aufwenden müssen, die die gleiche Arbeit tun. Und alles, was wir von Ihnen verlangen, ist, dass Sie uns ein Drittel des Geldes geben, das Sie sparen.“ (James Watt, 1736–1819)

Als **Public Private Partnership** (Abkürzung PPP), auch **Öffentlich Private Partnerschaft** (ÖPP), wird die Mobilisierung privaten Kapitals und Fachwissens zur Erfüllung staatlicher Aufgaben bezeichnet.

Zunehmend kommt PPP auch bei Gebietskörperschaften, deren Verschuldungssituation nach Auffassung der staatlichen Aufsichtsbehörden beispielsweise eine kreditfinanzierte Sanierung von Schulgebäuden nicht mehr zulässt, zur Anwendung. Schulgebäude sind insbesondere auch in Hessen im Rahmen von Erbbauverträgen langfristig an private Gesellschaften abgegeben worden, nur um sie sogleich wieder anzumieten. Die privaten Gesellschaften verpflichten sich zur Sanierung der Gebäude und erhalten dafür über Zeiträume von 20 bis 40 Jahren Mietzahlungen der Gebietskörperschaft. Diese Mietzahlungen liegen nicht nur über den bei einer kreditfinanzierten Sanierung fällig werdenden Kapitalmarktzinsen, die beteiligten Gebietskörperschaften haben auch „Nebenkosten“, zum Beispiel für Beratung und Geschäftsbesorgung, in zum Teil erheblicher Höhe zu tragen.

Die öffentliche Hand ist nicht vollständig von der Nützlichkeit von PPP als alternative Beschaffungsmethode überzeugt. Auch sind derzeit nicht alle Konzepte ausgereift. Von daher sind viele Entscheidungsträger, Gremien und Beamte angesichts unerprobter Verwaltungsverfahren bei PPP eher geneigt, wie bisher die Planung und Beschaffung in Eigenregie wie gehabt durchzuführen. In weiten Bereichen besteht in Deutschland auch noch eine nicht zu unterschätzende rechts- und verfahrensrechtliche Unsicherheit.

## **8 Ökologisch ökonomische Bilanzierung der vorgeschlagenen Maßnahmen**

### **8.1 Katalog von Sanierungsmaßnahmen für die Technischen Schulen**

Der Kreis Steinfurt plant die Grundsanierung der Technischen Schulen in Steinfurt. Dabei soll neben einer energetischen Sanierung auch eine funktionale und pädagogische Anpassung an veränderte Nutzungsanforderungen umgesetzt werden. In den letzten Jahren haben sich neue Berufsfelder entwickelt, die es so zur Zeit des Neubaus der Schule, nicht gegeben hat. Anzumerken ist hierbei nur der Bereich EDV. Dies bedeutet u. a., dass im Werkstattbereich eine Umverteilung von Flächen und Räumen erfolgt, bei der neuen Lehrberufen, wie z. B. der Steuerungstechnik mehr Raum zur Verfügung gestellt wird. Daneben benötigt die Schule dringend einen großen Multifunktionsraum der sowohl für Lehr- und Prüfveranstaltungen aber auch für besondere Anlässe wie Abschlussfeiern, Ausstellung und Vortragsveranstaltungen genutzt werden kann. Aus diesem Grund erhält die Schule einen Anbau, der dieser Anforderung in Zukunft gerecht wird.

Ein weiterer Verbesserungsbereich betrifft die dunklen Zonen im Innenbereich der Schule. Durch die sehr große Tiefe des Schulgebäudes (bis zu 51 Meter!) gibt es viele Lehrräume, die kein Tageslicht aufweisen oder nur in Form von Lichtkuppeln. Hier soll im Rahmen der Sanierung Abhilfe geschaffen werden. Dabei werden insgesamt 6 sogenannte Lichthöfe geschaffen, die zum Teil bis in das Erdgeschoss reichen. Hierdurch werden zukünftig alle Klassenräume mit Tageslicht versorgt.

Die Schule wird im 1. Bauabschnitt (1. BA) um einen multifunktionalen Anbau erweitert. Der Großraum kann durch eine mobile Trennwand in 2 Unterrichtsräume getrennt werden. Der neue Multifunktionsraum lässt sich, zusammen mit einem ebenfalls neu erstellten Sanitärblock, komplett getrennt betreiben und kann so auch außerhalb der Schulzeiten gut genutzt werden.

Aus Gründen der Lufthygiene werden alle Klassenräume mechanisch be- und entlüftet. Zentrale Zu- und Abluftanlagen auf dem Dach mit hohem Wärmerückgewinnungsgrad erlauben eine Lüftung mit geringem Energiebedarf.

Die Gesamtmaßnahme wird in insgesamt 5 Bauabschnitten durchgeführt. Nach dem 1. BA mit der Errichtung des Multifunktionsraumes wird der direkt angrenzende Osttrakt des Hauptgebäudes saniert. Der 3. BA umfasst die Sporthalle und soll fast parallel zum 2. BA durchgeführt werden. Im 4. BA wird der Westflügel des Hauptgebäudes saniert. Im letzten Bauabschnitt wird dann der Werkstattbereich saniert. Bei der Grundsanierung der Sporthalle wird auch ein eingeschossiger Anbau errichtet, in dem zukünftig verschiedene Vereine ihre Lager- und Übungsräume wiederfinden.

## Die Sanierung der Technischen Schule umfasst im Einzelnen folgende Gewerke:

### 1. Baukonstruktion (KG 300)

- 1.1. Baustelleneinrichtung und Ersatzmaßnahmen
- 1.2. Abrissarbeiten
- 1.3. Dach
  - 1.3.1. Dachabdichtung
  - 1.3.2. Dachbelichtung
- 1.4. Betonarbeiten
- 1.5. Maurerarbeiten
- 1.6. Zimmerarbeiten
- 1.7. Metallbauarbeiten
  - 1.7.1. Außenfenster und -türen
  - 1.7.2. Innentüren und Trennwände
- 1.8. Trockenbau
  - 1.8.1. Trennwände
  - 1.8.2. Klimawand
  - 1.8.3. Abgehängte Decken
- 1.9. Innentüren
  - 1.9.1. Türen
  - 1.9.2. Mobile Trennwände
- 1.10. Oberboden
- 1.11. Fliesen
- 1.12. Schlosserarbeiten
- 1.13. Tischlerarbeiten
- 1.14. Malerarbeiten
- 1.15. Verschiedenes

### 2. Technische Gebäudeausrüstung

- 2.1. Starkstromanlagen
- 2.2. Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen
  - 2.2.1. Telefonanlage
  - 2.2.2. BM-Anlage (Brandmelder)
  - 2.2.3. Passives Datennetz
- 2.3. Heizung/Kühlung
  - 2.3.1. Schule
  - 2.3.2. Sporthalle
- 2.4. Lüftung
  - 2.4.1. Schule
  - 2.4.2. Sporthalle
- 2.5. Sanitär
  - 2.5.1. Schule
  - 2.5.2. Sporthalle
  - 2.5.3. Nutzung Solarthermie Sporthalle
- 2.6. Gebäudeautomation
- 2.7. Aufzug

### 8.1.1 Baukonstruktion (KG 300)

#### 8.1.1.1 Baustelleneinrichtung und Ersatzmaßnahmen

Herstellen einer temporären Zufahrt zum Baugelände über die vorhandene Tartanbahn am Ostrand des Baugrundstücks mit einer Rampe von der Liedekerker Straße. Die Baustelleneinrichtungsfläche liegt im östlichen Grundstücksbereich zwischen Hauptgebäude und Containergebäude. Aufstellen eines Baukrans in Abhängigkeit der einzelnen Bauabschnitte, einschl. Versetzung an mehrere Standorte.

Erstellung und Vorhaltung eines Ersatzgebäudes als Containeranlage mit 20 Klassenräumen und Stunden-WCs im Bereich der ehemaligen Tartanbahn an der Ostgrenze des Grundstücks. Dauer: ca. 14 Monate, einschl. aller notwendigen Fundamentarbeiten nach Statik. Herstellen der Versorgungsleitungen Strom, Wasser und Telefon, einschl. Tiefbauarbeiten. Herstellen der Abwasser- und Regenwasserleitung vom Containergebäude zu den entsprechenden nächstgelegenen Revisionsschächten, einschl. Tiefbauarbeiten.

#### 8.1.1.2 Abrissarbeiten

Rückbau aller gemäß neuer Grundrissplanung zu entfernenden Innenwände, einschl. fachgerechter Entsorgung des Abbruchmaterials, Rückbau der Alufenster und aller Stahlbetonfens-

terriegel im Bereich der Außenfassade. Entfernen der Deckenplatten der Stahlbetonrippendecke im Bereich der neuen Lichthöfe und Dachoberlichter und im Bereich des neuen Aufzugs. Entfernen der braunfarbigen Plattenbelags (25 x 25 cm) im Bereich des Werkstatttrakts und der Oberböden in den Klassenräumen und in der Sporthalle.

Ausbau und Entsorgung der elastischen Verfugung an den Stahlbetonauflegerkonsolen (PCB-Belastung!).

### **8.1.1.3 Dach**

#### *8.1.1.3.1 Dachabdichtung*

Rückbau aller Lichtkuppeln im Dachbereich, Schließen der Öffnungen, Rückbau der Dachabdichtung und der alten Dämmelage. Einbau einer Dampfsperre mit Wärmedämmung nach EnEV Vorgabe und einer zweilagigen, bituminösen Abdichtung auf allen Flachdächern, einschl. aller Wandanschlüsse. Herstellen einer Attikaabdeckung aus Alu-Blech mit thermisch getrennter Unterkonstruktion gemäß EnEV Nachweis.

Abklebung der neuen Lichthöfe analog zum Flachdach Hauptgebäude. Einbau von Gehwegplatten zu Wartungszwecken, ca. 18 m<sup>2</sup> je Lichthof. Die Restfläche wird mit Kieseln oder Grobsplitt bedeckt.

#### *8.1.1.3.2 Dachbelichtung*

Einbau von Dachoberlichtern im Bereich der neue Lichthöfe 1 und 6 und für die Belichtung der innenliegenden Flurflächen. (Anordnung gemäß Planeintragung), Ausführung als kittloses Verglasungssystem aus verzinkten Stahlsprossen mit aufgelegter Verglasung und Alu-Deckleisten mit sichtbarer Verschraubung und den erforderlichen EPDM Dichtungen.

Oberlichter der Lichthöfe 1 bis 6 als ungedämmte Konstruktion mit natürlicher Belüftung.

Oberlichter im Flurbereich als wärmegeämmte Konstruktion mit einem thermisch getrennten Sprossensystem, Isolierverglasung und integrierten Lüftungsflügeln.

### **8.1.1.4 Betonarbeiten**

Herstellen der Fundamente und Sohlplatten für die neuen Anbauten gemäß Statik, einschließlich aller notwendigen Entwässerungsgrundleitungen und Fundamentanker. Herstellen eines Aufzugsschachtes aus Stahlbeton gemäß Statik, Herstellen der Außenwände und der Decke des Multifunktionsraumes aus Stahlbeton gemäß Statik.

Im Werkstattbereich erhalten die Räume 0.1.01 Drehmaschine und 0.1.26 Lager Holz eine obere Abdeckung als Stahlbetondecke. (Lichte Höhe = 3 m)

### **8.1.1.5 Mauerarbeiten**

Herstellen der Vormauerschale aus Klinkermauerwerk, einschließlich Maueranker und 14 cm Wärmedämmung und Verfugung. Abfangung der Fensterstürze mit Edelstahlankerschienen, die in die vorhandene Stahlbetonbrüstung eingedübelt werden. Die Konsolaufleger der

Stahlbetonfertigteilebrüstungen werden durch Stahlstützen mit auskragenden Konsolen gemäß Statik verstärkt.

Ausführung von neuen Trennwänden gemäß Planung aus Kalksandsteinmauerwerk mit Putzauftrag bzw. als ein- oder zweiseitiges Sichtmauerwerk aus Verblendsteinen in Anlehnung an den Bestand. Ausführung Sichtmauerwerk als 2-schaliges Verbundmauerwerk (KS/Verblender bzw. beidseitig Verblender). Wände im Werkstattbereich als Sichtmauerwerk, wie Bestand, jedoch raumhoch, ohne Oberlicht, Bereiche mit Sichtmauerwerk gemäß Planeintragung.

#### **8.1.1.6 Zimmerarbeiten**

Im Bereich der Mauerpfeiler Herstellung von Ausfachungen in Holzrahmenbauweise bestehend aus Pfosten und Riegeln aus KVH (Konstruktionsvollholz, 8 x 16 cm), beidseitig mit OSB-Platten (d = 1,8 cm) beplankt. Im Bereich der Lichthöfe werden die geschlossenen Wandbereiche mit einer Holzrahmenwand in gleicher Bauweise errichtet. Zwischen die Holzpfosten wird jeweils eine Mineralwolldämmung mit d = 160 mm und WLG 035 eingebaut. Zudem wird auf der Rauminnenseite eine Dampfsperre zwischen Wärmedämmung und OSB-Platte eingebaut.

#### **8.1.1.7 Metallbauarbeiten**

##### *8.1.1.7.1 Außenfenster- und Türen*

Die Fenster und Türen in der Außenfassade werden sowohl im gesamten Schulgebäude als auch in der Sporthalle erneuert.

An der Sporthalle wird im Bereich der Südansicht (Achse K) das untere Lichtband geschlossen. Im Zuge der Sanierung werden zuerst die alten Fenster ausgebaut. Danach wird durch den Rohbauunternehmer der Stahlbetonfertigteilsturz, der zwischen altem Oberlicht und Fenster liegt, entfernt. Danach erfolgt der Einbau der neuen Aluminiumfenster mit Isolierverglasung. Der mittlere U-Wert der Fenster (Rahmen und Scheibe) beträgt mind. 1,3 W/(m<sup>2</sup>·K). Die Oberfläche der Fenster ist pulverbeschichtet nach RAL-Farbkarte. Die Fenster an der Süd-, Ost- und Westfassade erhalten einen außenliegenden Sonnenschutz mit einem elektrisch gesteuerten Alu-Raffstore, Lamellenbreite 60 mm.

An der Nordseite wird nur der Sonnenschutzkasten eingebaut um die Gestaltung der Außenfassade nicht zu verändern.

##### *8.1.1.7.2 Innentüren und Trennwände*

In den Fluren und Treppenhausbereichen erfolgt der Einbau von neuen Rauch- und Brandschutztüren gemäß dem vorliegenden Brandschutzkonzept. Ausführung als Aluminium-Rahmentür mit Einfachverglasung, Obentürschließer und allen erforderlichen Beschlägen. Sonstige Türen in Flurbereichen als ungedämmte Alu-Rahmenkonstruktion mit Einfachverglasung (VSG).

Verglaste Trennwandanlagen gemäß Planeintragung als ungedämmte Alu-Rahmenkonstruktion mit senkrechter Sprossenteilung und integrierten Drehtürelementen. Verglasung als Einfachverglasung (VSG).

### **8.1.1.8 Trockenbau**

#### *8.1.1.8.1 Trennwände*

Erstellen von Innenwänden in doppelt beplankter GK-Konstruktion mit Ständern aus verzinkten C- und U-Profilen, Wandstärken 12,5 - 17,5 cm nach statischer Erfordernis. Herstellen von Türöffnungen zur Aufnahme von Stahlzargen, Abkastung der Lüftungskanäle im Deckenbereich mit GK-Platten. Herstellen von GK-Wandabkastungen im Bereich der Sanitärausstattung.

#### *8.1.1.8.2 Klimawand*

Ausführung gemäß Vorgabe TGA. Erstellung einer Vorsatzschale zur Installation der Lüftungstechnik. Die vorhandene Wandbekleidung wird in diesen Bereich komplett einschl. Unterkonstruktion demontiert und mit Ausnahme der Unterkonstruktion im Gebäude zwischengelagert. Es erfolgt die Erstellung einer neuen Tragkonstruktion zur Aufnahme der vorhandenen Wandplatten und Regalschienen. Die vorhandenen Wandplatten werden entspr. dem neuen Verwendungszweck bearbeitet und angepasst (Höhenanpassung und Einbau von Zu- und Abluftgittern). Für die Längenanpassung und zum Flächenausgleich sind neue Passplatten vorgesehen. Der Wandhohlraum wird durch senkrechte GK-Konstruktionen in einzelne Schotten unterteilt.

#### *8.1.1.8.3 Abgehängte Decken*

Neue Abhangdecke mit Mineralfaser-Platten (MF) analog zu der vorhandenen Abhangdecke in den Klassenräumen. Ausführung der Platten als Langfeldplatte zwischen den Rippen der Pi-Plattendecke. Ausführung partiell in den Klassenräumen in Verbindung mit der Installation Lüftung/Klimawand. Ganzflächig in Bereichen mit umfangreichen Grundrissänderungen.

Bereich: EG Achse 7-12/J-M und 5-6/J-L sowie im Lehrer/Verwaltungsbereich

Die mit Formaldehyd belastete Holzdecke in den Fluren im EG und OG und in der Pausenhalle wird komplett ausgebaut und entsorgt. Hier erfolgt ebenfalls der Einbau einer MF-Plattendecke, wie vor beschrieben.

Die zu sanierenden WC-Anlagen erhalten eine geschlossene glatte Decke aus GK-Platten mit Anstrich.

### **8.1.1.9 Innentüren**

#### *8.1.1.9.1 Türen*

Erneuerung der Klassenraumtüren durch kunststoffbeschichtete Holztüren in Stahlzargen, Schalldämmmaß der Türen 32 dB im eingebauten Zustand (Rw). Die Türen werden den vorhandenen Türöffnungen angepasst. Das heißt, im Bereich der Flurzone werden die ca. 3,05 m hohen Türöffnungen mit einer raumhohen Zarge mit Oberlicht ausgeführt. Die Füllung des Oberlichts entspricht im Material der Türfüllung, Türhöhe: 2,25 m. Die Türen unterhalb der Tragbalken für die Pi-Platten sind 2,25 m hoch und erhalten kein Oberlicht.

#### *8.1.1.9.2 Mobile Trennwände*

Folgende Räume erhalten eine mobile Trennwand: Multifunktionsraum, Konferenzraum EG

Ausführung: mobile Trennwand bestehend aus Einzelelementen, die zu einer festen Wand zusammengeschoben werden, Elemente 100 mm stark, mit umlaufender verschweißter Stahl-Rahmenkonstruktion, Beplankung mit 16 mm Qualitätsspanplatten, Oberfläche/Decklage: 0,8 mm HPL-Kunststoffauflage, Schalldämmung: nach EN 20 140-3 RwB 52 dB.

#### **8.1.1.10 Oberboden**

Einbau eines neuen Oberbodens in den Klassenräumen. Material: PVC, Farbe grau, einschließlich Sockelleiste aus schwarzem Kunststoff. Im Multifunktionsraum wird ein Parkettboden eingebaut. System: Stäbchenparkett geölt, Eiche, hell. In der Sporthalle wird der Oberboden erneuert. Material: LINO.

#### **8.1.1.11 Fliesen**

Einbau von Bodenfliesen in allen Sanitärbereichen, Größe 20 x 20 cm, Farbe grau Rutschfestigkeit R10, Einbau von Spaltplatten im Werkstattbereich, Größe 11,5 x 24 cm, Farbe rotbraun, Rutschfestigkeit R10. Die Wände in den Sanitärbereichen erhalten Wandfliesen aus Steingut, Größe 20 x 40 cm horizontal verlegt bis UK Decke, Farbe weiß.

Einbau von Fensterbänken aus Betonwerkstein im Bereich der neuen Fenster, Farbe grau.

#### **8.1.1.12 Schlosserarbeiten**

Einbau eines Handlaufs an die Geländerplatten der Treppenträume (siehe Tischlerarbeiten). Material: V2A, d = 42 mm. Erneuerung des Tribünengeländers und der Geländerhandläufe in der Sporthalle. Ausführung aus Stahlprofilen mit senkrechten Geländerstäben und V2A-Handlauf. Die Stahlkonstruktion wird gestrichen.

#### **8.1.1.13 Tischlerarbeiten**

Rückbau der vorhandenen Geländerplatten aus kunststoffbeschichteten Holzwerkstoffplatten. Lieferung und Einbau von Geländerplatten aus Multiplexplatten, d = 40 mm mit Kunststoffbeschichtung, nur auf den Flachseiten, Farbe rot. Die neuen Geländerplatten sind in der Oberkante 10 cm höher als die Bestandsplatten auszuführen.

#### **8.1.1.14 Malerarbeiten**

Anstrich von neuen Wandflächen (KS-Sichtmauerwerk oder Wandputz) mit Dispersionsfarbe. Vorhandene Wandflächen erhalten einen Erneuerungsanstrich.

Spachteln und Streichen von Deckenflächen der Verwaltungsräume mit Deckenstrahlplatten. Anstrich von neuen GK-Decken. Lackieren von Stahlzargen der Innentüren.

### **8.1.1.15 Verschiedenes**

Erneuerung der Trennvorhänge in der Sporthalle. Erneuerung des Prallschutzes in der Sporthalle.

## **8.1.2 Technische Gebäudeausrüstung**

### **8.1.2.1 Starkstromanlagen**

Die Versorgung mit elektrischer Energie der Schule erfolgt aus einer Mittelspannungsschaltanlage auf dem Gelände der Schule. Im Rahmen der Sanierung wird an der Anlage eine große Wartung durchgeführt. Der erforderliche elektrische Leistungsbedarf für das Schulgebäude und die Sporthalle kann auch nach dem Umbau durch den bestehenden Trafo bereitgestellt werden.

In einem separaten Raum an der Mittelspannungsanlage befindet sich auch die NSHV (Niederspannungshauptverteilung). Von dort wird die Schule über Leerrohre unter der Sohle erschlossen. Von diesen GHV (Gebäudehauptverteilung) werden dann weitere Unterverteilungen an Lastschwerpunkten erschlossen.

Die sicherheitstechnischen Einrichtungen, wie Brandmelder- bzw. Einbruchmeldeanlage erhalten separate Ersatzstromversorgungen gemäß DIN. Alle Gebäudeteile erhalten eine neue Sicherheitsbeleuchtungsanlage für die Flucht- und Rettungswege, welche über mehrere Unterstationen versorgt werden. Technologisch soll ein 24-V-System mit LED-Technik eingesetzt werden. In den Werkstätten mit nachlaufenden Maschinen werden zusätzlich Sicherheitsleuchten installiert.

Die Innenbeleuchtung muss aufgrund des Alters erneuert werden und der EnEV 2009 ( $5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$ ) angepasst werden.

Die Innenbeleuchtung in den Werkstätten und Klassen kann teilweise erhalten bleiben.

Kabel und Leitungen werden in Kabelführungssysteme wie Kabelrinnen, -leitern und Leitungshalter in Rohr bzw. Unterputz verlegt. In den Klassenräumen und Fluren werden generell Installationsgeräte in Unterputzversion installiert.

Die äußere Blitzschutzanlage mit Auffangleitungen und Gebäudeableiter wird gemäß VDE 0185 erneuert. Die Überspannungen werden über den Fundamenterde an das Erdreich weitergeleitet.

### **8.1.2.2 Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen**

#### *8.1.2.2.1 Telefonanlage*

Die vorhandene Telefonanlage entspricht nicht den heutigen Anforderungen und wird ersetzt. Die Schule erhält eine neue Ela- und Alarmierungsanlage.

#### *8.1.2.2.2 BM - Anlage*

Gemäß Brandschutzgutachten wird eine Brandmeldeanlage installiert. Der Umfang wird aktuell abgestimmt.



### 8.1.2.2.3 Passives Datennetz

Zur Erschließung der Schule wird ein strukturiertes Datennetz für EDV u. Tel. geplant. Es wird ein neuer Serverraum aufgebaut. Von dort werden mehrere LAN Unterverteiler versorgt. Eine Anbindung erfolgt über Lichtwellenleiter.

## 8.1.2.3 Heizung/Kühlung

### 8.1.2.3.1 Schule

Die Schule wird z. Zt. und auch zukünftig über das vorhandene Nahwärmenetz vom Kreis- haus mit Wärme versorgt. Die vorhandene Heizungsverteilung ist in einem neuwertigem Zustand und wird den neuen Heizsystemen angepasst.

Die Klassenräume sollen mit einem Klimawandsystem ausgerüstet werden. Die „Klimawand“ besteht aus Kunststoff-Rohrregistern, das mit niedrigen Heizmediumtemperaturen betrieben werden kann. Kombiniert wird das Heizsystem mit der Lüftungsanlage. Dadurch wird die Wärmübertragung verbessert und die Zuluft ggf. „nachgewärmt“. Abbildung 8-1 zeigt in einer Detailzeichnung den Aufbau der Klimawand. Abbildung 8-2 und Abbildung 8-3 zeigen die Klimawand im Rohbau.

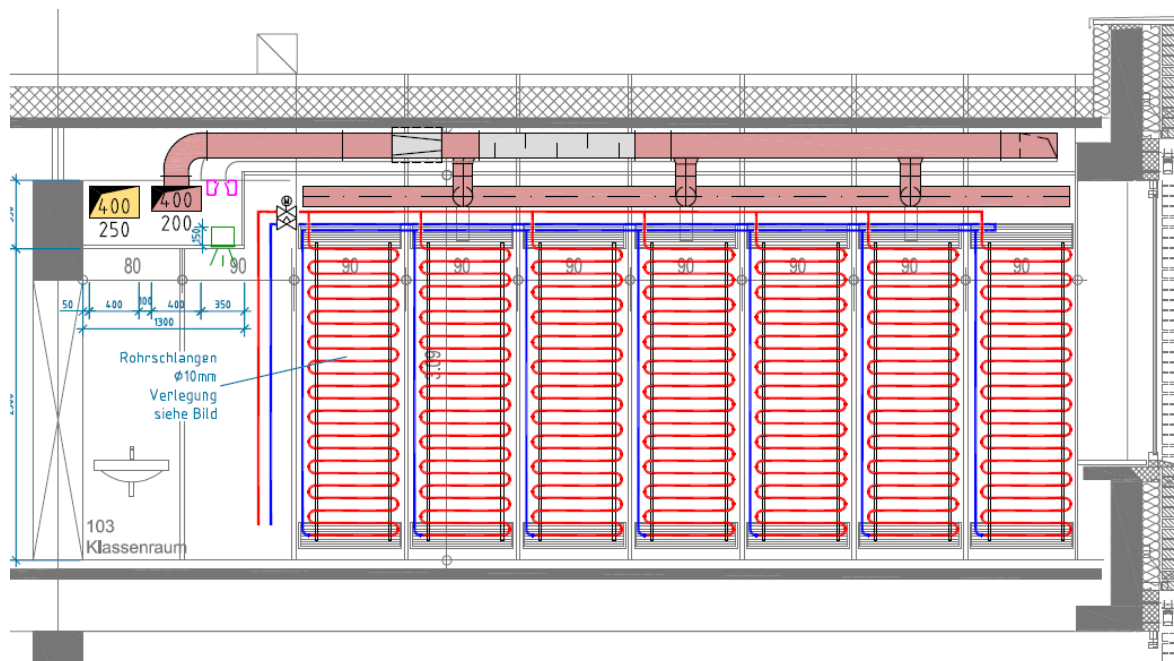


Abbildung 8-1: Detailzeichnung der Klimawand



Abbildung 8-2: Schacht der Klimawand im Rohbau



Abbildung 8-3: Ansicht der Klimawand im Rohbau

Klassenräume mit besonderer Wärmebelastung können über das gleiche Klimawandsystem (im Kühlfall, z. B. im Sommer) gekühlt werden.

Für die Kühlung soll die Energie aus Brunnenwasser gewonnen werden. Damit ist eine überwiegende Kühlung ohne zusätzliche Energiekosten möglich.

EDV Bereiche mit besonders hohen Anforderungen erhalten noch zusätzliche Kühlsysteme um den Unterricht auch bei hohen Wärmelasten, unter anderem durch technische Geräte (Computer) und solare Einstrahlung, zu ermöglichen. Für die Spitzenkühllasten, die über das Brunnenwasser nicht gedeckt werden können, wird ein Kaltwassererzeuger vorgesehen.

Der Verwaltungsbereich und der Multifunktionsraum werden mit akustisch wirksamen Deckenstrahlplatten ausgestattet, die die Funktion Heizen und Kühlen erfüllen.

Der Werkstattbereich mit den angeschlossenen Bankräumen wird mit „Industrie-Deckenstrahlplatten“ ausgestattet. Damit ist eine schnelle Beheizung der Räume möglich. Vorteil der Deckenstrahlplatten: Wandflächen bleiben für den Werkstatt- bzw. Unterrichtsbetrieb frei.

Für den Kühlfall ist die energetische Nutzung von Brunnenwasser vorgesehen. Zurzeit werden die gesetzlichen Bedingungen und die geologischen Möglichkeiten zur konkreten Umsetzung geprüft.

#### 8.1.2.3.2 Sporthalle

Die Sporthalle ist über die Schule an das Nahwärmesystem angeschlossen.

Die Sporthalle wird mit Deckenstrahlplatten beheizt. Die Deckenstrahlplatten in ballwurfsicherer Ausführung werden zwischen den Bindern, parallel zu den Lichtkuppeln angeordnet.

In den Umkleidebereichen ist die Beheizung ebenfalls über Deckenstrahlplatten vorgesehen. Durch die Anordnung der Heizflächen über den Umkleidezonen können die - offen an die Umkleidebereiche angeordneten - Flurzonen mit Mindertemperaturen beheizt werden.

(Damit wird die Wärme direkt in die Nutzzone transportiert. Zurzeit werden die Umkleiden über die beheizten Flure beheizt.)

Sonstige Nebenräume und Flure erhalten Heizkörper.

#### **8.1.2.4 Lüftung**

##### *8.1.2.4.1 Schule*

Für die Belüftung der Schule sind 4 Dachzentralen vorgesehen. Die RLT-Geräte sind mit Wärmerückgewinnungs-Systemen mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von ca. 75 % ausgestattet. Damit verringert sich fast vollständig der Wärmeverlust, der durch gängige Fensterlüftung (ohne RLT Anlage) bewirkt wird. Jeder Klassenraum wird über Luftqualitätsfühler (CO<sub>2</sub>) und Volumenstromregler geregelt. Es wird nur die nach Luftqualitätsanforderung erforderliche Luftmenge den Räumen zur Verfügung gestellt. Die Zuluft wird dem Klassenraum durch die Klimawände im unteren Bereich über Gitter zugeführt. Die verbrauchte und belastete Abluft wird über Gitteranordnungen im Deckenbereich wieder abgeführt.

Vorhandene RLT Anlagen die aufgrund des Zustandes einen langfristigen Betrieb noch erwarten lassen, werden wieder genutzt (RLT Anlage EG – WC Bereich und Selbstlernzentrum).

Nebenräume erhalten Abluftanlagen, die über Präsenzmelder bzw. über ein einstellbares Zeitprogramm gesteuert werden.

##### *8.1.2.4.2 Sporthalle*

Die Sporthalle unterliegt der Versammlungsstättenrichtlinie und muss zwingend mechanisch be- und entlüftet werden. Die geplanten RLT-Anlagen werden analog der Hallenteilung in 3 separaten Einheiten im abgehängten Deckenbereich installiert. Die Auslegung ist für eine durchschnittliche Personenzahl von 300 Personen vorgesehen.

Die Außenluft- und Fortluftführung erfolgt über das Dach (analog den Bestandsanlagen).

Die Umkleidebereiche werden mit 3 einzelnen Zu- und Abluftanlagen mit WRG ausgestattet um die innen liegenden Duschbereiche zu lüften. Die Außen- und Fortluftführung erfolgt über die nahe liegende Fassade bzw. über das eingeschossige Flachdach des Erweiterungsbaus. Der Betrieb wird über Präsenzmelder und Feuchtefühler (im Duschbereich) geregelt.

#### **8.1.2.5 Sanitär**

##### *8.1.2.5.1 Schule*

Die Grundleitungen der Schule wurden geprüft und einer Druckprobe unterzogen. Die Grundleitungen sind in einem guten Zustand und müssen nicht erneuert werden.

Die Schmutzwasserentwässerung im Gebäude wird erneuert und den neuen Anforderung angepasst. Die Regenentwässerung wird der neuen Dachdämmung und dem neu geplanten Gefällesystem des Flachdaches angepasst.

Das Gebäude wird bereits im Trennsystem entwässert. Dieses wird auch bei der Sanierung beibehalten.

Die sanitäre Einrichtung aller WC-Anlagen wird erneuert. Die Trinkwasserleitungen werden komplett erneuert. Das vorhandene Leitungssystem kann langfristig nicht weiter betrieben werden.

Für die Spülung der WC-Anlagen ist die Nutzung von Brunnenwasser vorgesehen. Dadurch wird zukünftig der Wasserbedarf in der Schule deutlich reduziert.

#### *8.1.2.5.2 Sporthalle*

Die komplette sanitäre Einrichtung, einschließlich der Trinkwasserleitungen und der Entwässerungsleitungen, wird erneuert.

Die Duschen werden -entsprechend dem architektonischen Konzept- neu angeordnet. Vorgesehen sind Duschpaneele mit Selbstschlussarmaturen und Thermostat. Die neuen Armaturen benötigen bei normaler Nutzung nur ca. 50 % des bisherigen Warmwasserdurchflusses.

Das Warmwassersystem wird bei ständiger Zirkulation mit 60 °C Wassertemperatur betrieben. Dadurch ist ein sicherer Betrieb bei Einhaltung der gesetzlichen Regelungen zur Wasserhygiene (Bakterien, Legionellen) gegeben.

Aus energetischen und wasserhygienischen Gründen wird das Brauchwasser allein im Durchflussprinzip erwärmt. Mittels Heizwasser-Pufferspeicher wird die benötigte Wärmemenge für Kurzeitleistungen bereitgestellt. Spitzenleistungen werden direkt über die vorhandene Nahwärmeversorgung aus der Schule gedeckt.

#### *8.1.2.5.3 Nutzung Solarthermie Sporthalle*

Geplant ist die Nutzung der Wärmeenergie über eine thermische Solaranlage. Ausgelegt auf den durchschnittlichen Warmwasserbedarf, kann bei entsprechender Sonneneinstrahlung der Warmwasserbedarf über die Sonnenenergie gedeckt werden. Die Anlage ist so konzipiert, dass der Wärmeertrag ebenfalls der Gebäudeheizung zugeführt werden kann.

### **8.1.2.6 Gebäudeautomation**

Die zentrale MSR-Technik im Bereich der Heizungs-Hauptverteilung wird weiter genutzt.

Die RLT-Anlagen werden regelungstechnisch in das Gesamtkonzept betreffend des vorhandenen GLT-Systems eingebunden.

Aufgrund der differenzierten Anforderungen werden die Klassenräume und sonstigen nutzungsspezifischen Raumgruppen mit einer Einzelraumregelung ausgestattet. Über die zentral parametrierbare Einzelraumregelung wird die Raumtemperatur und Lüftung entsprechend den Raumbelagungen geregelt.

Die MSR-Anlagen im Bereich der Sporthalle sind komplett abgängig. Die neu zu errichtenden Schalt- und Regelanlagen sind entsprechend den Anforderungen der neuen technischen Anlagen für die Heizungs-, Lüftungs- und Brauchwassertechnik geplant.

### **8.1.2.7 Aufzug**

Für die Schule wird ein Aufzug errichtet. Dieser wird nach DIN 18024/25 behindertengerecht ausgestattet. Der Aufzugmaschinenraum befindet sich im EG.

## **8.2 Katalog von vorliegenden Erfahrungen aus Sanierungsmaßnahmen an anderen Schulen im Kreis Steinfurt**

Nachfolgende Erfahrungen wurden aus der Sanierung der Wirtschaftsschulen zusammengestellt.

### **8.2.1 Lebenszykluskosten**

Die integrative und interdisziplinäre Planung von Architektur und klassischem Ingenieurbau unter Aspekten der Lebenszyklusbetrachtung führt zu einer hohen Wirtschaftlichkeit während der gesamten Lebensdauer einer Immobilie.

In der Planungs- und Erstellungsphase ist die nachhaltige Optimierung von Gebäuden von zentraler Bedeutung. Die Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten ist zu Beginn der Planung am größten.

Entscheidungen über grundlegende Faktoren wie Kosten und Qualität, die sich auf den Lebenszyklus des Gebäudes auswirken, wurden zu Beginn der Planungen getroffen.

### **8.2.2 Beteiligung der Schulgemeinschaft**

Von Anfang der Planung bis zur Fertigstellung der Bauarbeiten waren die Schulleitung und der Lehrerrat intensiv an der Planung beteiligt. In einem von der Schule ausgearbeiteten pädagogischen Konzept wurden die Grundzüge für die weitere Planung gelegt.

Offene Lernformen, kooperatives Arbeiten und Lernen, eigenverantwortliches Arbeiten in Selbstlernphasen, Projektarbeit als regelmäßige Unterrichtsvorhaben, berufspraktische Lernräume, Teamarbeit der Lehrenden, IT-Unterstützung für den Regelunterricht, intensive Beratungsarbeit, Ganztagsbetrieb: Diese Stichworte verdeutlichen die Forderung nach gutem ausreichendem Schulraum.

Eine längere tägliche Verweildauer in der Schule hat räumliche Konsequenzen. Ein großes Berufskolleg braucht multifunktionalen Schulraum für Sondersituationen.

### **8.2.3 Umsetzung pädagogischer Konzepte**

Optimale Lehr- und Lernbedingungen an den Schulen sollen mit dem „**dritten Pädagogen**“, der Architektur garantiert werden.

Für die Schülerinnen und Schüler sowie für die Lehrerinnen und Lehrer sollte ein Lernumfeld geschaffen werden, das den Aufenthalt in der Schule positiv stärkt.

Die konstruktive und zielorientierte Zusammenarbeit in der Planungsgruppe „Sanierung“ (Hochbau Kreis, Architekturbüro, Schulamt und Berufskolleg) hat zur Schaffung von acht zusätzlichen Klassenräumen geführt. Zwei weitere multifunktional nutzbare Räume können temporär als Unterrichtsräume genutzt werden. Einige Gruppenräume und ein Lehrerarbeitsraum ergänzen diese Erweiterung. Damit konnte dringender Bedarf befriedigt werden.

Das neue „Pädagogische Zentrum“ lässt zentrale Veranstaltungen im Schulgebäude zu. Der Multifunktionsraum ist teilbar. Dadurch stehen bei Bedarf zwei weitere Räume (z. B. für Klausuren, Kammerprüfungen, sowie die „Öffnung der Schule“ für Zwecke der regionalen Bildungs- und Kulturarbeit etc.) zur Verfügung. Die Erfahrungen mit diesem Konzept waren äußerst positiv.

Der Zuschnitt von 8 neuen Unterrichtsräumen in der Aufstockung des Dachgeschosses lässt methodische Variationen zu. Kooperative Lernformen sind in flexiblen Raumkonzepten möglich geworden. Multifunktionale Raumkonzeptionen, die auch Neben- und Zwischenräume einbeziehen, wurden geschaffen.

Für den IT-Bereich wurden organisatorisch zusammenhängende Einheiten geschaffen und hierdurch Synergieeffekte genutzt.

Mit der Vergrößerung des Eingangsbereichs und die Integration des Bistrobetriebes in das „Pädagogische Zentrum“ ist die Erreichbarkeit zum Multifunktionsraum gelöst. Die beengten Pausenflächen konnten durch die Öffnung dieses Bereiches beseitigt werden. Das neu geschaffene CJD-Bistro erfreut sich sehr großer Beliebtheit.

Der neue Aufenthaltsbereich ist vor dem Unterricht und in den Pausen bei feuchter und kalter Witterung in Bezug auf die Größe und die Ausstattung angemessen.

Durch die Neuanlegung eines Schulhofes wurde ein angemessenes Schulumfeld als Entspannungs- und Kommunikationsraum geschaffen. Außenveranstaltungen in den Sommermonaten werden hierdurch möglich.

Die Barrierefreiheit für Schülerinnen und Schüler konnte durch die Aufstockung des Verbindungstraktes erreicht werden.

Unter der Zielsetzung einer „gesunden Schule“ mussten die Anzahl, Ausstattung und die Standorte der Toilettenanlagen gelöst werden.

#### **8.2.4 Forschung**

Erarbeitung eines Leitfadens zur integralen Sanierung von Schulen auf Basis der Sanierung der Technischen Schulen und der Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt. Die Zusammenarbeit erfolgt zwischen der Fachhochschule Münster mit dem Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt, dem Kreis Steinfurt mit der Hochbauabteilung und durch Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

##### **Zielsetzung und Anlass der Forschung:**

Bei der Sanierung der Wirtschaftsschulen Steinfurt wurde die ganzzeitliche Betrachtung der Sanierungsmaßnahmen angestrebt. Die Aspekte folgender Teilgebiete sind darin eingeflossen: Wärme- und Kälteversorgung, Innenraumlufthygiene, Raumakustik, Energieeinsparung, Betriebskosten, Beleuchtung, Geothermie ...

Mit Unterstützung einer dynamischen Simulationsbetrachtung der Wirtschaftsschule und einzelner Räume sowie parallel erfolgter messtechnischer Untersuchungen wurden besonders kritische Raumbedingungen ermittelt. Die Wirksamkeit verschiedener Energieeinsparmaßnahmen konnte durch die Simulation dargestellt werden. Die dynamische Gebäudesimulation wurde auch für die Sanierung der Technischen Schulen hinzugezogen um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, z. B. im Bereich der Energieeinsparmaßnahmen, Betriebskosten und der Auswahl der passenden Materialien für die Gebäudehülle.

Die Ergebnisse der dynamischen Simulation der Räume der Wirtschaftsschule wurden zum Anlass genommen um „Laborklassenräume“ einzurichten und Lösungen im Bereich der Raumkühlung und Raumlüftung zu erproben. Außerdem hatten die dynamische Simulation und die Erprobung der Klassenraumlösungen zur Folge, dass bei der Sanierung der Technischen Schulen besonderes Augenmerk auf die Temperierung (Heizung/Kühlung) und die Frischluftzufuhr gelegt werden. Dazu wurde sich mit neuen Ideen und Betrachtungen –die von der Standardsanierung abweichen- auseinandergesetzt.

Die gesetzten Ziele des Projektes wurden erreicht. Insbesondere die durchgeführten Messungen der Raumluftqualität, der Raumakustik in den Klassen, der Beleuchtungssituation und der Raumtemperaturen bestätigten die Ergebnisse.

### **8.2.5 Gebäudehülle**

Der aus dem Jahr 1938 stammende Baukörper in der Bahnhofsstraße prägt das Stadtbild. Das vorhandene Satteldach musste entfernt werden. Die notwendige Aufstockung wurde zurückhaltend mit einer dunklen Fassade aus Faserzementplatten gestaltet.

Die Fassade des alten Baukörpers besteht aus einem weichen roten Klinkermauerwerk. Somit mussten die Sanierung der Gebäudehülle auf die Reinigung der Fassade und die Erneuerung der Fenster beschränkt werden.

Mit einem speziellen Reinigungsverfahren wurde die dunkle speckige Oberfläche entfernt, ohne die Steinoberfläche zu „verletzen“. Beschädigte Steine wurden mit Steinersatzmörtel reprofiliert. Eine neue Verfugung des gesamten Baukörpers rundet das Erscheinungsbild ab.

### **8.2.6 Energieeinsparung**

In Verbindung mit der bestehenden Heizungsanlage muss auf der Basis der heute verfügbaren Heizungssysteme eine Sanierung oder Neuplanung speziell unter der Zielsetzung minimaler Energieverluste erfolgen. Das fordert minimale Vorlauftemperaturen und entsprechend großflächige Heizflächen. Dies wurde durch den Einbau einer Deckenstrahlungsheizung erreicht. Dadurch können in der Zukunft alle modernen und zukünftige Energiewandler und Energieträger in eine mögliche Planung einfließen (BHKW, Wärmepumpe, Geothermie, solare Wärme usw.). Das Prinzip der Deckenstrahlplatte wurde im Rahmen einer Erprobung in ausgewählten Räumen der Kaufmännischen Schulen Ibbenbüren erfolgreich getestet. Dies gab Anlass in dieser Schule das energiesparende und vandalensichere System weiter auszubauen und dies auch in dem Multifunktionsraum der Wirtschaftsschulen umzusetzen.

### **8.2.7 Raumtemperatur**

Da Schulen in der Sommerzeit und hier besonders die EDV-Fachräume aufgrund der hohen internen Lasten unter deutlicher Überhitzung leiden, bietet es sich hier an, die Deckenstrahlplatten so zu installieren, dass sie zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden können. Dies ermöglicht es die Schulräume mit minimalem Aufwand zu kühlen. Dabei wird mit Hilfe von kaltem Brunnenwasser, kaltes Wasser durch die Deckenstrahlungsplatten geführt wodurch die Schulräume ohne den Einsatz von Kältemaschinen abgekühlt werden.

### **8.2.8 Raumlufthqualität**

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Raumlufthqualität gelegt. Bis jetzt ist der Normalfall, dass Schulen über keine maschinelle Frischluftzufuhr verfügen. Als Folge dessen verschlechtert sich die Raumlufthqualität aufgrund der hohen Anzahl von Personen in einem Unterrichtsraum in nur kurzer Zeit. Messungen haben gezeigt, dass bereits nach kurzer Zeit der Grenzwert für Luftqualität überschritten wird. Der hohe CO<sub>2</sub>-Anteil in der Luft verursacht Müdigkeit und die Konzentrationsfähigkeit nimmt ab. Jetzt müsste zum ersten Mal über ganz geöffnete Fenster für mindestens 5 Minuten stoßgelüftet werden um die verbrauchte Luft gegen Frischluft auszutauschen. Im Winter verursacht die eintretende Kaltluft Zugerscheinungen. Außerdem geht über die offenen Fenster viel Heizwärme verloren.

Aufgrund dieser Ergebnisse wird in den neuen Klassenräumen der Technischen Schule über eine mechanische Lüftung eine bestimmte Mindestluftwechselrate eingehalten. In den neuen Klassenräumen überwachen Raumlufthfühler die Raumlufthqualität. Zusätzlich wird die mechanische Lüftung in den Sommermonaten zu nächtlichen Stunden betrieben, um so zur Raumkühlung beizutragen.

### **8.2.9 Raumakustik**

Raumakustische Eigenschaften umfassen die gegenseitige Sprachverständlichkeit sowie den Beitrag des Raumes zur Verstärkung oder Dämpfung von Geräuschen, insbesondere von Sprache. Auch in der besten Schule lässt es sich nicht unterrichten, wenn die Sprachverständlichkeit der Lehrerinnen und Lehrer aufgrund akustischer Mängel im Gebäude leidet.

Deshalb wurden umfangreiche akustische Untersuchungen durchgeführt. Sensibilisiert für dieses Thema wurden nach der Sanierung in dem neuen Gebäudeteil der Wirtschaftsschulen Klagen über die Akustik ernst genommen, überprüft und akustisch wirksame Maßnahmen umgesetzt. Kontrollmessungen ergaben niedrige Nachhallzeiten, sodass eine gute Sprachverständlichkeit gegeben ist.

Die Akustik hat beim Kreis Steinfurt einen festen Platz eingenommen und entsprechende Maßnahmen sind bei weiteren Schulsanierungen geplant.



## 8.3 Entwicklung des Verbrauchs und der CO<sub>2</sub> Menge durch Sanierungen an der Wirtschaftsschule und den Technischen Schulen Steinfurt

### 8.3.1 Wirtschaftsschulen

In Abbildung 8-4 der Wirtschaftsschule Steinfurt, wird der CO<sub>2</sub> Ausstoß über den Verbrauch und der Bruttogeschossfläche der Schule dargestellt. Es soll verdeutlicht werden, in welchem Maße der Wärmeenergieverbrauch der Schule an den CO<sub>2</sub> Ausstoß gekoppelt ist.

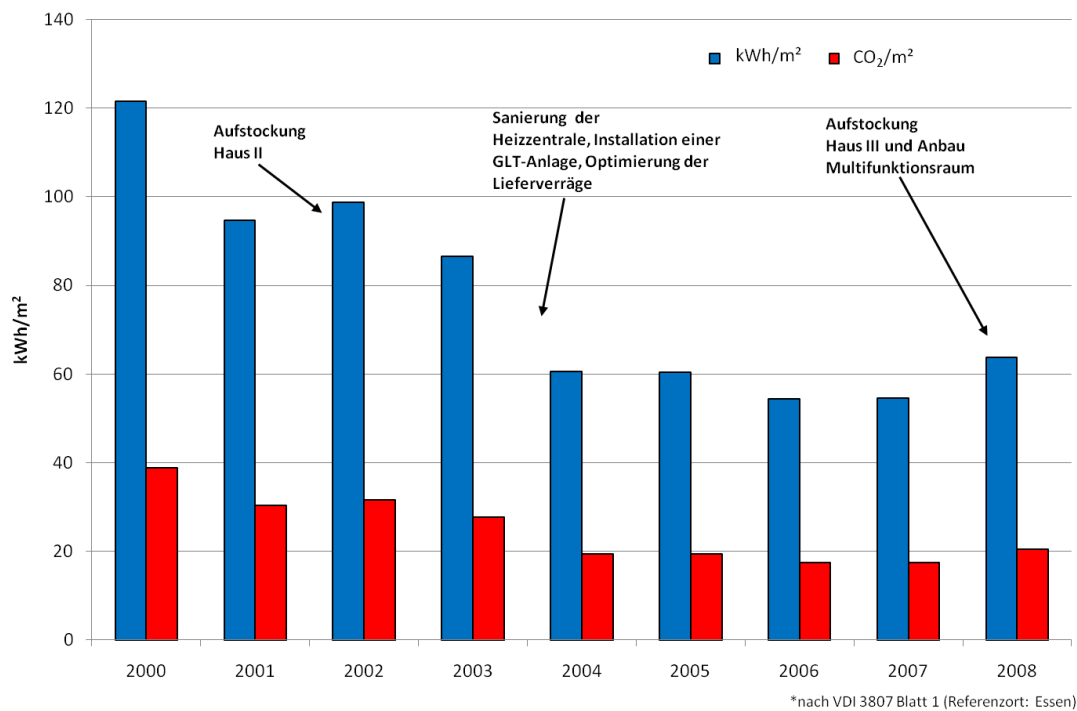


Abbildung 8-4: Witterungsbereinigter Verbrauch\* pro m<sup>2</sup> der Wirtschaftsschulen Steinfurt mit der freigesetzten CO<sub>2</sub> Menge

Der Verbrauch sank von 2000 bis Mitte 2001 und stieg anschließend wieder leicht an, was an der Aufstockung des Hauses II, der damit verbundenen Erhöhung der beheizbaren Fläche und den damit verbundenen Bauarbeiten liegt. Im Rahmen der Aufstockung folgten energetische Sanierungen an dem Gebäude, so sank der Verbrauch in den folgenden Jahren stetig.

Hauptgründe für den stetig fallenden Energiebedarf von 2001 bis 2007 der Wirtschaftsschule Steinfurt sind:

- Energetische Sanierung der Außenbauteile
- Installation einer Gebäudeleittechnik
- Sanierung einer Heizungsanlage
- Optimierung der Energielieferverträge

In den Jahren 2006 und 2007 war der niedrigste Verbrauchsstand erreicht (ca. 50 kWh/(m<sup>2</sup>·a)), was durch Witterungseinflüsse begründbar ist.

Ab dem Jahr 2008 stieg der Verbrauch an, da aufgrund steigender Schülerzahlen und der damit verbundenen Raumknappheit die Schule ein weiteres Mal aufgestockt wurde, diesmal Haus III. Zudem wurde noch ein Multifunktionsraum angebaut. Die Aufstockung und der Bau

des Multifunktionsraumes bewirkten einen Anstieg der Bruttogeschossfläche um 466 m<sup>2</sup>, die jetzt mit in die Bilanz einfließen, zudem war in der Bauphase der Verbrauch um ein vielfaches höher als im normalen Schulbetrieb.

### Berechnung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes

Für die Berechnung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes wurden für die verschiedenen Brennstoffe die Faktoren aus Tabelle 8-1 verwendet.

Tabelle 8-1: CO<sub>2</sub> Faktoren für verschiedene Brennstoffe<sup>38</sup>

Brennstoff	CO <sub>2</sub> Faktor	Einheit
Strom	0,622	kg/kWh
Heizöl	0,499	kg/l
Erdgas	0,335	kg/m <sup>3</sup>
Flüssiggas	0,264	kg/l
Diesel	0,492	kg/l
Benzin	0,585	kg/l
Holzpellets	0,066	kg/kg

Anhand dieser Werte und den gegebenen Verbräuchen wird der CO<sub>2</sub> Wert ermittelt. Der CO<sub>2</sub> Ausstoß ist an den Wärmeenergieverbrauch gekoppelt, so ist der Trend der gleiche wie beim Wärmeenergieverbrauch. Dadurch ist der CO<sub>2</sub> Ausstoß im Jahre 2000 bis 2001 von 38,9 auf 30,3 kg/(m<sup>2</sup>·a) gesunken, was eine Verringerung von 22 % entspricht. Im Jahre 2002 steigt er wieder leicht an, um dann im Jahr 2004 auf unter 20 kg/(m<sup>2</sup>·a) zu fallen. Auf diesem Niveau ist er bis 2008, bis auf kleine Schwankungen, geblieben. Der gesamt CO<sub>2</sub> Ausstoß hat sich von 2000 bis 2008 um 48 % verringert und das obwohl der Ausstoß in den letzten beiden Jahren wieder leicht angestiegen ist. Seit dem Jahr 2000, gerechnet bis zum Jahr 2008, wurden durch Sanierungen der Wirtschaftsschule insgesamt 1.450 t CO<sub>2</sub> eingespart. Dies entspricht der Fahrleistung eines Autos von ca. 696.000 km.

### 8.3.2 Technische Schulen

Die Zusammenhänge zwischen dem Wärmeenergieverbrauch und dem CO<sub>2</sub> Ausstoß lassen sich auch an den Technischen Schulen feststellen. Hier stellen sich die Verbräuche nur ein wenig anders dar (siehe Abbildung 8-5).

<sup>38</sup> Quelle: [http://www.izu.bayern.de/download/xls/Berechnung\\_CO2\\_Emissionen\\_Stand\\_070530.xls](http://www.izu.bayern.de/download/xls/Berechnung_CO2_Emissionen_Stand_070530.xls)

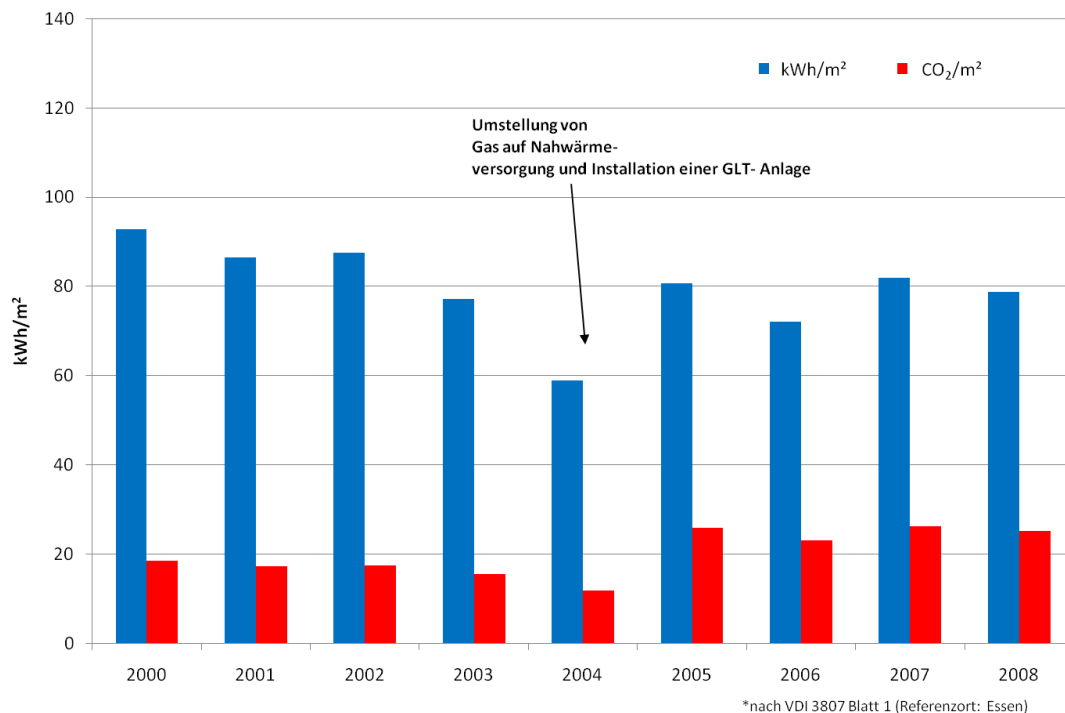


Abbildung 8-5: Witterungsbereinigter Verbrauch\* pro m<sup>2</sup> der Technischen Schulen Steinfurt mit der freigesetzten CO<sub>2</sub> Menge

Vom Jahre 2000 bis 2003 fiel der Verbrauch von mehr als 90 kWh/(m<sup>2</sup>·a) auf unter 80 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Im Jahre 2004 fiel der Verbrauch auf unter 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a) stark ab. Dies war der niedrigste Verbrauchswert der Technischen Schulen. Im Jahr 2008 lag der Verbrauch wieder unter 80 kWh/m<sup>2</sup> mit der Tendenz weiter zu fallen.

In 2004 wurde in der Schule eine Gebäudeleittechnik (GLT) installiert. Die GLT sorgt unter anderem dafür, dass der Verbrauch in 2004 auf ein niedriges Maß von 65 kWh/(m<sup>2</sup>·a) reduziert werden konnte. Zudem wurde im selben Jahr die Schule heiztechnisch umgerüstet. Der Brennstoff Gas wurde durch Fernwärme ersetzt, wodurch sich der CO<sub>2</sub> Ausstoß erhöht. Dies liegt daran, dass sich die Fernwärme hier aus Biogas, aber auch aus den Brennstoffen Kohle und Heizöl zusammensetzt. Wenn man den CO<sub>2</sub> Ausstoß vom Jahr 2000 mit dem Jahr 2008 vergleicht, ist dieser um ca. 35% gestiegen.

### Betrachtung der anstehenden Sanierung

Die Technischen Schulen Steinfurt werden ab Januar 2010 grundlegend saniert, unter anderem mit dem Ziel Wärmeenergieverbrauch und CO<sub>2</sub> Emissionen drastisch einzusparen.

Die geplante Sanierung wurde im Vorfeld dynamisch am Rechner simuliert, dadurch ergibt sich eine Prognose für den Wärmeenergieverbrauch der Schule für 2011. So fällt der gesamte Energieverbrauch der Schule voraussichtlich unter 30 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (siehe auch Abschnitt 7.1.2, S. 158). Der Wärmeenergieverbrauch sinkt voraussichtlich auf unter 10 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Dies bedeutet einen CO<sub>2</sub> Ausstoß von weniger als 5 kg/(m<sup>2</sup>·a), mehr in Abbildung 8-6.

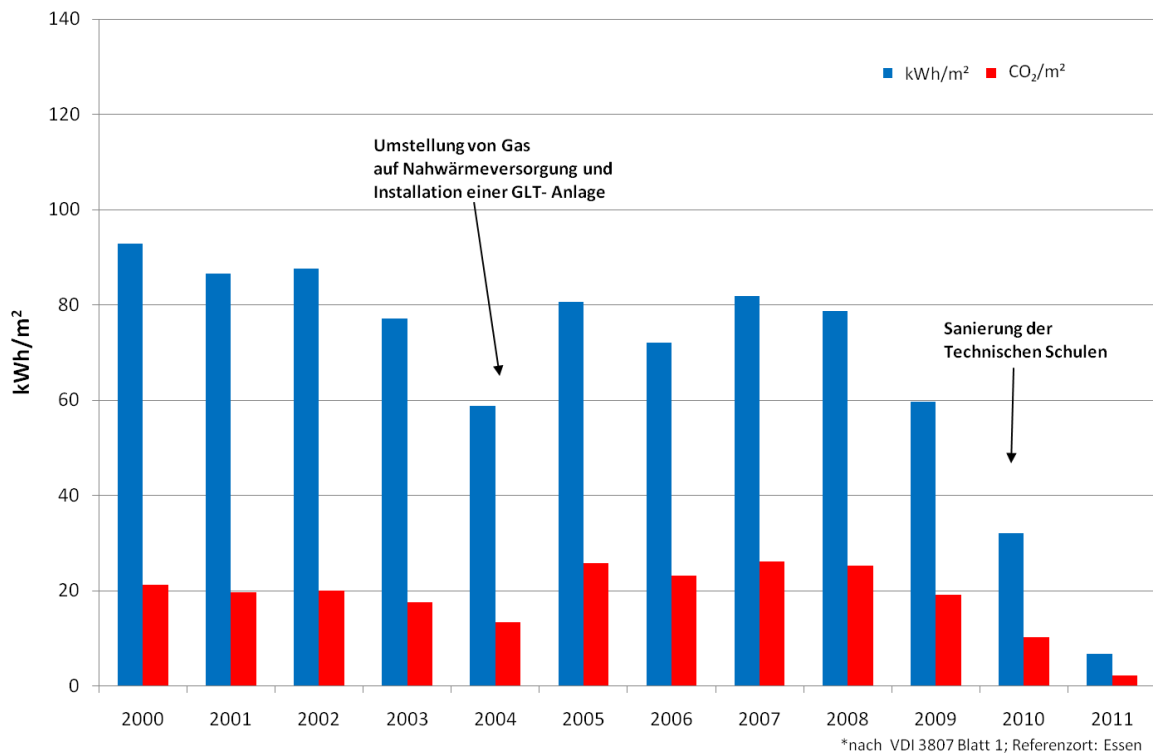


Abbildung 8-6: Witterungsbereinigter Verbrauch\* pro m<sup>2</sup> der Technischen Schulen mit der freigesetzten CO<sub>2</sub> Menge bis zum Abschluss der Sanierung im Jahr 2011

Beim Vergleich dieses CO<sub>2</sub> Ausstoßes mit dem von 2000 lassen sich durch die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen fast 90 % CO<sub>2</sub> einsparen. Über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren lassen sich durch die Sanierung der Schule ca. 1.700 Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen, im Vergleich zum jetzigen Bestand.



## **9 Erstellung eines Leitfadens**

Die Erstellung eines Leitfadens ist angedacht. Ein erster Entwurf befindet sich im folgenden Abschnitt. Allgemeines, was bei der Erstellung eines Leitfadens zu beachten ist, befindet sich in den folgenden Abschnitten.

### **9.1 Erster Entwurf des Leitfadens**

Der erste Entwurf des Leitfadens wurde zusammen mit einer Grafikerin erarbeitet und sieht maximal 40 bis 50 Seiten vor. Die Seitenanzahl wurde bewusst möglichst klein gewählt. In den folgenden Abbildungen 9-1 bis 9-4 sind ein paar Ausschnitte des ersten Entwurfs dargestellt.

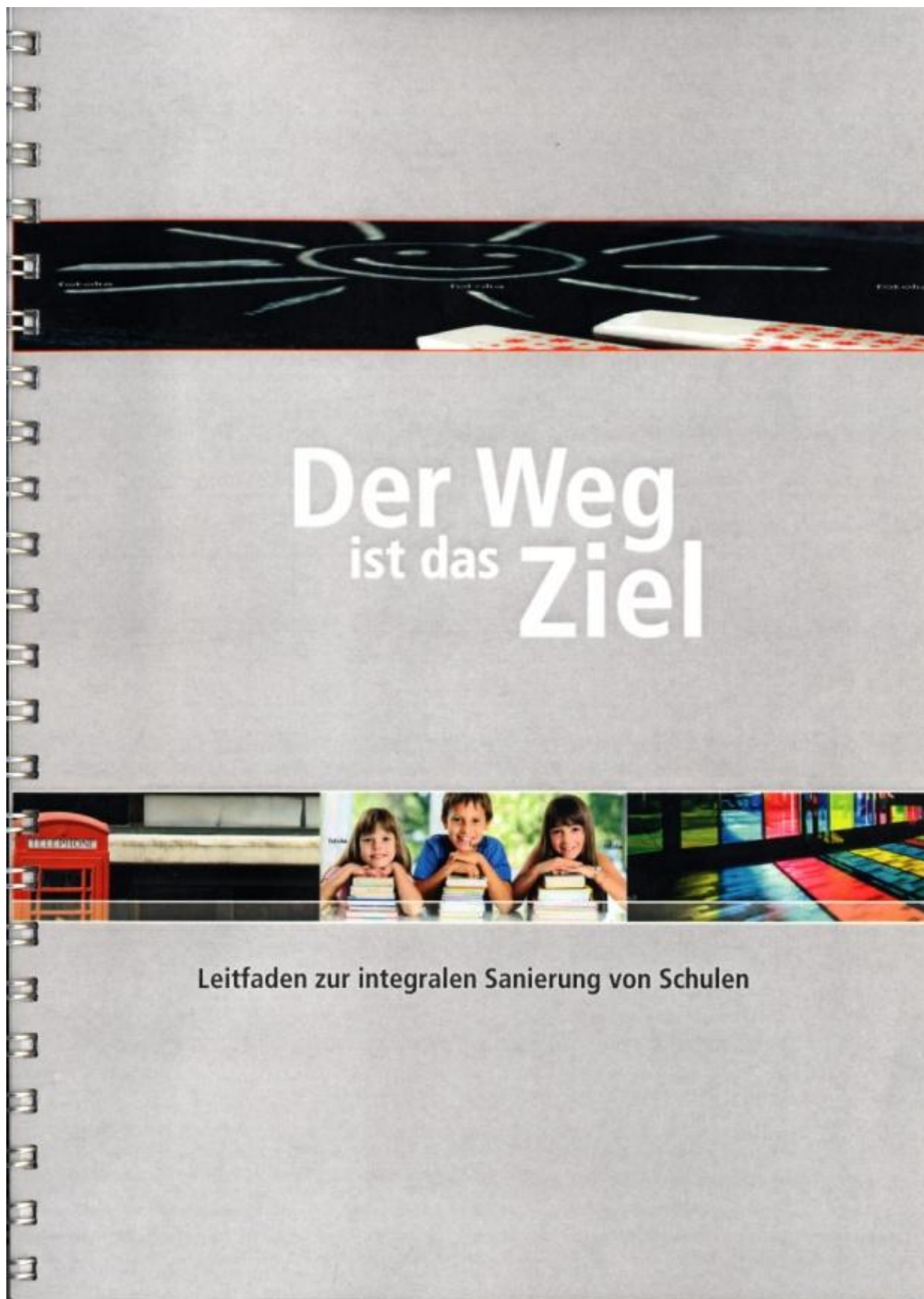


Abbildung 9-1: Ausschnitt aus dem Entwurf des Leitfadens – Erste Seite



## “Der Raum ist der dritte Erzieher.”

(Skandinavische Bildungsweisheit)

Der Sanierungsstau im Bereich öffentlicher Gebäude spiegelt sich besonders bei Schulgebäuden wider.

Sanierungen beschränken sich oft auf notwendige Maßnahmen, die keinen Aufschub dulden.

Die in den Fokus gerückte energetische Sanierung von Schulen nehmen die Schulträger oftmals nur durch die Erneuerung von Fenstern und Heizungsanlagen in Angriff. Darüber hinausgehende Aspekte, die beispielsweise die Raumluftqualität und die Akustik in Unterrichtsräumen betreffen, bleiben in der Regel unberücksichtigt.

Es ist zu erwarten, dass durch das Konjunkturpaket II erhebliche finanzielle Mittel in die Schulsanierung fließen und in gewohnter Manier umgesetzt werden. Die Verbesserung der Qualität von Schulgebäuden im Zuge einer integralen Sanierung ist Gegenstand des Projekts „Leitfaden zur integralen Sanierung von Schulen“, das im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gemeinsam vom Kreis Steinfurt und der Fachhochschule Münster bearbeitet wird.

Die integrale Sanierung von Schulen umfasst neben der energetischen Optimierung unter Berücksichtigung der zukünftigen Versorgungssituation auch die Aspekte, die zur Optimierung eines Schulgebäudes im Hinblick auf die Erfüllung seiner Aufgaben als „dritten Pädagogen“ beitragen.

Abbildung 9-2: Ausschnitt aus dem Entwurf des Leitfadens – Editorial





Abbildung 9-3: Ausschnitt aus dem Entwurf des Leitfadens – Übersicht



## Raumluftqualität/Lüftung

### Was beeinflusst die Raumluftqualität?

Die Raumluftqualität wird besonders von den Menschen im Raum und der Luftwechselzahl beeinflusst. Die entscheidende Größe, die geändert werden kann, ist die Luftwechselzahl.

Die Luftwechselzahl beschreibt den Austausch der Raumluft mit Außenluft in einer Stunde (Einheit:  $h^{-1}$ ).

Ein Beispiel: Bei einer Luftwechselzahl von  $1,5 h^{-1}$  wird das 1,5-fache des Raumvolumens in einer Stunde ausgetauscht. Bei einem Raumvolumen von  $500 m^3$  sind das  $750 m^3$  ausgetauschte Luft. Das bedeutet, die  $CO_2$ -haltige Raumluft wird durch  $CO_2$ -arme Außenluft ausgetauscht. Ein ausreichend großer Luftwechsel wirkt dem Anstieg der  $CO_2$ -Konzentration entgegen und sich somit positiv auf die Raumluftqualität aus.

Bei den meisten Gebäuden ist der Luftwechsel unregelt. Die Luft tauscht sich über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle oder über geöffnete Fenster aus. Unter diesen Umständen ist die Luftwechselzahl abhängig vom Zustand der Gebäudehülle/Bausubstanz, dem Wetter und dem Lüftungsverhalten der Nutzer. Der Luftaustausch wird durch die Winddruckdifferenz an der Gebäudehülle und dem thermischen Auftrieb im Gebäude angetrieben.

Abbildung 3 zeigt die Luftwechselzahl in Abhängigkeit von der Lüftungsart bzw. den eingebauten Fenstern. Es ist erkennbar, wenn die Fenster weit geöffnet sind, kann der Luftwechsel das 10 bis 20-fache des Raumvolumens erreichen. Es ist auch erkennbar, dass moderne Fenster dichter sind und damit einen niedrigeren Luftwechsel zur Folge haben.

Lüftungsart	Luftwechselzahl [ $h^{-1}$ ]
Isolierfenster geschlossen	0,2 – 0,4
Einfache Fenster geschlossen	0,5 – 0,6
Oberlichter geöffnet	1,0 – 2,0
Kippklüftung	3 – 10
Fenster weit geöffnet	10 – 20

In naher Zukunft werden viele Schulen energetisch saniert, auch durch den Einbau dichter Fenster. Durch diese Sanierungen entstehen dichte Gebäude, welche nur noch eine minimale Luftwechselzahl besitzen. So sinnvoll diese Sanierung aus energetischer Sicht auf den ersten Blick ist, so dramatisch wirkt sich ein dichtes Gebäude auf die Raumluftqualität aus. Die Folge ist, die Raumluftqualität in sanierten Gebäuden wird sich noch weiter verschlechtern. So startet der Unterricht schon in der ersten Stunde unter leistungsmindernden Bedingungen.

### Lösung

Was kann für eine gute Raumluftqualität getan werden? Um an dieser Stelle weiter zu kommen, ist ein Umdenken nötig. Es zeigt sich, dass die Lüftung über Fenster in vielen Fällen an ihre Grenzen stößt. Das Rad, an dem hier gedreht werden muss, ist die Luftwechselzahl. Erhöht sich diese, verbessert sich auch die Raumluftqualität. Die Alternativen für eine akzeptable Raumluftqualität wären, die Personenzahl in einem Klassenraum in erheblichem Maße zu reduzieren bzw. das Raumvolumen eines Klassenraumes zu vergrößern. Realistisch und durchführbar sind diese Maßnahmen jedoch nicht.

## 9.2 Allgemeines zu einem Leitfaden

Ein Leitfaden ist eine Orientierungs-, Entscheidungs- und Handlungshilfe. Damit Hilfe funktioniert, muss sie angenommen werden und anwendbar sein. So gilt für einen Leitfaden: er muss gut lesbar und in sich schlüssig sein, um zu überzeugen.

### 9.2.1 Was erwartet der Leser von einem Leitfaden?

Leser, die einen Leitfaden zur Hand nehmen, erwarten Hilfe und sie möchten ernst genommen werden. Das ist unabhängig davon, ob es um Orientierung geht oder um konkrete Lösungen. Um den Leser ernst zu nehmen, ist ihm auf gleicher Augenhöhe zu begegnen, ihm darf nicht seine kostbare Zeit geraubt werden.

Auf gleicher Augenhöhe begegnen bedeutet in einem Leitfaden, dass dieser Sprache in einer Weise benutzt, die der Leser versteht. Dies geschieht mit verständlichen Texten, die informieren (aber nicht mit Informationen überschütten) und im besten Fall motivieren. Dazu zählen keine Belehrungen und Besserwissereien.

Suchen kostet Zeit. Durch eine gute Struktur wird der Leser schnell und einfach zu den benötigten Informationen geführt.

### 9.2.2 Wie geht der Leser vor? Das Lese(r)verhalten

Der Leser eines Leitfadens hat in den seltensten Fällen Zeit den ganzen Leitfaden von vorne bis hinten durchzulesen. Die Vorgehensweise beim Lesen sieht häufig so aus:

1. Einleitung
  2. Zusammenfassung/Fazit
  3. Blick ins Inhaltsverzeichnis/Stichwortverzeichnis
- } bzw. Kurzfassung

Sprung zu der Stelle im Hauptteil, die besonders interessiert. Doch was gehört sonst noch in einen Leitfaden? Mehr dazu im nächsten Abschnitt.

### 9.2.3 Der grundsätzliche Aufbau eines Leitfadens

Es gibt einen grundsätzlichen Aufbau, den fast alle veröffentlichten umfangreicheren Leitfäden gemeinsam haben. Für einen umfassenderen und auf den Leser abgestimmten Leitfaden können noch Ergänzungen hinzukommen, zum Beispiel: Anbieterverzeichnis, Glossar und Stichwortverzeichnis.

Bei jedem Punkt des Aufbaus ist zu prüfen, ob dieser nötig ist und zur Verständlichkeit beiträgt. Ist dies nicht der Fall, sollte er entfallen oder unter Umständen mit einem anderen Punkt zusammengefasst werden. Somit ergibt sich folgender Aufbau:

- I. Titelblatt
- II. Impressum
- III. Zusammenfassende Angaben zu Titel, Beteiligte und Auftraggeber
- IV. Inhaltsverzeichnis
- V. Vorwort
- VI. Eventuell: Kurzfassung in Deutsch/Englisch
- VII. Einleitung
- VIII. Hauptteil
- IX. Fazit/Zusammenfassung
- X. Anhang
- XI. *Anbieter- bzw. Herstellerverzeichnis für die jeweiligen Techniken/Projektpartner*
- XII. *Glossar*
- XIII. *Stichwortverzeichnis*
- XIV. Rückseite: Kontaktdaten

In den nachfolgenden Ausführungen gibt es Informationen zu den einzelnen Punkten des Aufbaus, vom Titelblatt (I) bis zur Rückseite (XIV).

#### 9.2.3.1 Titelblatt

Das Titelblatt ist die erste Seite des fertigen Leitfadens, es wird als Erstes vom Leser wahrgenommen.

Auf dem Titelblatt stehen Haupttitel, Herausgeber und eventueller Nebentitel. Im günstigsten Fall gibt es ein aussagekräftiges Bild, welches das Thema des Leitfadens auf den ersten Blick verdeutlicht und Neugierde weckt.

#### 9.2.3.2 Impressum

Das Impressum befindet sich auf dem unteren Teil der zweiten Seite (Rückseite des Titelblattes) und enthält die vom Urheberrecht geforderten Informationen. Das Impressum muss als solches erkennbar sein.

Im Impressum stehen Informationen über <sup>39</sup>:

- Herausgeber (mit Kontaktdaten, Internetdaten)
- Redaktion (mit Kontaktdaten, Internetdaten)
- Gestaltung

---

<sup>39</sup> Wikipedia: Die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Impressum>; 22.01.2009

- Titelbild bzw. Umschlaggestaltung
- Abbildungsrechte
- Gesamtherstellung
- Satz (Druck), Druckerei, Buchbinderei, Druckort
- Verlag mit Erscheinungsort
- Auflagenzahl
- Bezugsquelle des Leitfadens
- Erscheinungsjahr/Stand

### **9.2.3.3 Zusammenfassende Angaben zu Titel, Beteiligte und Auftraggeber**

Auf der Folgeseite, aber auch auf der Seite des Impressums können zusammenfassende Angaben zu Titel, Beteiligte und Auftraggeber gemacht werden. In der Regel gehören dazu:

- Haupttitel
- Nebentitel
- Beteiligte bzw. erarbeitet und verfasst von
- Beauftragt von
- Logos
- Ort und Zeit

### **9.2.3.4 Inhaltsverzeichnis**

Das Inhaltsverzeichnis gibt die Gliederung des Dokuments systematisch wieder und kann am Anfang oder am Ende des Leitfadens stehen. Der deutsche Leser erwartet es direkt hinter dem Haupttitel, nicht erst hinter dem Vorwort oder am Ende des Dokuments.

Das Inhaltsverzeichnis lebt von den Überschriften der einzelnen Kapitel und Unterkapitel, prägnante Formulierungen tragen erheblich zu einer einfachen und schnellen Suche bei.<sup>40</sup>

### **9.2.3.5 Vorwort**

Geschrieben werden sollte das Vorwort von einer Person, der das Thema am Herzen liegt und die sich damit auskennt. Eine überzeugende Darlegung weckt Neugierde beim Leser. Thematisch ist das Vorwort eher allgemein gehalten, Besonderheiten des Leitfadens können angesprochen, Inhalte sollten jedoch nicht vorweggenommen werden. Zusammenhänge oder Abgrenzungen zu anderen Leitfäden können auch aufgegriffen werden. Ist der Verfasser des Vorworts eine beteiligte Person des Projekts, bietet es sich an, zu schreiben, was den Anstoß für den Leitfaden gab und welche Erwartungen daran geknüpft sind.

Das Vorwort kann auch dazu genutzt werden, sich zu bedanken, dazu können Geldgeber genauso gehören, wie Menschen, die zum Erfolg des Leitfadens beigetragen haben. Das Vorwort nennt Ort und Zeit und ist unterschrieben.

---

<sup>40</sup> Wikipedia: Die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Inhaltsverzeichnis>; 22.01.2009

### 9.2.3.6 Kurzfassung

Die Kurzfassung soll den Leser neugierig auf das Thema machen und ihm die Entscheidung erleichtern, den Leitfaden zu lesen. Dazu gibt es einen kurzen Umriss der Hauptthemen, ohne in Details zu verfallen. Stichworte können zum Beispiel sein <sup>41</sup>:

- Motivation
- Inhalt
- Ziele
- Ergebnisse
- Handlungsempfehlungen
- Zusammenfassung
- Schlussfolgerung
- usw.

Die Länge der Kurzfassung ist abhängig vom Umfang des Leitfadens. Eine Länge von zwei Seiten sollte jedoch ausreichen.

Es ist üblich, die Kurzfassung auch in Englisch zu schreiben, dem sogenannten *Abstract*. So wird auch anderssprachigen Lesern die Grundidee des Leitfadens nahe gebracht.

Zu überlegen ist, ob eine Kurzfassung in den Leitfaden gehört. Empfehlenswerter wäre eine Kurzfassung auf einem separat erhältlichen Blatt, entweder als einfaches Blatt oder in attraktivere Form, zum Beispiel als gestaltetes Faltblatt.

### 9.2.3.7 Einleitung

In der Einleitung erhält der Leser einen Überblick über den Leitfaden. Er erfährt, warum er den Leitfaden lesen soll, indem die Ziele des Leitfadens klar formuliert werden. Die einzelnen Kapitel werden in Bezug auf die Zielsetzung vorgestellt und der Leitgedanke des Leitfadens wird erstmals aufgegriffen und deutlich gemacht. Ergänzung kann auch ein kurzer Blick auf die jetzige Situation sein.

### 9.2.3.8 Hauptteil

Der Hauptteil ist das Herzstück des Leitfadens, dort erwartet der Leser die Information, die er sucht. Wie ihn die Information erreicht, kann sehr unterschiedlich sein. Wichtig sind gute Navigation und Verständlichkeit.

#### Navigation

Damit der Leser die Textstelle zur Klärung seiner Fragen schnell findet, sind folgende Dinge zu beachten:

- eine gute äußere Gliederung
- ein übersichtliches Inhaltsverzeichnis
- aussagekräftige Überschriften
- für jeden neuen Gedanken gibt es einen Abschnitt
- Querverweise

---

<sup>41</sup> Wikipedia: Die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Kurzfassung>; 22.01.2009

- ein Stichwortverzeichnis
- Hinweise, zum Beispiel auf weiterführende Literatur

### **Verständlichkeit**

Hat der Leser die gewünschte Stelle gefunden, fehlt ihm noch die eigentliche Information. Damit diese für ihn verständlich ist, sind folgende Punkte wichtig:

- Übersichtlichkeit
- Textstruktur
- sprachliche Formulierung
- Rücksichtnahme auf das Vorwissen (indem eventuell Neues erklärt wird)
- Beispiele sind als solche erkennbar

Bei den Auflistungen für Navigation und Verständlichkeit gibt es noch weitere Punkte. Hier wurde versucht, die wichtigsten herauszuarbeiten, damit der Leser mit dem Leitfaden ein gutes Werkzeug für die Umsetzung erhält.

### **9.2.3.9 Fazit/Zusammenfassung**

Im **Fazit** wird die Frage beantwortet, was die Ergebnisse für weitere Entwicklungen bzw. für die Praxis bedeuten. Die Ergebnisse werden bewertet, eingeschätzt und ergänzt durch eine persönlich begründete Schlussfolgerung bzw. Prognose.

Die **Zusammenfassung** befindet sich am Ende des Textes und fasst das Notwendigste zum Verständnis des Textes zusammen. Da viele Leser neben der Einleitung nur die Zusammenfassung lesen, muss diese überzeugen. Sie enthält in kurzer und knapper Form Aufgabe/Ziel, Vorgehen, die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Interpretationen und Bewertungen sind nicht enthalten.

### **9.2.3.10 Anhang**

In den Anhang gehören ergänzende Unterlagen, die den Hauptteil zu sehr aufblähen. Wichtig ist alles, was dem Leser weiterhilft, dazugehören: Zusammenfassungen von Empfehlungen und Vorgehensweisen, Angaben, die die Inhalte des Leitfadens untermauern, Versuchsaufbauten usw. Der Umfang der im Anhang abgedruckten Inhalte sollte wohl abgewägt sein und sich auf das Notwendigste konzentrieren. Eine durchdachte Zusammenstellung ist wichtig.

### **9.2.3.11 Anbieter- bzw. Herstellerverzeichnis für die jeweiligen Techniken/Projektpartner**

Eine Übersicht sortiert nach Technik mit den entsprechenden Herstellern/Anbietern, vereinfacht dem Leser weitere Recherchen und die direkte Kontaktaufnahme. In dem Verzeichnis sollte mindestens stehen:

- Technik
- Hersteller bzw. Anbieter
- Kontaktdaten, wie Adresse, Telefon und Internetseite

Ergänzungen um weitere Punkte sind möglich.

Das Anbieter- bzw. Herstellerverzeichnis kann auch auf einem separaten Blatt zusammengefasst sein, zum Beispiel als Faltblatt. Dieses Verzeichnis sollte dem Leser jedoch nicht vorenthalten werden.

### **9.2.3.12 Glossar**

Im Glossar werden alle Begriffe verständlich erklärt, die zum Verstehen des Leitfadens nötig sind. Die Spanne der Begriffe reicht von neuen bis hin zu scheinbar bekannten und geläufigen Begriffen. Scheinbar bekannte Begriffe sind zu erklären, denn oftmals kennt der Laie nicht die Definition des Fachmanns. Bei der Erklärung eines Begriffes sollte die Kernaussage kurz und einfach gehalten und für jeden verständlich sein. Hilfreich ist unter Umständen ein anschauliches Beispiel.

### **9.2.3.13 Stichwortverzeichnis**

In dem Stichwortverzeichnis stehen alle wichtigen Begriffe in alphabetischer Ordnung mit einem Hinweis, wo diese im Hauptteil zu finden sind. An einigen Stellen gibt es Verweise, die auf ähnliche, sachlich über- / untergeordnete bzw. auf weiterführende Begriffe deuten. Das Stichwortverzeichnis hilft dem Leser, schnell die gesuchte Stelle zu finden.

### **9.2.3.14 Rückseite: Kontaktdaten**

Auf der Rückseite des Leitfadens befinden sich Kontaktdaten für Interessierte. Ein konkreter Ansprechpartner erleichtert die Kontaktaufnahme. Auf einigen Leitfäden gibt es statt eines Ansprechpartners eine Telefonnummer. Hier ist klar erkennbar, dass es sich um die Nummer der Zentrale handelt. Dies erweckt bei dem Leser den Eindruck, dass Nachfragen nicht erwünscht sind.



## 9.3 Erstellen des Leitfadens

*„Wenn man nicht genau weiß, wohin man will, landet man leicht da, wo man gar nicht hin wollte.“  
(Robert Frank Mager, Verfasser des Buches „Lernziele und Unterricht“)*

### 9.3.1 Vor dem Schreiben

Um dort zu landen, wo man hin will, sind im Vorfeld einige Überlegungen wichtig. Doch welche sind das? Hierbei ergeben sich scheinbar simple Fragen, die aufeinander aufbauen, und helfen Gedanken zu strukturieren und festzulegen.

Mehr in Abbildung 9-5.



Abbildung 9-5: Überlegungen vor dem Schreiben

#### 9.3.1.1 Was soll erreicht werden?

Der Leser soll mit dem Leitfaden eine Orientierungs-, Entscheidungs- und Handlungsempfehlung für die Sanierung von Schulen bekommen. Dabei handelt es sich um ein Werkzeug, welches für den Leser einfach in der Handhabung ist und ihm neue Erkenntnisse vermittelt.

Mit obiger Frage lassen sich Prioritäten festlegen:

- I. Ziele formulieren
- II. Inhalte festlegen

### 9.3.1.2 Ziele formulieren

Die formulierten Ziele für den Leitfaden sind:

- Es soll ein kompakter, verständlicher Leitfaden entstehen
- Integrale Sanierung in den Mittelpunkt einer Sanierung stellen – Zusammenarbeit aller Beteiligten von Anfang an (kein Staffellauf mehr)
- Zukunftssicheres Gebäude definieren
- Komfort für die Nutzer unter Berücksichtigung der Energieeffizienz steigern
- Verhältnis von Investitions- und Betriebskosten betrachten (Produktlebenszyklus)
- Nachahmungsfähige Konzepte anbieten, aufbauend auf dem Stand der Technik
- Verdeutlichen, dass ein Gebäude auch nach der Fertigstellung zu betreuen ist - Monitoring
- Tipps und Anstöße für eine Schulsanierung unter diesen Aspekten

### 9.3.1.3 Inhalte festlegen

Welche Inhalte sind wichtig, um diese Ziele zu erreichen? (Abgeleitet vom DBU-Antrag)

- Integrale Sanierung
- Ertüchtigung der Gebäudehülle → Simulation am Rechner von unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen des Gebäudes
- Temperierung → Heizen und Kühlen durch unterschiedliche Systeme; Berücksichtigung thermisch hoch belasteter Räume
- Raumluftqualität → kontrolliertes Lüften
- Akustik
- Beleuchtung → Lichtlenksysteme, Tageslichtnutzung
- Gebäudeleittechnik
- Sanitärtechnik
- Finanzierung

### 9.3.1.4 Wer soll erreicht werden?

Diese Frage lässt sich am besten in Teilschritten beantworten:

- I. Zielgruppe(n) eingrenzen
- II. Zielgruppe(n) analysieren
- III. Informieren oder Motivieren
- IV. Bedeutung für den Leitfaden

Diese Vorgehensweise erleichtert es, die Inhalte des Leitfadens gezielt für Zielgruppe(n) zusammenzustellen, dadurch erhöhen sich die Chancen einer guten Kommunikation mit dem Leser. Das ist wichtig für das Durchsetzen und Erreichen der Ziele.

### 9.3.1.5 Zielgruppe(n) eingrenzen

Welche Gruppe(n) soll(en) konkret mit dem Leitfaden erreicht werden? Es lassen sich drei Zielgruppen eingrenzen:

1. Zielgruppe: **Entscheidungsträger**. Dabei handelt es sich in erster Linie um politische, aber auch pädagogische Entscheidungsträger. Diese haben die Macht und die nötigen Mittel für die Durchsetzung und Finanzierung.
2. Zielgruppe: **Architekten**. Übernehmen häufig die Gebäudeplanung und Projektkoordination.
3. Zielgruppe: **Fachplaner**. Diese sind wichtig für die richtige und funktionierende Umsetzung der Technischen Gebäudeausrüstung.

### 9.3.1.6 Zielgruppe(n) analysieren

Um bei den Zielgruppen den richtigen Ton zu treffen, ist es wichtig, sich in sie hineinzusetzen. Dabei hilft die Zielgruppenanalyse jeder Gruppe.

Folgende Stichpunkte können hilfreich sein <sup>42</sup>:

- Hintergrund (Berufliche Funktion; Ausbildung; gemachte Erfahrungen)
- Information (Was soll die Zielgruppe zum Thema wissen, was sie noch nicht weiß?)
- Interesse und Wohlwollen (Hat die Zielgruppe Interesse am Thema?; Wie steht sie dem Thema gegenüber?)
- Motivation (Was motiviert die Zielgruppe, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen?; Worauf reagiert sie emotional?; Was ist anzusprechen, was auf gar keinen Fall?)

### Zielgruppenanalyse Entscheidungsträger

Entscheidungsträger treffen unter anderem Entscheidungen, was mit Geldern und Schulen passiert und was für die Zukunft einer Gemeinde wichtig ist. Dabei handelt es sich um Politiker, Mitglieder der Gemeindevertretung, Mitarbeiter in kommunaler/ministerialer Verwaltung und Schulträger.

Der berufliche **Hintergrund** dieses Personenkreises ist sehr unterschiedlich. Doch lässt sich zusammenfassen, dass es sich hauptsächlich um Nicht-Techniker handelt. Eine Aufstellung nach Berufen sieht folgendermaßen aus: Verwaltungsangestellte, Kauffrauen bzw. -männer, Betriebswirte, Landwirte, Lehrer, Rentner/Pensionäre, Hausfrauen bzw. -männer und Selbstständige aus verschiedenen Bereichen. Ein durchschnittlicher Vertreter dieser Gruppe ist circa 55 Jahre alt, verheiratet, hat zwei Kinder, eher männlich als weiblich und hat sich bisher gar nicht oder wenig mit integraler Schulsanierung auseinandergesetzt.

Die **Information** muss mit den Grundlagen der integralen Sanierung beginnen. Es kann nicht erwartet werden, dass diese ausreichend bekannt sind. Kurze Einweisungen sind nötig, unter anderem zu den Themen: Integrale Sanierung, Ertüchtigung der Gebäudehülle, Gebäudesimulation, Temperierung, Raumluftqualität, Akustik, Beleuchtung, Gebäudeleittechnik, Sanitärtechnik, Finanzierung (Betriebs- und Investitionskosten) und Produktlebenszyklus. Die

---

<sup>42</sup> Eufinger, Günther: Dokumente perfekt gestalten; Deutschland; 2007

Zielgruppe soll erfahren, dass ein Gebäude durch den Austausch von Fenstern keineswegs vollständig saniert ist und zum Sparparadies wird.

Mit **Interesse** seitens der Entscheidungsträger ist zu rechnen, denn politisch ist das Thema der energetischen Schulsanierung aufgrund des beschlossenen Konjunktur-Paketes II sehr aktuell. Es ist zu erwarten, dass die Vorlagen des Paketes nach bestem Wissen umgesetzt werden und populäre Ergebnisse liefern sollen. Besonderes Interesse besteht an einfachen, günstigen und kurzfristigen Lösungen. Gibt es diese nicht, kann das Argument schnell lauten, „das haben wir immer schon so gemacht“ und es wird nichts gemacht. Wichtig ist, den richtigen Zeitpunkt nicht zu verpassen, denn sind erste Entscheidungen gefallen, wird niemand sein erarbeitetes Konzept ändern.

Die **Motivation** der Zielgruppe ist zum einen die Umsetzung des Konjunktur-Paketes II und zum anderen sind es mögliche Vorteile, die sich ergeben. Diese sind nicht nur finanzieller Art, sondern können auch Sicherheit, Ansehen oder eine Erfolgsgeschichte sein. Aber auch die Neugierde auf neue Lösungen oder zu wissen was andere Gemeinden planen, kann motivieren den Leitfaden zu lesen.

### **Zielgruppenanalyse Fachplaner und Architekten**

Die Zielgruppenanalyse des Fachplaners und Architekten wurde zusammengefasst, da sich diese, bis auf den Hintergrund, nicht grundlegend unterscheiden.

Der Ausbildungs-**Hintergrund** von *Fachplanern* untereinander ist sehr ähnlich. Viele absolvierten eine praktische Ausbildung in der Haus-, Anlagen- oder auch Elektrotechnik, gefolgt von einer Weiterbildung zum Techniker oder einem Studium zum Ingenieur. Der Schwerpunkt des einzelnen Fachplaners variiert, doch technische Grundlagen und physikalische Zusammenhänge sollten allen bekannt sein. Die Auseinandersetzung mit technischen Problemen zählt zur täglichen Arbeit eines Technikers. Vorwiegend ist er männlich und in jeder Altersstufe anzutreffen.

Der *Architekt* ist häufig ein ausgebildeter Bau- bzw. Technischer Zeichner, in einigen Fällen hat er eine handwerkliche Ausbildung, dann folgte das Studium der Architektur. Es ist nicht zu erwarten, dass die technischen Grundlagen dem Architekten in der Tiefe bekannt sind wie dem Fachplaner. Die Auseinandersetzung mit technischen Problemen der Technischen Gebäudeausrüstung ist nicht Kerngeschäft des Architekten, deshalb ist eine kurze Einweisung sinnvoll. Der Architekt ist sowohl männlich, als auch weiblich und in jeder Altersstufe zu finden.

**Informationen** sind aufgrund neuer Erkenntnisse und Techniken nötig. So wird bei der Sanierung einer Schule häufig noch Schema F aus der Schublade gezogen und abgearbeitet. Der Leitfaden zeigt, dass es darüber hinaus noch mehr gibt.

Das **Interesse** an dem Projekt wird auf jeden Fall verstärkt, wenn die Entscheidungsträger Durchführungen begrüßen. Fragt der Entscheidungsträger zum Beispiel gezielt nach kontrollierter Lüftung, muss der Fachplaner bzw. Architekt reagieren. Der Leitfaden ist also für den Fachplaner und Architekten, der Neuerungen positiv gegenübersteht, der neugierig ist, der wissen möchte, wie etwas funktioniert und gerne neue Wege geht. Da die Auseinandersetzung mit neuen Techniken und lebenslanges Lernen einen guten Fachplaner bzw. Architekten ausmacht, ist mit Interesse zu rechnen.

**Motivation** den Leitfaden zu lesen ist das Informationsbedürfnis nach neuen Erkenntnissen und Techniken im Rahmen einer Schulsanierung. Hier treibt den Fachplaner bzw. Architekten die Neugierde zu wissen, wie und warum etwas funktioniert und auch um zu erfahren, was die „Konkurrenz“ macht. Zudem ist der Fachplaner bzw. Architekt unter Umständen derjenige, der dem Entscheidungsträger den Weg einer integralen Sanierung weist.

### 9.3.1.7 Informieren oder Motivieren

Sind die Zielgruppen bekannt, ist zu entscheiden, ob der Leitfaden informieren oder motivieren soll. Diese Entscheidung nimmt Einfluss auf die Struktur des Leitfadens. Bringt der Leser schon eine grundsätzliche Motivation am Thema mit, so ist eine zusätzliche Motivation unnötig. Ein Beispiel ist die Gebrauchsanweisung, wer diese zur Hand nimmt, hat seine Gründe und möchte etwas Konkretes erfahren.

Steht der Leser dem Thema kritisch gegenüber bzw. ist der Leser nicht davon überzeugt, etwas in einem bestimmten Sinne zu tun, muss er dazu motiviert werden. Informationen sind auch wichtig, doch der Knackpunkt ist das „Verkaufen“ des Themas.<sup>42</sup>

#### Motivation

Ein kurzer Exkurs zur Motivation. Es gibt unterschiedliche Ansätze und Modelle, die an dieser Stelle nur ansatzweise beschrieben werden.

Motivation ist der Wille, ein Ziel zu erreichen, die Bereitschaft zur Handlung zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dazu besitzt jeder Mensch ein eigenes Geflecht von Antrieben und Handlungsstrategien, welches ihn, meist unbewusst, leitet. Deshalb stellt sich die Frage:

**Wie** wird der Mensch motiviert? Dies hängt von seinen Motiven ab. Ein Motiv ist der Grund für die Handlung des Menschen. Motive sind sehr unterschiedlich und dem Einzelnen selten bewusst. Zu ihnen gehören unter anderem<sup>43</sup>:

- Macht (Streben nach Erfolg, Leistung, Führung)
- Neugier (Streben nach Wissen und Wahrheit)
- Anerkennung (Streben nach sozialer Akzeptanz, Zugehörigkeit und positivem Selbstwert)
- Ehre, Ziel- und Zweckorientierung (Streben nach Loyalität und charakterlicher Integrität)
- Status (Streben nach Reichtum, sozialem Status)
- Beziehungen (Streben nach Freundschaft, Kameradschaft, Humor)
- Familie (Streben nach eigenen Kindern, Familie)
- Körperliche Aktivität (Streben nach Fitness und Bewegung)
- usw.

Sind bei einer Motivation sowohl kognitive (erkenntnismäßige) wie auch emotionale (gefühlsmäßige) Komponenten beteiligt und stehen diese im Widerspruch, dann siegt in der Regel die emotionale Komponente. Der Sieg der Emotionen wird in den meisten Fällen nicht bewusst wahrgenommen, sondern rationalisiert. Ist zum Beispiel Sicherheit das Motiv etwas abzulehnen, so wird das Argument in den seltensten Fällen lauten: „Ich habe Angst, deshalb

möchte ich das nicht“. Es wird lauten: „Das und das ist nicht plausibel“ oder „Das ist unmoralisch und deshalb nicht zu machen“. <sup>43</sup>

### 9.3.1.8 IV Bedeutung für den Leitfaden

Der Leitfaden soll drei Zielgruppen erreichen: Entscheidungsträger, Fachplaner und Architekten. Es ist davon auszugehen, dass die meisten Leser dem Leitfaden als Informationsquelle offen gegenüberstehen. Doch auf welcher Zielgruppe liegt das Augenmerk? Ganz klar auf dem des Entscheidungsträgers. Dieser gibt die Richtung vor und muss deshalb motiviert und überzeugt werden. Der Fachplaner bzw. Architekt wird ebenfalls Überzeugungsarbeit leisten, wenn er an einem Auftrag bzw. der Erfüllung seiner Arbeit interessiert ist. Das bedeutet, auch den Fachplaner bzw. Architekt nicht außer Acht zu lassen. Sie müssen von Beginn an mit ins Boot geholt werden, damit aus Ideen ein ausgereiftes Gesamtkonzept mit funktionierenden Anlagen entsteht. Dazu benötigen sie Ideen bzw. Informationen für die technische Umsetzung und Fertigstellung, diese sollen sie im Leitfaden finden.

Die Herausforderung besteht also darin, den Fachplaner bzw. Architekten zu informieren und den Entscheidungsträger zu motivieren, auch wenn er mehr finanzielle Mittel und Zeit als üblich investieren muss. Voraussetzung für die Motivation des Entscheidungsträgers ist, dass er versteht, worum es geht. Dazu muss die Kommunikation verständlich und einfach sein.

Was spricht den Entscheidungsträger direkt an? Worauf reagiert er besonders emotional? Aus diesen Punkten ergeben sich Aspekte, die auf jeden Fall anzusprechen sind und solche, die gemieden werden sollten.

Für die Motivation des Entscheidungsträgers gibt es unterschiedliche Ansätze <sup>42</sup>:

- **Anreize schaffen:** Hierbei konzentriert sich alles auf den besonderen Vorteil, den der Entscheidungsträger aus der Umsetzung ziehen kann. Faktoren sind nicht nur Geld, sondern auch Sicherheit, Ansehen und eine Erfolgsgeschichte.
- **Appell an die Gefühle:** Das gute oder das schlechte Gewissen ansprechen. Es sollte überlegt werden, was erzeugt Sympathien, was Antipathien?
- **Provozieren:** Der Entscheidungsträger wird mit einer aussagekräftigen „Schlagzeile“ provoziert. Dazu wird zum Beispiel:
  - bewusst ein großes Stück vom Braten gefordert, um anschließend ein kleines Stück zu bekommen.
  - ein Schaukampf inszeniert, in dem das „Produkt“ den unglaublichsten Härte-tests unterzogen wird. In Dokumentenform bedeutet das, es werden kritische Fragen gestellt, die dann mit Leichtigkeit entkräftet werden.
  - in einem Appell die Situation ungeschönt und drastisch dargestellt. Übertragen bedeutet das, wer springt schon gerne von einem Schiff? Anders sieht es aus, wenn das Schiff brennt und zu sinken beginnt.

Tabelle 9-1 fasst noch einmal die drei Zielgruppen zusammen.

---

<sup>43</sup> Wikipedia: Die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Motivation>; 10.03.2009

Tabelle 9-1: Zusammenfassung der Zielgruppen

Kriterien	Entscheidungsträger	Architekt	Fachplaner
Typ	Nichttechniker		Techniker
Sprache	Populärwissenschaftlich; Allgemein		Nicht zu populärwissen- schaftlich; Technisch
Bilder	Eher emotional		Eher technisch und praktisch
Diagramme	Lieber nicht, wenn dann einfach		Ja, gerne und viel
Erklärungen	Einfach, alltagstauglich		Technisch
Vorwissen	Wenig technische Grundlagen auf dem Gebiet		Technische und physika- lische Grundlagen be- kannt
Benötigtes Wissen	Grundlagenwissen; Neue Erkenntnisse und das etwas getan wer- den muss		Detailwissen; Wie neue Ideen umge- setzt werden können
Informieren oder Mo- tivieren?	Motivieren	Informieren	
Zeit sich mit dem Leit- faden zu beschäftigen	Wenig		
Was wird erwartet	Einfache und schnell umsetzbare Lösungen, die (Investitions- und) Be- triebskosten sparen; Hilfestellung für die Sanierung von Schulen; Hilfestellung für die Umsetzung des Konjunktur-Paketes II		
Was wird geboten	Ideensammlung für die Umsetzung einer Schulsanierung bzw. des Kon- junktur-Paketes II; Neue Erkenntnisse aus dem Bereich der Komfortsteigerung für die Nutzer von Schulen; Möglichkeiten der Einsparung von Betriebskosten		
Was wird nicht gebo- ten	Ausführliches Fachbuch mit ausformulierten Lösungen		
Profitiert von	Verständlichem Leitfaden mit umsetzbaren Lösungen		

### **9.3.1.9 Wie soll das erreicht werden?**

Diese Frage hilft, Gedanken für die Fertigstellung des Leitfadens zu strukturieren. Herausforderung ist, einen Leitfaden zu erstellen, der den Entscheidungsträger motiviert, den Fachplaner bzw. Architekt ausreichend informiert und der zusätzlich noch möglichst kompakt (geringe Seitenzahlen) ist.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, gibt es folgende Überlegungen:

- I. Version des Leitfadens
- II. Zusammensetzung des Hauptteils
- III. Verpacken der Leitfaden-Inhalte

#### **I Version des Leitfadens**

Die folgenden Versionen beschreiben drei unterschiedlich gefertigte Leitfäden:

1. Version: Ein Leitfaden für alle, ohne Rücksicht auf bestimmte Gruppen
2. Version: Ein Leitfaden für alle, Rücksicht auf alle Gruppen
3. Version: Drei Leitfäden, für jede Gruppe einen

In Tabelle 9-2 sind die drei Versionen mit Vor- und Nachteilen und auftretenden Herausforderungen gegenübergestellt. Für die Umsetzung ergibt sich daraus eine Version, die für den Leitfaden empfehlenswert ist.



Tabelle 9-2: Vergleich von drei möglichen Versionen des Leitfadens

	Ein Leitfaden für alle – ohne Rücksicht auf be- stimmte Gruppen	Ein Leitfaden für alle – Rücksicht auf alle Grup- pen	Drei Leitfäden – für jede Gruppe einen
Chance/ Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusatzinfos für jeden Leser</li> <li>• Es wird nur an einem Dokument gearbeitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zielgerichtetes Schreiben für jede Zielgruppe</li> <li>• Es wird nur an einem Dokument gearbeitet</li> <li>• Zusatzinfos für jeden Leser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zielgerichtetes Schreiben für jede Zielgruppe</li> </ul>
Gefahr/ Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benachteiligung bzw. Bevorzugung einer Zielgruppe (Unter- bzw. Überforderung des Lesers)</li> <li>• Nicht zielgerichtet genug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Leitfaden wird zu unübersichtlich bzw. umfangreich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wissen vorenthalten</li> <li>• Es müssen drei Dokumente erarbeitet werden</li> </ul>
Herausforderung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interessant für jede Zielgruppe zu schreiben (populärwissenschaftlich und technisch)</li> <li>• Jede Zielgruppe dort abzuholen, wo sie steht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interessant für jede Zielgruppe zu schreiben (populärwissenschaftlich und technisch)</li> <li>• Jede Zielgruppe dort abzuholen, wo sie steht</li> <li>• Die richtigen Themen zuordnen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erarbeiten, was für wen wichtig ist</li> <li>• Erarbeiten, was wen interessiert</li> <li>• Die richtigen Themen zuordnen</li> </ul>
Umsetzung	<b>Nicht empfehlenswert</b> Die Struktur wäre zu unübersichtlich. Es fällt dem Leser schwer, zu selektieren, was wichtig für ihn ist und was nicht.	<b>Empfehlenswert</b> Richtig umgesetzt findet jeder Leser die Informationen, die für ihn wichtig sind und er kann zusätzlich über den Tellerrand hinaus schauen, wenn er möchte.	<b>Bedingt empfehlenswert</b> Vorteilhaft ist, es wird auf jede Gruppe zielgerichtet eingegangen. Doch drei Leitfäden zu erstellen ist sehr aufwendig, zudem fehlt der Blick über den Tellerrand.

Für den zu erstellenden Leitfaden ist die 2. Version „Ein Leitfaden für alle, Rücksicht auf alle Gruppen“ empfehlenswert. Richtig umgesetzt findet der Leser, was für ihn wichtig ist. Doch was bedeutet richtig umgesetzt? Das lässt viel Raum für Interpretationen.

Die Matrix in Tabelle 9-3 soll helfen, diesen Raum zu lichten. Es ist erkennbar, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, Erklärungen von Funktionsweisen und Zusatzinformationen in dem Leitfaden einzubinden, gleiches gilt für Bilder und Diagramme. Die Matrix betrachtet und bewertet fünf mögliche Ausführungen von unterschiedlichen Kombinationen. Die Bewertung erfolgt nach dem Kriterium, ob der Leitfaden für Nicht-Techniker und Techniker interessant ist.

Tabelle 9-3: Berücksichtigung beider Zielgruppen im Leitfaden

		XS	S	M	L	XL
Einbindung von Erklärungen der Funktionsweisen und Zusatzinformationen*	Link bzw. Verweis wo etwas außerhalb des Leitfadens zu finden ist	X	X	X	X	X
	Kurze Erklärung innerhalb des Textes bzw. Verweis auf kurze Erklärung im Anhang; keine Zusatzinformationen		X			
	Kompakte Form für Erklärungen und Zusatzinformationen			X		
	Ausführlicher Abschnitt für jede neue Funktionsweise und Zusatzinformation				X	
	Ausführliches Kapitel mit zugeschnittenen Informationen für jede Gruppe im Anschluss eines "Allgemeinen"					X
Einbindung von Diagrammen und Bildern	keine Bilder, keine Diagramme	X				
	Bilder und Diagramm als Erklärung zu den Funktionsweisen		X	X	X	X
	Bilder und Diagramm als Ergänzung zu den Zusatzinformationen			X	X	X
	Bilder und Diagramme als Platzhalter bzw. einfach weil es so hübsch aussieht					X
Beurteilung von	+ + und + stehen für eine große Ausprägung; 0 für eine ausgewogene; - und - für eine geringe					
	Ausführlichkeit der einzelnen Themen und Inhalte	--	-	0	+	++
	Kompaktheit des gesamten Leitfadens	++	+	0	-	--
Lesbar/ interessant für	Nicht-Techniker	nein, zu kurz u. knapp	teilweise, evtl. zu kompakt	ja	ja	nein, zu ausführlich
	Techniker	nein, zu kurz u. knapp	eher nicht, fast keine Technik	teilweise, evtl. zu wenig Technik	ja	nein, zu ausführlich
<b>Fazit</b>		nicht umsetzbar	nicht umsetzbar	<b>umsetzbar</b>	<b>umsetzbar</b>	nicht umsetzbar

\* Zusatzinformationen sind technische Ergänzungen für den Techniker

Am besten eignet sich „Ausführung M“. Diese ist für den Nicht-Techniker und Techniker interessant, denn sie bietet Erklärungen für den Nicht-Techniker und kompakte Zusatzinformationen für den Techniker. Ergänzt wird das Ganze durch Diagramme und Bilder. „Ausführung L“ wäre zwar am interessantesten für alle Zielgruppen, doch die Ausführlichkeit geht zulasten des Umfangs und ist deshalb die zweite Wahl.

Der Leitfaden kann nicht jedes Detail behandeln, deshalb sind Links bzw. Verweise auf weiterführende Literatur bzw. ähnliche Untersuchungen nötig. So bekommt der besonders interessierte Leser Zusatzinformationen und er erkennt, dass sich noch andere mit den Themen des Leitfadens beschäftigen und es sich nicht um „Eintagsfliegen“ handelt.

## II Zusammensetzung des Hauptteils

Die Zusammensetzung des Hauptteils beeinflusst die Verständlichkeit des Leitfadens. In diesem Abschnitt gibt es Hinweise zur Struktur und den Aufbau des Hauptteils.

In der Matrix in Tabelle 9-4 stehen auf der linken Seite Kriterien die Einfluss auf die Verständlichkeit des Hauptteils nehmen. Als Beispiel werden vier Zusammensetzungen dargestellt, die sich darin unterscheiden, inwieweit die Kriterien beachtet werden oder auch nicht.

Die Beurteilung erfolgt mit den vier Merkmalen der Verständlichkeit. Ein Text ist lesenswert und verständlich, wenn die Beurteilung wie folgt ausfällt (Abbildung 9-6):

Einfachheit ++	Gliederung/Ordnung ++
0 oder + Kürze/Prägnanz	0 oder + Anregende Zusätze

Abbildung 9-6: Beurteilungsfenster für einen verständlichen Text<sup>44</sup>

Tabelle 9-4: Mögliche Zusammensetzung des Hauptteils

		Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
Elemente im Hauptteil	Hinweis am Anfang des Textes		X	X	X
	was <b>nicht</b> drin steht			X	X
	für wen gedacht		X	X	X
	Textstruktur				
	Durchlaufender Text	X	X		
	Unterteilung des Textes			X	X
	Sprachliche Formulierung				
	durchdachte Wortwahl			X	X
	durchdachte (kurze, einfache) Sätze		X	X	X
	Rücksicht auf das Vorwissen				
	Neues (Zusammenhänge, Wörter) wird erklärt		X	X	X
	innerhalb des Textes			X	X
	in extra Abschnitt				X
	in extra Kästchen				X
	im Anhang		X		
	Wie				
	einfache Erklärung		X	X	X
	Beispiel/Vergleich			X	X
	Bild/Grafik				X
	Beispiele als Beispiel gekennzeichnet, Hinweis als Hinweis usw. (Verwendung von Symbolen)			X	X
Hinweis auf weiterführende Literatur		X	X	X	
innerhalb des Textes					
am Ende des Abschnitts/Kapitels				X	
im Anhang		X	X	X	
Sanierungsorganigramm		X	X	X	
Merkmale der Verständlichkeit	++ und + stehen für eine positive Ausprägung des Merkmals; 0 für eine ausgewogene; - und -- für eine negative				
	Einfachheit	--	-	+	++
	Gliederung/Ordnung	--	-	+	++
	Kürze/Prägnanz	++	+	+	0
	Anregende Zusätze	--	-	-	0
<b>Fazit</b>		nicht lesbar	nicht gut lesbar	teilweise lesbar	<b>gut lesbar</b>

<sup>44</sup> Langer, Inghard; Schulz von Thun, Friedemann; Tausch, Reinhard: Sich verständlich ausdrücken; 8. Auflage; Seite 33; Regensburg; 2006

Zusammenfassend lässt sich sagen:

- Variante A beachtet keines der Kriterien und ist für den Leser nicht verständlich, denn auf ihn wird an keiner Stelle eingegangen.
- Die Varianten B und C gehen mehr auf den Leser ein, jedoch an einigen Stellen noch nicht weit genug. Diese Varianten eignen sich besser als Variante A, doch an einigen Stellen fehlt die Ausführlichkeit.
- Variante D ist für den Leitfaden zu bevorzugen, denn dort wird für den Leser geschrieben und ist damit die richtige Wahl für den Leitfaden. Die Beurteilung nach den Merkmalen der Verständlichkeit fällt so aus, dass der Text gut verständlich ist.

### III Verpacken der Leitfaden-Inhalte

Die meisten haben bestimmt schon ein hübsch verpacktes Geschenk überreicht oder auch selbst eins überreicht bekommen. Diesem Geschenk wird die ganze Aufmerksamkeit gewidmet. Zwar wird der Inhalt durch die Verpackung nicht wertvoller, aber es wird deutlich, da hat sich jemand Gedanken gemacht. Das lässt sich auch auf den Leitfaden übertragen. Ist die Verpackung/Darstellung der Inhalte durchdacht und wird gut präsentiert, schenkt der Leser dem Leitfaden seine Aufmerksamkeit und entscheidet sich vielleicht sogar für die Ideen, die in ihm stecken. Welche Möglichkeiten gibt es also, die Inhalte des Leitfadens in eine gefällige Form zu verpacken?

- Dem Leser wird eine in sich **abgeschlossene Geschichte** erzählt. Zum Beispiel kann die Vorgehensweise einer Sanierung aus der Sicht eines Verwaltungsangestellten von einem Bauamt erzählt werden. Denkbar ist auch, das Ganze aus der Sicht eines Schülers zu erzählen, der sich, seine Schulkameraden und seine Schule genau beobachtet und überlegt, was und wie es besser gemacht werden könnte.
- Der Leser wird von einem **Charakter** „an die Hand genommen“ und durch den Leitfaden geführt. Dabei wird an den verschiedenen (Schwach-) Stellen eines Schulgebäudes haltgemacht und die unterschiedlichsten Möglichkeiten zur Verbesserung unter die Lupe genommen.
- In dem **Bild eines Schulgebäudes bzw. Klassenraumes** gibt es unterschiedliche Darstellungen von Situationen bzw. Stationen. Jede einzelne Darstellung steht für ein bestimmtes Thema des Leitfadens und wird hervorgehoben, wenn mit dem Thema begonnen wird.
- Es wird ein „**Schaukampf inszeniert**“, dabei werden im Leitfaden kritische Fragen zu verschiedenen Themen gestellt, die alle überzeugend entkräftet werden.
- Zu dem Oberbegriff „Integrale Sanierung von Schulen“ werden **Themenschwerpunkte ermittelt**, die im Leitfaden beschrieben werden. Jeder Themenschwerpunkt bildet ein eigenes Kapitel mit Unterpunkten, zum Beispiel: *Aufgabe* (ergänzt durch ein Diagramm), *Lösung* (Systeme und Funktionsweisen) und *Kosten* (Investitions- und Betriebskosten). Das Ganze ist eingebettet in eine gute Struktur.

- Jedes Thema wird mit einem **Reiz** begonnen. Dies kann ein Bild sein, ein Zitat oder etwas, das die Aufmerksamkeit des Lesers auf dieses Thema lenkt. Der Reiz sensibilisiert und weckt Emotionen.
- Am Ende jedes Kapitels oder des gesamten Leitfadens gibt es eine **Checkliste** in der die wichtigsten Punkte (zum Beispiel mit Vorgehensweisen und prägnanten Zahlen) zusammengefasst werden. Der Leser kann diese für die eigene Sanierung nutzen und Punkte abhacken.

Diese Aufzählung lässt sich noch um viele Ideen erweitern. Doch auch so wird deutlich, wie unterschiedlich ein und derselbe Inhalt verpackt werden kann. Kombinationen von Ideen sind möglich. Wichtig ist, sich einmal festzulegen und dieser Festlegung im ganzen Leitfaden treu zu bleiben.

Eine Kombination verschiedener Ideen könnte folgendermaßen aussehen:

- Die **ermittelten Themenschwerpunkte** sind in einer guten, übersichtlichen Struktur eingebettet
- Das Thema wird durch das **Bild eines Klassenraumes** und der entsprechenden Hervorhebung eingeleitet. Dadurch bekommt der Leser direkt einen Blick, wie es sich im Klassenzimmer darstellt.
- **Unterpunkte** strukturieren jedes einzelne Thema:
  - Aufgabe – Einleiten mit dem Zitat eines „Betroffenen“ (hier: Schüler, Lehrer, Hausmeister, Direktor) oder einem aussagekräftigen Diagramm
  - Lösung – Vorstellung von Systemen und Funktionsweisen
  - Kosten – Aufführen Investitions- und Betriebskosten
- Es wird ein **Schaukampf** zu wichtigen bzw. schwierigen Fragen inszeniert um „heikle“ Punkte zu entkräften
- Am Ende des Leitfadens gibt es ein eventuell ein **Sanierungsorganigramm** in Posterformat (DIN A 3-Größe) als Übersicht für den Leser. Darin ist der Ablauf einer Sanierung dargestellt, was zu welchem Zeitpunkt geklärt sein sollte und wer bei den unterschiedlichen Phasen beteiligt ist.

### 9.3.2 Umsetzung des Leitfadens

Die Antworten der vorangegangenen Fragen aus Kapitel 9.3.1 bilden die Grundlagen für die Erstellung des Leitfadens. In dieser Arbeit kann die vollständige Fertigstellung des Leitfadens nicht dargestellt werden. Deshalb folgen in diesem Kapitel auszugsweise mögliche Beispiele.

### 9.3.3 Beispiel: Wie gibt man dem Leser Hinweise innerhalb des Leitfadens

Hinweise innerhalb des Leitfadens sind „kurze Mitteilungen, die auf etwas aufmerksam oder etwas anregen sollen“. <sup>45</sup> Eine Hervorhebung des Hinweises erhöht an dieser Stelle die Aufmerksamkeit. Anhand von zwei Hinweisen soll hier gezeigt werden, wie so etwas aussehen kann.

*Hinweis I:* Dieser soll klären, an wen sich der Leitfaden richtet. Hier sollen sich alle Beteiligten einer Sanierung wieder finden.

#### An wen richtet sich dieser Leitfaden?

Dieser Leitfaden richtet sich an Entscheider, Betreiber, Ausführende und Nutzer eines Schulgebäudes, das saniert werden soll.

Zu den Entscheidern und Betreibern zählen die politischen und pädagogischen Entscheidungsträger, bei denen handelt es sich sowohl um Politiker als auch Schulträger und Personen in den Ämtern, die für den Schulbereich verantwortlich sind.

Zusätzlich informiert der Leitfaden die Ausführenden (Bauunternehmer, Planer und Architekten), über den Stand der Technik hinaus, was bei einer Schulsanierung zu beachten ist.

Auch die Nutzer, also Lehrer und Schüler bzw. deren Eltern, sollen in diesem Leitfaden Informationen finden.

*Hinweis II:* Er gibt einen Hinweis für das Lesen des Leitfadens. (Gilt übrigens auch für dieses Kapitel.)

#### Hinweis für das Lesen des Leitfadens

Begriffe die *auf diese Weise* markiert sind, werden im hinteren Teil des Leitfadens, im Glossar (als Beispiel auf Seite 258), erklärt.

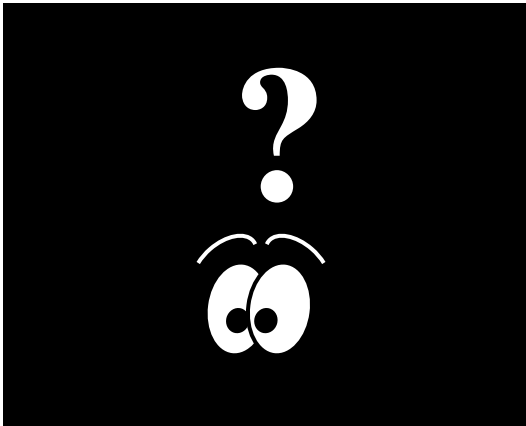
### 9.3.4 Beispiel: Themenschwerpunkt für den Leser festlegen und in eine Struktur einbetten

Es gibt viele Themeninhalte mit denen sich der fertige Leitfaden an den Leser richtet. Nachdem diese alle festgelegt sind, werden sie in einer Struktur eingebettet. Hier wird *auszugsweise* auf das Thema der **Beleuchtung** näher eingegangen. (Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, denn die Inhalte und auch die Darstellung sind mit allen Projektbeteiligten abzusprechen.)

---

<sup>45</sup> Duden: Das Bedeutungswörterbuch; Dudenredaktion; Mannheim, Leipzig, Wien; Seite 481; 2005

## Beleuchtung



Ohne die passende Beleuchtung stehen Schüler und Lehrer ganz schnell im Dunkeln.

### Aufgabe

*„Um es Menschen zu ermöglichen, **Sehaufgaben** effektiv und genau durchzuführen, sollte eine geeignete und angemessene Beleuchtung vorgesehen werden. Diese Beleuchtung kann durch Tageslicht, künstliche Beleuchtung oder eine Kombination von beiden erzeugt werden.“*<sup>46</sup> Die Beleuchtung nimmt Einfluss auf das Wohlbefinden, die Produktivität und das Sicherheitsempfinden des Menschen. Besonders Tageslicht fördert diese positiven Eigenschaften. Schlecht beleuchtete Räume führen zu Unbehagen, Kopfschmerzen und Ermüdungen.

### Anforderungen

Ein Klassenraum mit einer guten Beleuchtung weist die Merkmale und Maßnahmen aus Tabelle 9-5 auf:

---

<sup>46</sup> DIN EN 12464 Teil 1: Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutschland; Seite 3; März 2007

Tabelle 9-5: Merkmale und Maßnahmen für eine gute Beleuchtung in Klassenräumen <sup>47</sup>

Merkmale	Maßnahme	
<b>Tageslicht</b> übernimmt wenn möglich, ganz oder teilweise die Beleuchtung der Sehaufgabe.	Versorgung mit Tageslicht durch ein- oder mehrseitige Fenster bzw. Oberlichter, Außenfenster, Lichtkuppeln oder über benachbarte Gebäudebereiche.	
<b>Beleuchtungsstärke E</b> [lux] ist passend für die Sehaufgabe bzw. die zu verrichtende Arbeit gewählt.	<b>Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit</b>	
	Unterrichtsraum in Grund- und weiterführenden Schulen	$\bar{E}_m^*$ 300 lx
	Unterrichtsraum für Abendklassen und Erwachsenenbildung	500 lx
	Wandtafel	500 lx
	Bildschirmarbeitsplatz <sup>48</sup>	500 lx
	* $\bar{E}_m$ = Wartungswert der Beleuchtungsstärke („Wert, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht sinken darf.“) <sup>49</sup>	
Verteilung der <b>Leuchtdichte</b> ist ausgewogen.	Eine geeignete Anordnung von Beleuchtung und Arbeitsplätzen begünstigt eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung. „Leuchtdichte ist das, was der Mensch als Helligkeit wahrnimmt.“ <sup>50</sup>	
Blendungen und Reflexionen sind begrenzt.	Blendungen werden von hellen Flächen, zu helle Leuchten oder dem Fenster (Sonne) hervorgerufen und lassen sich durch die Wahl geeigneter (matter) Oberflächen, abgeschirmter Lampen und einem Sonnenschutz begrenzen.	
<b>Lichtrichtung</b> (direkt bzw. indirekt) ist der Aufgabe und Funktion angepasst.	Das Licht ist so zu richten, „dass Form und Oberflächenstrukturen deutlich und auf angenehme Weise erkennbar sind.“ <sup>51</sup>	
<b>Lichtfarbe</b> ist passend gewählt und die Farbwiedergabe ist möglichst wirklichkeitsgetreu.	Bei der Lichtfarbe der Lampen werden in warmen Klimazonen höhere (Tageslichtweiß bzw. Neutralweiß) und in kalten eher niedrigere (Neutralweiß bzw. Warmweiß) Farbtemperaturen gewählt. Die Farbwiedergabe ist möglichst wirklichkeitsgetreu, der Farbwiedergabe-Index ( $R_a$ ) beträgt 80. Anhand $R_a$ lässt sich die Qualität der Farbwiedergabe darstellen.	
Das <b>Beleuchtungssystem</b> ist so ausgelegt, dass Flimmern vermieden wird.	Mit gleichspannungsversorgten Glühlampen oder den Betrieb von Glüh- oder Entladungslampen mit hohen Frequenzen (ca. 30 kHz) lassen sich solche	

<sup>47</sup> DIN EN 12464 Teil 1: Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutschland; März 2007

<sup>48</sup> DIN 5035 Teil 7: Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen; Deutschland; August 2004

<sup>49</sup> DIN EN 12464 Teil 1: Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutschland; Seite 5; März 2007

<sup>50</sup> Wikipedia: Die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdichte>; 08.05.2009

<sup>51</sup> DIN EN 12464 Teil 1: Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutschland; Seite 9; März 2007



### 9.3.4.1 Lösungen

Da Tageslicht das Wohlbefinden des Menschen fördert, wird es mit in das Lichtkonzept einbezogen. Aufgrund der Forderungen der DIN V 18599 ist auch der energetische Aspekt nicht zu vernachlässigen. Teil 4 der Vornorm beschäftigt sich konkret mit dem Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung. Für die intensive Nutzung von Tageslicht zur Beleuchtung und zum Energieeinsparen ist eine durchdachte Gesamtlösung nötig. Die entscheidenden Faktoren sind: „*Raumproportionen, Fassade, Innenausbau, künstliche Beleuchtung sowie Kontrolle der Tages- und Kunstlichtsysteme.*“<sup>52</sup>

### 9.3.4.2 Ergänzende Informationen

#### Richtlinien

- **DIN EN 12464 Teil 1, Ausgabe März 2003:** „*Licht und Beleuchtung; Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*“  
Festgelegt werden in dieser europäischen Norm die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen, mit Blick auf Sehleistung und Komfort. Dabei werden alle Sehaufgaben berücksichtigt, auch die am Bildschirm.
- **DIN 5035 Teil 6, Ausgabe November 2006:** „*Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 6: Messung und Bewertung*“  
Diese Norm enthält Angaben für die Messung und Bewertung von künstlicher Beleuchtung in Innenräumen und von Flächen im Freien.
- **DIN 5035 Teil 7, Ausgabe August 2007:** „*Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen*“  
„*Diese Norm enthält Anforderungen an Leuchten sowie Empfehlungen für die Planung und den Betrieb der Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen.*“<sup>53</sup>
- **DIN V 18599 Teil 4, Ausgabe Februar 2007:** „*Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung*“  
Diese *Vornorm* legt „das Nachweisverfahren zur Ermittlung des monatlichen und jährlichen Endenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke in Nichtwohngebäuden“ fest.<sup>54</sup>

<sup>52</sup> BINE Informationsdienst: Themeninfo I/05; Tageslichtnutzung in Gebäuden; Deutschland; 2005; [http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I\\_2005/themen0105internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I_2005/themen0105internetx.pdf)

<sup>53</sup> DIN 5035 Teil 7: Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen; Deutschland; Seite 6; August 2004

<sup>54</sup> DIN V 18599 Teil 4: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung; Deutschland; Seite 10; Februar 2007

### Weitere Veröffentlichungen (stehen im Internet kostenlos zur Verfügung)

- **BINE Informationsdienst** ([www.bine.info](http://www.bine.info)) zum Beispiel in der Themeninfo I/05 „Tageslichtnutzung in Gebäuden“ oder in der Themeninfo I/06 „Gebäude sanieren – Schulen“  
[http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I\\_2005/themen0105internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I_2005/themen0105internetx.pdf)  
[http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I\\_2006/themen0106internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I_2006/themen0106internetx.pdf)
- **Fördergemeinschaft „Gutes Licht“** ([www.licht.de](http://www.licht.de)) ist eine Initiative von über 120 Unternehmen der Leuchten- und Lampenindustrie, die herstellerneutral informieren, zum Beispiel in Heft 2 „Gutes Licht für Schulen und Bildungsstätten“ der Schriftenreihe „licht.wissen“.  
<http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/h02.pdf>
- **Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e. V. (ZVEI)** ist ein Interessenverband der Elektroindustrie und ist unterteilt in unterschiedliche Fachverbände. Bei dem Verband „Elektroleuchten“ steht der „ZVEI-Leitfaden zur DIN EN 12464-1“ zum Download zur Verfügung:  
[https://www.zvei.org/index.php?id=87&no\\_cache=1&tx\\_ZVEIpubFachverbaende\\_pi1\[realId\]=566](https://www.zvei.org/index.php?id=87&no_cache=1&tx_ZVEIpubFachverbaende_pi1[realId]=566).

### 9.3.5 Beispiel: Wie können dem Leser Funktionsweisen näher gebracht werden?

Diese Erklärung soll allen Lesern näher bringen, wie eine bestimmte Sache funktioniert. Er soll verstehen was zum Beispiel in einer Anlage oder bei bestimmten Abläufen passiert und warum. So soll dem Leser der Schrecken vor dem „großen Unbekannten“ genommen werden. Hier wurde als Beispiel die Erklärung von PCM ausgewählt.

## Was ist PCM?

Bei PCM (Phase Change Material, deutsch: Phasenübergangsmaterial) handelt es sich um Salze oder Paraffine, die die Eigenschaft besitzen Wärme bzw. Kälte verlustarm zu speichern.

### Funktion

Bei der Speicherung von Wärme ändert sich der Zustand des Materials von fest in flüssig. Dieser Phasenübergang beginnt bei der Erreichung der Schmelztemperatur. Bis das Material vollständig geschmolzen ist, bleibt die Temperatur konstant. Die Wärme, die während des Phasenübergangs gespeichert wird, nennt sich latente Wärme (Kühlfall). Nach dem Schmelzen steigt die Temperatur weiter an. Dieser Anstieg ist fühlbar und nennt sich Wärme (Heizfall).

Beim Unterschreiten einer bestimmten Temperatur beginnt das Material sich wieder zu verfestigen. Bei diesem Vorgang wird die latente Wärme freigesetzt, solange bis das Material vollständig fest ist. Auch während dieses Phasenüberganges bleibt die Temperatur konstant.

Dieser Auflade- und Entladevorgang des PCM kann beliebig oft wiederholt werden. Wichtig dafür ist jedoch die Regeneration des Materials. Das bedeutet für den Kühlfall, dass das flüssige PCM die Wärme wieder abgeben muss, indem es z. B. mit kühler Nachtluft gekühlt wird. Für den Heizfall muss das feste PCM durch zugeführte Wärme wieder verflüssigt werden. Sonst funktioniert das PCM nur genau einmal.

### EINSATZ VON PCM IN GEBÄUDEN

- Zusätzliche Speichermasse in Wänden und Decken für ein behaglicheres Raumklima:  
Abbildung 9-7 vergleicht die Schichtdicken von unterschiedlichen Materialien bei gleicher Wärmeaufnahme und Temperaturerhöhung (hier 5700 kJ und 10 K), mit dem PCM „Delta-Cool“.
- In Warmwasserspeichern zur Erhöhung der Speicherkapazität
- Zur Kühlung in Klimaanlage
- Zur Kühlung in dezentralen Lüftungsgeräten

### ANBIETER

Dörken www.doerken.de	PCM in Aluminiumverbundbeuteln und Element für die Glasfassade
SGL Group www.ecophit.de	PCM/Grafit-Verbundmaterialien wie Pulver, Granulat, Folien, Platten und Leichtbauplatten
BASF www.micronal.de	PCM Gips-Maschinenputz, Kühldeckensegel, Porenbetonblock

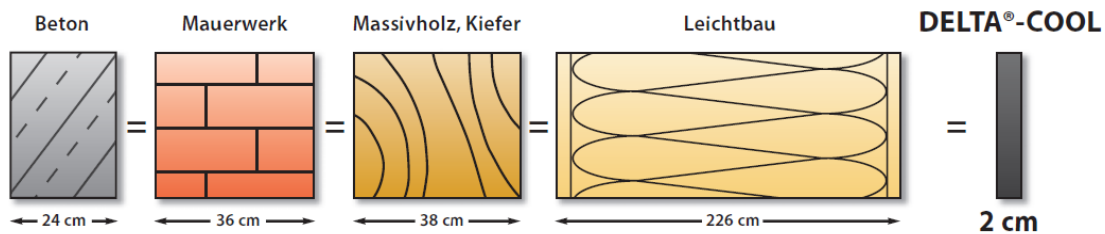


Abbildung 9-7: Vergleich von Schichtdicken unterschiedlicher Materialien bei gleicher Kapazität der Wärmespeicherung (5.700 kJ/ Temperaturerhöhung um 10 °C)<sup>55</sup>

<sup>55</sup> Firma Dörken, <http://www.doerken.de/bvf-de/pdf/prospekt/Cool.pdf>, Stand: März 2010

### 9.3.6 Beispiel: Wie kann ein Glossar im fertigen Leitfaden aussehen?

In einem Glossar werden Wörter aus dem Dokument erklärt, die dem Nicht-Techniker nicht bekannt sind oder für ihn eine andere Bedeutung haben könnten. Hier werden Wörter aus den drei vorherigen Beispielen genommen.

#### **Beleuchtungsstärke $E$**

Einheitenzeichen:  $lx = lm/m^2$  ( $lm$  – Lumen)

Einheitenname: lux

Definition:

*Beleuchtungsstärke = Lichtstrom/Fläche*

Die Beleuchtungsstärke erfasst den Lichtstrom (Leistung des Lichtes) *auf einer Fläche*. Sie ist abhängig von der Helligkeit und der Entfernung zwischen Lichtquelle und Fläche. Je größer der Abstand ist, desto kleiner wird die Beleuchtungsstärke.

#### **Leuchtdichte $L$**

Einheitenzeichen:  $cd/m^2$

Einheitenname:  $cd$  – Candela

Definition:

*Leuchtdichte = Lichtstärke/Fläche*

Die Leuchtdichte ist das Maß für Helligkeit und erfasst die Lichtstärke, die *von einer (Ober-) Fläche* ausgeht. Das Licht kann von der Fläche ausgehen (Leuchten bzw. Lampen), von ihr durchgelassen oder von einer Oberfläche reflektiert werden.

#### **Sehaufgabe**

Umschreibt die Aufgabe, die mithilfe des Sehens erfüllt werden soll. Wesentlich dafür sind, „die Größe des zu erkennenden Objektes, dessen Leuchtdichte, dessen Kontrast gegenüber dem Hintergrund und dessen Darbietungsdauer“. Je schwieriger die Sehaufgabe, desto höher muss das Niveau der Beleuchtung sein.

## 9.4 Was sonst noch zu beachten ist

In diesem Kapitel gibt es noch Anregungen zu unterschiedlichen Themen für die Erstellung und Veröffentlichung des Leitfadens.

### 9.4.1 Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte

Aufgrund des wissenschaftlichen Anspruchs des Leitfadens gibt es Bezüge und Belege aus anderen Untersuchungen. So lassen sich zum Beispiel unnötige Versuchs-Wiederholungen vermeiden und es gibt Ansätze aus Untersuchungen, an denen angeknüpft werden kann. Bei der Verwendung solcher Inhalte und Inhalte aus anderen Formaten sind bestimmte Grundsätze zu beachten. Diese regelt das „Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte“, kurz Urheberrechtsgesetz (UrhG), es befasst sich mit urheberrechtlich geschützten Werken.

Das Urheberrechtsgesetz regelt den Umgang mit fremden Werken. So gewährt es nach § 1 allen Schöpfern (Urhebern) *„von Werken der Literatur, Wissenschaft und Kunst für ihre Werke Schutz nach Maßgabe dieses Gesetzes.“*

Der § 2 enthält die zu schützenden Werke: *„1. Sprachwerke, wie Schriftwerke, Reden und Computerprogramme; ... 7. Darstellungen wissenschaftlicher oder technischer Art, wie Zeichnungen, Pläne, Karten, Skizzen, Tabellen und plastische Darstellungen.“* Bei Werken nach diesem Gesetz handelt es sich nur um *„persönliche und geistige Schöpfungen“* (§ 2, Abs. 2). Es gilt nach § 12 Abs. 1: *„Der Urheber hat das Recht zu bestimmen, ob und wie sein Werk zu veröffentlichen ist.“* Zudem hat er das Recht über die Verwertung (Vervielfältigung, Verbreitung) seines Werkes (§ 15). Räumt er anderen Nutzungsrechte ein, so steht ihm eine angemessene Vergütung zu (§ 32). Verletzungen des Urheberrechts können strafrechtliche und zivilrechtliche Konsequenzen nach sich ziehen (ab § 97).

Die hier aufgeführten Paragraphen gelten vor allem für vollständige Werke und sind natürlich auch für den an der Fachhochschule erstellten Leitfaden gültig. Auf den Umgang mit Zitaten und Lichtbildern gehen die folgenden Abschnitte ein.

#### 9.4.1.1 Zitat

Das Wort „Zitat“ leitet sich von dem lateinischen „citare“ (= herbeirufen) ab. Dabei handelt es sich um eine Textstelle, die einem anderen Text entnommen wurde. So ist laut § 51 des UrhG die Nutzung von Zitaten zulässig, wenn es den Inhalt des eigenen Dokumentes erläutert und die genaue Stelle angeführt wird, an der es entnommen wurde (Quellenangaben). Der entnommene Text entspricht äußerlich und inhaltlich dem Originaltext und ist mit Anführungszeichen gekennzeichnet. Für Zitate ist keine Erlaubnis des Urhebers notwendig und eine Vergütung ist auch nicht zu zahlen.

Jede Quellenangabe aus einem Buch enthält:

1. Vorname des Verfassers
2. Familienname des Verfassers
3. Titel des Buches
4. Auflage des Buches
5. Verlagsort
6. Verlagsjahr
7. Seitenangabe

Dies lässt sich auch auf Zeitschriften, Zeitungsartikel und Sammelwerke übertragen.

Werden fremde Äußerungen frei wiedergegeben, sind sie durch den Namen des Autors und/oder Anmerkungen kenntlich zu machen. Diese können zum Beispiel sein: „in Anlehnung an“, „singgemäß nach“, „vgl. hierzu ...“.

#### **9.4.1.2 Fotos**

Auch für Fotos gilt das Urheberrechtsgesetz (§ 72 UrhG) und damit die in Abschnitt 9.4.1 (Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte) beschriebenen Bedingungen.

### **9.4.2 Deutsche Rechtschreibung**

Der Leitfaden wird in deutscher Sprache verfasst. In den letzten Jahren gab es einige Änderungen der deutschen Rechtschreibung, am 01.08.2006 traten die letzten Änderungen der Rechtschreibreform in Kraft. An Schulen und für die deutsche Bundesverwaltung ist diese verbindlich. Auch wenn die Mehrheit der deutschen Bürger diese Reform nicht befürwortet, empfiehlt es sich für den Leitfaden die neue Rechtschreibung zu verwenden. Denn hierbei handelt es sich um ein Dokument, welches veröffentlicht wird und den Charakter von Neuem vermitteln soll, also auch den der Rechtschreibung. Einen Überblick über die Neueregulungen der Rechtschreibung liefert unter anderem der „Sprachreport, Extra-Ausgabe Juli 2006“, siehe auch:

<http://www.ids-mannheim.de/pub/laufend/sprachreport/pdf/sr06-extra.pdf>

### **9.4.3 DIN 5008**

Die DIN 5008 „*Schreib- und Gestaltungsregeln für die Textverarbeitung*“ (Mai 2005) ist eine wichtige Norm für das Arbeiten im Büro- und Verwaltungsbereich. Sie legt fest, wie Schriftzeichen darzustellen und anzuwenden sind, um eine leichte und eindeutige Lesbarkeit zu sichern. Außerdem enthält sie Gestaltungsvorschriften, um Schriftstücke zweckmäßig und übersichtlich gestalten zu können (z. B. Beschriftung von Briefblättern). Das erleichtert unter anderem Texteingaben, Verarbeitung von Informationen und die Übertragung zwischen verschiedenen Geräten.

Für den Leitfaden ist die Darstellung und Anwendung von Schriftzeichen wichtig. Tabelle 9-6 zeigt einen Auszug von Schriftzeichen aus der DIN 5008 anhand einiger Beispiele.

Tabelle 9-6: Auszug von Schriftzeichen aus der DIN 5008 mit ausgewählten Beispielen<sup>56</sup>

Angaben aus DIN 5008	Beispiele aus DIN 5008
Worttrennung durch Mittestrich (Worttrennungsstrich)	Versicherungs- gesellschaft ...
Koppelung und Aneinanderreihung durch Mittestrich (Bindestrich)	Druck-Erzeugnisse öffentlich-rechtlich 8-mal der 25-Jährige
Abkürzungen	evtl. z. B.
Währungsbezeichnungen	270,00 EUR oder EUR 270,00 270,00 € oder € 270,00
Schriftzeichen für Wörter	Die §§ 38 bis 44 HGB sind ... Hans Müller & Söhne 09:30 – 13:30 Uhr
Rechenzeichen	19 – 21 = -2 a · b = ab
Prozent- und Promillezeichen	2 % Skonto
Zahlengliederungen und Zahlen- aufstellungen	46 647 468,25 103 500 Einwohner 846.647.468,25 EUR
Größenangaben und Formeln	10 m/s -20 °C 12° 6' 10''

#### 9.4.4 Informationen aus eigener Hand anbieten

Der Leitfaden und die enthaltenen Informationen lassen sich durch zusätzlich angebotene Medien abrunden. Diese wecken Neugierde, geben einen Überblick und vertiefen bzw. ergänzen Angaben aus dem Leitfaden. Tabelle 9-7 zeigt in einer Übersicht welche Medien sich für bestimmte Informationen anbieten.

<sup>56</sup> DIN 5008: Schreib- und Gestaltungsregeln für die Textverarbeitung; Deutschland; Mai 2005

Tabelle 9-7: Medien um Informationen aus eigener Hand anzubieten

Neugierde wecken	Informationen um einen Überblick zu erhalten	Vertiefende Informationen
Zeitungsartikel	Zeitungsartikel	Artikel in Fachzeitschrift
Flyer	Artikel in Fachzeitschrift	Internetseite
	Internetseite	Audiodateien
	Audiodateien	Symposium
	Symposium	

Im Folgenden gibt es zu den einzelnen Medien kurze Beschreibungen.

**Zeitungsartikel:** Hiermit sind Artikel in Tageszeitungen bzw. auf Internetseiten gemeint, die sich an eine breite Leserschaft richten. Im Vordergrund steht ein verständlicher Text, der Neugierde für das Thema bzw. Projekt weckt und sich an Nicht-Techniker richtet. Technische Details stehen im Hintergrund. Natürlich findet der Leser Hinweise auf weitere Informationen, wie zum Beispiel Bezugsquellen, Internetadressen oder direkte Ansprechpartner.

In Zeitungen, die sich speziell an Techniker bzw. Ingenieure richten (zum Beispiel VDI Nachrichten), fallen die Artikel in der Regel technischer und detaillierter aus.

Grafische Elemente lockern jeden Artikel auf und helfen den Inhalt verständlicher zu machen. Dazu zählen unter anderem Bilder, Grafiken, Funktionsschemen oder Tabellen.

Um Zeitungsredaktionen bzw. Journalisten auf das Projekt aufmerksam zu machen, sind Pressemitteilungen hilfreich. Anhand der darin enthaltenen Informationen wird in der Redaktion entschieden, ob über das Thema ein Artikel verfasst werden soll. Eine gut erstellte Pressemitteilung kann der Anstoß zu einem guten Artikel sein, der eine breite Bevölkerung auf das Thema aufmerksam macht.

**Artikel in Fachzeitschriften:** Diese richten sich an ein Fachpublikum, entsprechend können solche Artikel detaillierte technische Informationen und Fachtermini enthalten und auch umfangreicher sein.

**Flyer:** Deren Vorteil liegt darin, dass der Leser schnelle, kompakte und ausgewählte Informationen erhält und Neugierde für den Leitfaden geweckt werden kann. Dabei gibt es vielfältige Möglichkeiten die Inhalte des Leitfadens aufzubereiten, zum Beispiel:

- Kurzfassung/Abstract
- Übersicht über den Leitfaden bzw. das Projekt
- Übersicht über jedes wichtige Thema des Leitfadens (Lebenszykluskosten, Raumluftqualität, Temperierung usw.)
- Antworten auf verschiedene Fragestellung, wie zum Beispiel: „Was ist bei einer Schulsanierung zu beachten?“ oder „Welche Vorteile hat eine integrale Sanierung?“
- Anbieterverzeichnis

Ein Flyer ist auch dafür gedacht, um einem Leser etwas an die Hand zu geben, damit er andere informieren kann. So kann der Flyer zum Beispiel als Vorlage für einen Kollegen oder als Diskussionsgrundlage dienen.



Schwieriger ist die Frage, wie und wo werden die Flyer ausgegeben. Gut eignen sich dafür natürlich Vortragsveranstaltungen und Messen. Doch diese werden nur begrenzt veranstaltet. Denkbar ist auch die Verteilung an Behörden, welche die Flyer bei einer Schulsanierung den beteiligten Architekten und Fachplanern aushändigen. Zusätzlich sollte in anderen Medien auf die Flyer aufmerksam gemacht und die Möglichkeit geboten werden, diese im Internet herunterzuladen.

**Internetseite:** Es ist davon auszugehen, dass heutzutage jeder Arbeitsplatz über einen Internetzugang verfügt und dieser auch für Recherchen genutzt wird. Aus diesem Grund sollte der Leitfaden auf jeden Fall im Internet als Download zur Verfügung stehen. Darüber hinaus ist zu überlegen, weitere und vertiefende Informationen, die nicht im Leitfaden stehen, zur Verfügung zu stellen. Es kann sich zum Beispiel um Verweise, Messprotokolle, Versuchsaufbauten, Tool zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Konzentration, einen FAQ (Frequently Asked Questions, häufig gestellte Fragen) zum Thema usw. handeln. Ein gut erstellter Internetauftritt in attraktivem Design (mit einer gut sortierten Datenbank) wirkt professionell, erfordert jedoch Arbeit und muss über die Erstellung hinaus gepflegt werden. Sollte Interesse an einem professionell erstellten Internetauftritt bestehen, kann zusätzlich über eine andere Art der Informationsvermittlung nachgedacht werden. Heutige Technik ermöglicht unter anderem die Bereitstellung von Video- oder Audiostreams. Dort lassen sich zum Beispiel Fach-Vorträge, Interviews und Kommentare von Fachleuten und Nutzern (als Negativ-Beispiel, zum Wachrütteln oder Positiv-Beispiele zum Bestärken) aufrufen.

**Symposium:** Hierbei handelt es sich um eine Vortragsveranstaltung, die sich in diesem Fall mit der integralen Sanierung von Schulen beschäftigt. Dazu werden Menschen aus unterschiedlichen Bereichen der Schulsanierung eingeladen. Es bietet die Möglichkeit, Interessierte direkt anzusprechen. Sie erhalten einen Überblick über das Thema und zudem vertiefende Einblicke aus erster Hand. Außerdem besteht vor Ort die Möglichkeit, in Diskussionen direkt Fragen zu stellen. Auch der Austausch der Teilnehmer untereinander ist wichtig, um das Gehörte zu erläutern und zu festigen.

#### 9.4.5 Einbindung der Schulgemeinschaft

Bei der Erstellung des Leitfadens gibt es eine Gruppe, der besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Dabei handelt es sich um die Hauptnutzer eines Schulgebäudes: Schüler und Lehrer. Zwar richtet sich der Leitfaden nicht speziell an sie, doch sollen sie bei einer Sanierung erfahren, was mit ihrem Gebäude passiert und aus welchem Grund. Das fördert die Akzeptanz für solch eine Sanierung und das fertig erstellte Gebäude.

Um das zu erreichen, sind frühzeitige Gespräche mit dem Schuldirektor notwendig. Er muss in die Schulsanierung und das Konzept einbezogen und dafür motiviert werden. Das fördert die Zusammenarbeit und davon profitieren alle Beteiligten. Der Direktor stimmt die Lehrer darauf ein, aus der Sanierung und den Zielen kein Geheimnis zu machen. Im Unterricht werden die Sanierung und die Komfortsteigerung thematisiert und eingebunden, um es den Schülern zugänglich zu machen.

Hat der Schuldirektor hingegen den Eindruck, dass über seinen Kopf hinweg entschieden wird, kann das zum gegenteiligen Effekt führen. Dies darf auf keinen Fall geschehen, denn verfestigt sich der negative Eindruck, ist an eine erfolgreiche Zusammenarbeit nicht mehr zu denken. Die entstandenen negativen Gefühle übertragen sich auf Lehrer und Schüler und

das Sanierungskonzept erzielt nicht den gewünschten Erfolg. Deshalb ist es wichtig, dass alle an einem Strang ziehen.

Ebenso müssen die Schüler erreicht und sensibilisiert werden, denn sie wirken als Multiplikator. Lernen und leben sie in der Schule zum Beispiel den verantwortungsvollen Umgang mit Energie, so nehmen sie es mit und leben es in ihrem Elternhaus und im weiteren Lebensverlauf. Um das zu erreichen, eignet es sich am besten, den Umgang mit Energie und Komfortsteigerung in den Unterricht einzubinden. Je aktiver und eindrucksvoller dies geschieht, desto höher wird die Akzeptanz sein.

Zudem ist zu überlegen, die ganze Schulgemeinschaft zusätzlich zu motivieren, zum Beispiel Energie-Einsparungen auf einer Schautafel und der schuleigenen Internetseite zu veröffentlichen. Noch reizvoller wäre es, die Schule zusätzlich an den finanziellen Einsparungen zu beteiligen oder einen Energie-Spar-Wettbewerb zwischen verschiedenen Schulen auszurufen. Denkbar ist auch, eine Energie-Spar-AG einzurichten oder Energie-Detektive „auszubilden“.

Zusätzliche Informationen für Schulen um den Umgang mit Energie zu lehren enthält zum Beispiel die Broschüre der Europäischen Kommission „Energiekunde in der Schule – Unterricht für die Energieverbraucher von morgen“, siehe auch:

[http://ec.europa.eu/energy/action\\_plan\\_energy\\_efficiency/doc/education\\_de.p](http://ec.europa.eu/energy/action_plan_energy_efficiency/doc/education_de.p)

Ein wichtiges Mitglied der Schulgemeinschaft fehlt noch, der Hausmeister. Auch er ist von Beginn an mit einzubeziehen. Er kennt sich in dem Schulgebäude aus und kann zum Beispiel hilfreiche Tipps zum Gebäude und zur Betriebsweise der Haustechnik geben. Seine Aufgabe ist es, für den ordnungsgemäßen Betrieb der Haustechnik zu sorgen, auch nach der Sanierung. Deshalb ist es besonders wichtig ihn für die Sache zu gewinnen, indem er informiert und motiviert wird.



## Fazit

Das Ziel einen Leitfaden für die integrale Sanierung von Schulen auf der Basis konkret durchgeführter Sanierungsmaßnahmen zu erarbeiten, konnte vollumfänglich erreicht werden.

Auf der Basis umfangreicher Detailuntersuchungen an zwei konkret zu sanierenden Schulen, sowie einer Auswertung von vorliegenden Informationen weiterer Schulen aus der Trägerschaft des Bewilligungsempfängers und Kommunen, konnte der aktuelle Trend der Entwicklungsrichtung beim Energiebedarf verschiedener Schulformen ermittelt werden. Dabei muss angemerkt werden, dass die Qualität der zur Verfügung stehenden Daten aus dem Bestandsaufzeichnungen der Träger gleichermaßen niedrig, wie statistisch nur schwer auswertbar ist. Die erzielbare Qualität und der damit verbundene Informationsgehalt der statistischen Auswertung liegt weit unter dem erreichbaren Informationsgehalt aus der Analyse des aktuellen Standes der Technik allgemein und der wie in diesem Vorhaben ursprünglich durchgeführten ausschließlichen Analyse konkreter Projekte.

Als wohl wichtigste Erkenntnis aus dem Projekt ergibt sich die Forderung nach einem projektspezifischen und integralen Sanierungskonzept über alle relevanten Gewerke eines Schulgebäudes. Dabei wurden in diesem Vorhaben primär die Gebäudehülle, die messtechnische Ausstattung sowie die Heizungs- und Kältetechnik unter dem Aspekt der gegenseitigen Beeinflussung behandelt.

Haupterkennnis hierbei ist die Einführung möglichst flächiger Heiz- und Kühlsysteme. Diese eignen sich gleichermaßen für den Sanierungs- wie Neubaufall und sind durch ökologisch und ökonomisch günstige Betriebsparameter gekennzeichnet. Einerseits eignen sie sich vorzüglich für den Einsatz von Heiz- und Kühlsystemen auf der Basis regenerativer Energien, andererseits garantieren sie auch bei herkömmlicher Technik hohe Effizienz. Flächiges Heizen und Kühlen garantiert somit auch die Absicherung im Bezug auf die Energiequellen, damit sanierte Schule auch noch in 30 Jahren wirtschaftlich beheizt und oder gekühlt werden können.

Die in der aktuellen Fachwelt teils kontrovers geführte Diskussion bezüglich der Außenluftversorgung konnte in den Untersuchungen nicht nachvollzogen werden. Die aktuellen Regelwerke (DIN EN 13779 und DIN EN 15251) schreiben eine kontrollierte Außenluftversorgung zwingend vor. Ebenfalls bestätigt durch Messungen in diesem Projekt, zeigt die freie Fensterlüftung keine garantiert ausreichende Sauerstoffversorgung und CO<sub>2</sub>-Abfuhr. Die Raumluftqualität ist ohne maschinelle Lüftung unzureichend und schließt vor allem in den Wintermonaten effektives Lernen und Lehren aus. Die hier aufgezeigten Lösungsansätze können in den zukünftigen Anwendungsfällen abgewandelt werden, sind aber zwingende Voraussetzung, um den durch die Sanierung angestrebten minimierten Energiebedarf zu erreichen, da nur mit einer maschinellen Lüftung auch Wärmerückgewinnung möglich wird.

Die zuvor aufgeführten Ansätze lassen sich auch unter Berücksichtigung weiterer Randbedingungen erfolgreich umsetzen. So wurde die Raumakustik ebenso untersucht wie die Ausleuchtung der Klassenräume. Vorgaben aus beiden Bereichen können bei flächigen Lösungsansätzen berücksichtigt werden.

Neben der Forderung nach ausreichender Außenluftversorgung und Wärme ergeben sich aber auch, wie in dieser Untersuchung ausführlich aufgezeigt, Anforderungen an die Kühlung der zukünftigen Klassenräume. Hohe Personenlasten in Verbindung mit Wärmelasten aus der Beleuchtung, EDV und der Sonneneinstrahlung, ergeben bei Einhaltung des jeweils aktuellen EnEV-Standards, für einen großen Zeitraum der Schulzeit einen Kühlfall. In dieser Un-

tersuchung wurden effiziente Systeme für diesen Fall entwickelt, die sich neben niedrigsten Betriebs- und Wartungskosten vor allem durch höchste Kühlleistung auszeichnen.

Neben den ganz allgemein gültigen Aussagen im Leitfaden in Bezug auf Schulsanierungen muss darauf hingewiesen werden, dass jede Schule individuell zu betrachten ist. Zustand des Baukörpers, langfristiges Nutzungsprofil, Anforderung des Lehrpersonals und der Schulleitung ergeben durchaus unterschiedliche Lösungsvarianten im Umfeld der flächigen Heizung und Kühlung in Verbindung mit einer zentralen oder dezentralen Belüftungstechnik.

Aus den Erkenntnissen dieses Vorhabens ergeben sich mehrere Ansätze, die in zukünftigen Projekten berücksichtigt bzw. untersucht werden sollten.

Die meisten Träger besitzen keine detaillierten Informationen über den tatsächlichen Energieverbrauch und den Sanierungszustand ihrer Gebäude. Ein effektives Herangehen bzw. ein Setzen von Prioritäten bei der Sanierung, auch mehrerer Gebäude, wird dadurch nur schlecht möglich. Hier ist ein effizientes und gleichermaßen einfaches EDV-System anzudenken, das diese Informationen sammelt, auswertet und direkt Schwachpunkte bzw. Ansatzstellen für Verbesserungen und Energieeinsparmaßnahmen aufzeigt.

Bei der Entwicklung von Lüftungskonzepten ergeben sich brandschutztechnische Probleme, für die noch Komponenten zu entwickeln sind.

Der Frage nach dezentraler oder zentraler Lüftungstechnik kommt vor dem Hintergrund der Wartungs- und Betriebskosten eine sehr hohe Bedeutung zu. Hier muss die Frage gestellt werden, ob sich vor dem Hintergrund der in Deutschland benötigten Anzahl von Geräten, tatsächlich ein Standardgerät aus der Industrie eignet, oder ob nicht im Rahmen eines Forschungsprojektes ein für schulische Zwecke optimales Gerät entwickelt und anschließend vom Markt gefordert wird?

Ein weiterer Ansatz weiterführender Untersuchungen ist die Evaluation und das Monitoring der durchgeführten Sanierungen. Oft werden Projekte durchgeführt und mit der Übergabe des betriebsbereiten Gebäudes geraten diese in Vergessenheit. Die Frage, ob die ursprünglichen Ziele erreicht wurden, welche neuen Erkenntnisse im Betrieb gewonnen wurden usw. wird nicht beantwortet. Vor dem Hintergrund zehntausender Schulen, die saniert werden müssen, sollte dies möglichst nicht unberücksichtigt bleiben. Denn nur auf der Basis gesicherter Erkenntnisse lassen sich nachhaltige Sanierungen durchführen.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Auszuwertende Fragebögen .....	15
Tabelle 1-2: CO <sub>2</sub> -Abgaberaten pro Person in Liter/Stunde .....	34
Tabelle 1-3: Abhängigkeit des Luftwechsels n von Alter und Stellung von Fenstern .....	34
Tabelle 1-4: Klassifizierung der Raumlufthqualität nach DIN EN 13779 .....	35
Tabelle 1-5: Messprogramm CO <sub>2</sub> -Messungen .....	37
Tabelle 1-6: Ermittelte Nachhallzeiten als Einzahlwert für die Technischen und Wirtschaftsschulen Steinfurt.....	67
Tabelle 1-7: Mindestbeleuchtungsstärke für ausgewählte Räume, Aufgaben und Tätigkeiten innerhalb einer Schule (nach DIN EN 12464-1 und DIN 5035-7) .....	70
Tabelle 1-8: Ermittelte mittlere Beleuchtungsstärken für die <b>Wirtschaftsschulen</b> .....	81
Tabelle 1-9: Ermittelte mittlere Beleuchtungsstärken für die <b>Technischen Schulen</b> .....	81
Tabelle 1-10: Zusammenfassung der Messergebnisse für die mittlere Beleuchtungsstärke mit Begründung für die Unterschreitung .....	82
Tabelle 1-11: Zusammenfassung der Messergebnisse im Bereich der Wandtafel mit Einbaujahr.....	83
Tabelle 3-1: Anzahl der erfassten Schulen in kommunaler Trägerschaft.....	103
Tabelle 4-1: Wärmedurchgangskoeffizient für Außenwände nach EnEV 2009 .....	111
Tabelle 4-2: Wärmedurchgangskoeffizient U für Fenster und Vorhangfassaden nach EnEV 2009 .....	113
Tabelle 4-3: Wärmedurchgangskoeffizient U für Dächer nach EnEV 2009.....	116
Tabelle 4-4: Wärmedurchgangskoeffizient U für Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich nach EnEV 2009.....	118
Tabelle 4-5: Vorgaben von mittleren Beleuchtungsstärken für Räume, Aufgaben und Tätigkeiten innerhalb einer Schule .....	125
Tabelle 4-6: CO <sub>2</sub> -Abgaberaten pro Person in Liter/Stunde .....	128
Tabelle 4-7: Abhängigkeit des Luftwechsels n von Alter und Stellung von Fenstern <sup>24</sup> .....	128
Tabelle 4-8: Klassifizierung der Raumlufthqualität nach DIN EN 13779 .....	129
Tabelle 4-9: Vor- und Nachteile einer zentralen und dezentralen Lüftungsanlage in Schulgebäuden .....	133
Tabelle 6-1: Energetische Auswirkung neuer Fenster in Haus I .....	173
Tabelle 6-2: Energetische Auswirkung der Dachsanierung bei Haus I .....	174
Tabelle 6-3: Energetische Auswirkung sanierte Außenwand bei Haus I .....	175
Tabelle 6-4: Investitionskosten des Maßnahmenpakets bei Haus I.....	176
Tabelle 6-5: Energetische Auswirkung der sanierten Außenwand bei Haus II.....	178
Tabelle 6-6: Auswirkung der Aufstockung und der neuen Fenster an Haus III .....	180
Tabelle 6-7: Zusammenfassung der bauphysikalischen Optimierungsmaßnahmen.....	181
Tabelle 6-8: Auswirkung des verlängerten Absenkbetriebs.....	183
Tabelle 6-9: Ist-Situation am Beispiel der Wirtschaftsschulen Steinfurt mit insgesamt 350 Desktop-PCs .....	191
Tabelle 6-10: Energieoptimierung mit Thin-Clients am Beispiel der Wirtschaftsschulen Steinfurt mit insgesamt 350 Thin-Clients .....	191
Tabelle 6-11: Vorgaben der automatischen Fensterlüftung .....	201
Tabelle 8-1: CO <sub>2</sub> Faktoren für verschiedene Brennstoffe .....	224
Tabelle 9-1: Zusammenfassung der Zielgruppen .....	244
Tabelle 9-2: Vergleich von drei möglichen Versionen des Leitfadens .....	246
Tabelle 9-3: Berücksichtigung beider Zielgruppen im Leitfaden.....	247
Tabelle 9-4: Mögliche Zusammensetzung des Hauptteils.....	248
Tabelle 9-5: Merkmale und Maßnahmen für eine gute Beleuchtung in Klassenräumen <sup>47</sup> .....	253
Tabelle 9-6: Auszug von Schriftzeichen aus der DIN 5008 mit ausgewählten Beispielen <sup>56</sup> .....	260
Tabelle 9-7: Medien um Informationen aus eigener Hand anzubieten .....	261

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0-1: CO <sub>2</sub> -Konzentrationsverlauf in einem Klassenraum.....	4
Abbildung 0-2: Verlauf der CO <sub>2</sub> -Konzentration berechnet mit der Software QUIRL/CO <sub>2</sub> .....	4
Abbildung 0-3: Darstellung der Wirtschaftsschulen mit der Software DesignBuilder für die thermische Gebäudesimulation.....	5
Abbildung 0-4: Vergleich des tatsächlichen Verbrauchs mit dem simulierten Verbrauch .....	6
Abbildung 1-1: Empfinden der Raumtemperatur in den Räumen der Wirtschaftsschule .....	16
Abbildung 1-2: Empfinden der Raumtemperatur in den Räumen der Technischen Schulen .....	16
Abbildung 1-3: Empfinden der Luftqualität in den Räumen der Wirtschaftsschule .....	17
Abbildung 1-4: Empfinden der Luftqualität in den Räumen der Technischen Schulen .....	17
Abbildung 1-5: Einfluss der Fensterstellung auf das Empfinden der Luftqualität.....	18
Abbildung 1-6: Empfinden der Luftqualität in Abhängigkeit von der Unterrichtsdauer .....	19
Abbildung 1-7: Empfinden der Akustik an der Wirtschaftsschule.....	20
Abbildung 1-8: Empfinden der Akustik an der Technischen Schulen.....	20
Abbildung 1-9: Empfinden störender Außengeräusche an der Wirtschaftsschule .....	21
Abbildung 1-10: Empfinden störender Außengeräusche an der Technischen Schulen .....	21
Abbildung 1-11: Empfinden der Lichtverhältnisse an den Wirtschaftsschulen .....	22
Abbildung 1-12: Empfinden der Lichtverhältnisse an den Technischen Schulen.....	22
Abbildung 1-13: Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt vor der Sanierung (2007) .....	23
Abbildung 1-14: Haus III der Wirtschaftsschule Steinfurt (2007), Baujahr 1938 .....	26
Abbildung 1-15: Gebäudesteckbrief der Wirtschaftsschulen Steinfurt (Stand: Nov. 08) .....	27
Abbildung 1-16: Technische Schulen des Kreises Steinfurt; Baujahr 1972 .....	28
Abbildung 1-17: Technische Schulen Steinfurt – Thermografie der Ansicht des Haupteingangsbereich mit Einscheibenverglasung. Es zeigt sich die bauphysikalische Mängelsituation im Bereich der ungedämmten Fensterprofile und der fehlenden Dämmungen im Bereich der Stützen und Balken. ....	29
Abbildung 1-18: Technische Schulen Steinfurt – Thermografie Ansicht Nordfassade zeigt bereits isolierverglaste Fensterscheiben. Die Fensterprofile und besonders die Betonbalken sind hingegen ohne jegliche Dämmung. ....	29
Abbildung 1-19: Gebäudesteckbrief der Technischen Schulen Steinfurt.....	32
Abbildung 1-20: Im Messzeitraum gemessene CO <sub>2</sub> -Konzentration in Raum WS111.....	38
Abbildung 1-21: Vergleich von Einzelmessungen und gleitenden Halbstundenmittelwert der CO <sub>2</sub> -Konzentration in Raum WS111.....	39
Abbildung 1-22: Nach Größe geordnete Konzentrationsmesswerte Raum TS17 .....	40
Abbildung 1-23: Nach Größe geordnete Konzentrationsmesswerte Raum TS136 .....	41
Abbildung 1-24: Konzentrationsverlauf TS38 bei geöffneten Oberlichtern.....	42
Abbildung 1-25: Konzentrationsverlauf TS136 bei geschlossenen Fenstern .....	43
Abbildung 1-26: Auswirkungen eines automatischen Lüftungssystems .....	44
Abbildung 1-27: Einfluss des Raumvolumens auf die zeitliche Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration .....	45
Abbildung 1-28: Einfluss der Quellstärke auf die zeitliche Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration .....	46
Abbildung 1-29: Einfluss des Luftwechsels auf die zeitliche Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration .....	47
Abbildung 1-30: Lüftungsanlage Peter-Pan-Schule.....	48
Abbildung 1-31: Korrekturwerte bei entsprechenden Mittenfrequenzen der Terzbänder nach VDI 2081.....	51
Abbildung 1-32: Messverlauf zur Ermittlung der Nachhallzeit .....	52
Abbildung 1-33: Sollwert T <sub>soll</sub> der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten .....	53
Abbildung 1-34: Besetzungsverhältnis 1/3 .....	54
Abbildung 1-35: Besetzungsverhältnis 2/3 .....	54
Abbildung 1-36: Besetzungsverhältnis 3/3 .....	54
Abbildung 1-37: Akustischer Steckbrief Raum 17, Technische Schulen Steinfurt.....	55
Abbildung 1-38: Akustischer Steckbrief Raum 29, Technische Schulen Steinfurt.....	56

Abbildung 1-39: Akustischer Steckbrief Raum 38, Technische Schulen Steinfurt.....	57
Abbildung 1-40: Akustischer Steckbrief Raum 104, Technische Schulen Steinfurt.....	58
Abbildung 1-41: Akustischer Steckbrief Raum 126, Technische Schulen Steinfurt.....	59
Abbildung 1-42: Akustischer Steckbrief Raum 136, Technische Schulen Steinfurt.....	60
Abbildung 1-43: Akustischer Steckbrief Raum 103/111 vor der Sanierung, Wirtschaftsschulen ST.....	61
Abbildung 1-44: Akustischer Steckbrief Raum 103/111 nach der Sanierung, Wirtschaftsschulen ST .....	62
Abbildung 1-45: Akustischer Steckbrief Raum 118, Wirtschaftsschulen Steinfurt .....	63
Abbildung 1-46: Akustischer Steckbrief Raum 231, Wirtschaftsschulen Steinfurt .....	64
Abbildung 1-47: Akustischer Steckbrief Raum 319, Wirtschaftsschulen Steinfurt .....	65
Abbildung 1-48: Akustischer Steckbrief Raum 326, Wirtschaftsschulen Steinfurt .....	66
Abbildung 1-49: Nachhallzeit in Abhängigkeit der Besetzung für alle untersuchten Klassenräume .....	68
Abbildung 1-50: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 111 der Wirtschaftsschulen.....	71
Abbildung 1-51: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 118 der Wirtschaftsschulen.....	72
Abbildung 1-52: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 231 der Wirtschaftsschulen.....	73
Abbildung 1-53: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 326 der Wirtschaftsschulen.....	74
Abbildung 1-54: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 017 der Technischen Schulen .....	75
Abbildung 1-55: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 029 der Technischen Schulen .....	76
Abbildung 1-56: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 038 der Technischen Schulen .....	77
Abbildung 1-57: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 104 der Technischen Schulen .....	78
Abbildung 1-58: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 126 der Technischen Schulen .....	79
Abbildung 1-59: Darstellung der Beleuchtungsstärken für Raum 136 der Technischen Schulen .....	80
Abbildung 2-1: Primärenergieverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) der Kreisschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS).....	85
Abbildung 2-2: Betrachtung des Wärmeverbrauchs der Kaufmännischen Schulen Ibbenbüren, vor der Sanierung und nach der Sanierung mit Betreuung durch das Gebäudemanagement .....	86
Abbildung 2-3: Gebäudesteckbrief der Kaufmännischen Schulen Ibbenbüren, (Juni 08).....	88
Abbildung 2-4: Altbau des Berufskollegs Tecklenburger Land in Ibbenbüren aus dem Jahr 1957 .....	90
Abbildung 2-5: Neubau des Berufskollegs Tecklenburger Land in Ibbenbüren aus dem Jahr 1976 .....	90
Abbildung 2-6: Darstellung des Energieverbrauchs und der Emissionen durch Sanierungen .....	94
Abbildung 2-7: Kaufmännische Schulen Tecklenburger Land in Lengerich, Baujahr 1968 .....	95
Abbildung 2-8: Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt - Berufskolleg in Emsdetten aus dem Baujahr 1938 ..	100
Abbildung 3-1: Gebäudesteckbrief für das Gymnasium Arnoldinum, Stand Dez. 08 .....	104
Abbildung 3-2: Primärenergieverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) für alle betrachteten Schulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS).....	105
Abbildung 3-3: Sortierte Darstellung des Primärenergieverbrauchs in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) aller erfassten Schulen für das Jahr 2007 (witterungsbereinigt) .....	106
Abbildung 3-4: Primärenergieverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) aller betrachteten Berufsschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS).....	106
Abbildung 3-5: Primärenergieverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) aller betrachteten Sekundärstufenschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS).....	107
Abbildung 3-6: Primärenergieverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) aller betrachteten Förderschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS).....	107
Abbildung 3-7: Primärenergieverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) aller betrachteten Grundschulen (witterungsbereinigt, Standort: MS/OS).....	108
Abbildung 3-8: Sortierter Primärenergieverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a) aller erfassten Grundschulen für das Jahr 2007 (witterungsbereinigt) .....	108
Abbildung 4-1: Aufgaben des Sonnenschutzes .....	114
Abbildung 4-2: Korrekturwerte bei entsprechenden Mittenfrequenzen der Terzbänder nach VDI 2081.....	138
Abbildung 4-3: Messverlauf zur Ermittlung der Nachhallzeit .....	139
Abbildung 4-4: Sollwert T <sub>soll</sub> der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten .....	140



Abbildung 5-1: Position der Übergabestation der Hochleistungsdecke und der Schwerkraftkühlung in Raum 319 der Wirtschaftsschulen.....	145
Abbildung 5-2: Übergabestation der Hochleistungskühldecke und der Schwerkraftkühlung in Raum 319 der Wirtschaftsschulen .....	146
Abbildung 5-3: Schematischer Aufbau einer Kühldecke .....	146
Abbildung 5-4: Foto der Kühldecke in Raum 319.....	147
Abbildung 5-5: Thermografie-Aufnahme der Kühldecke in Raum 319 kurz nach dem Einschalten der Kühldecke .....	147
Abbildung 5-6: Thermografie-Aufnahme der Kühldecke in Raum 319 nach ca. 12 Minuten .....	148
Abbildung 5-7: Thermografie der Kühldecke in Raum 319 nach ca. 25 Minuten .....	148
Abbildung 5-8: Thermografie-Aufnahme der Mäandern der Kühldecke .....	149
Abbildung 5-9: Ausschnitt des Abnahmeberichts durch die Firma Klimakontor .....	150
Abbildung 5-10: Schema des Funktionsprinzips der Schwerkraftkühlung.....	151
Abbildung 5-11: Raumlufttemperatur vom 19.08.09 beim Betrieb der Schwerkraftkühlung in Raum 319 und im Referenzraum 326 .....	152
Abbildung 5-12: Raumlufttemperatur vom 24.08.09 beim Betrieb der Kühldecke in Raum 319 und im Referenzraum 326 .....	153
Abbildung 6-1: Ansicht der Technischen Schulen .....	158
Abbildung 6-2: Vergleich vorhandener und simulierter Gesamtwärmeverbrauch der Technischen Schulen Steinfurt mit der Software DesignBuilder. Die Abweichung vom Ist-Wärmeverbrauch zur Simulation beträgt nur 1,5 % .....	159
Abbildung 6-3: Vergleich vorhandener und simulierter Gesamtstromverbrauch der Technischen Schulen Steinfurt mit der Software DesignBuilder. Die Abweichung vom Ist-Stromverbrauch zur Simulation beträgt nur 6,9 % .....	160
Abbildung 6-4: Visualisierte Ansicht der Technischen Schulen vor der Sanierung, erstellt mit der Software DesignBuilder .....	160
Abbildung 6-5: Visualisierte Ansicht der Technischen Schulen nach der Sanierung .....	162
Abbildung 6-6: Visualisierte Ansicht der Technischen Schulen nach der Sanierung, erstellt mit der Software DesignBuilder.....	164
Abbildung 6-7: Detailliertes Berechnungsergebnis zur Brennstoff-Aufteilung der Technischen Schulen nach der Sanierung, dargestellt mit der Software DesignBuilder .....	165
Abbildung 6-8: Detailliertes Berechnungsergebnis der inneren Gewinne der Technischen Schulen nach der Sanierung, dargestellt mit der Software DesignBuilder.....	166
Abbildung 6-9: Vergleich des Wärme- und Stromverbrauchs vor der Sanierung mit dem simulierten Bedarf nach Durchführung der geplanten Sanierungsmaßnahmen für die Technischen Schulen, ermittelt mit DesignBuilder .....	167
Abbildung 6-10: Vergleich des Jahresprimärenergieverbrauchs vor der Sanierung mit dem ermittelten Jahresprimärenergiebedarf nach Durchführung des Sanierungskonzept der Technischen Schulen, ermittelt mit DesignBuilder.....	167
Abbildung 6-11: Monatlicher Nutzwärmeverbrauch der Wirtschaftsschule – Vergleich von gemessenem und simuliertem Verbrauch .....	171
Abbildung 6-12: Monatlicher Stromverbrauch der Wirtschaftsschule – Vergleich von gemessenem und simuliertem Verbrauch .....	171
Abbildung 6-13: Dachaufbau der nachträglichen Dämmung am Haus I nach dem Umkehrdachsystem .....	174
Abbildung 6-14: Aufbau der Außenwand mit Vorhangfassade .....	178
Abbildung 6-15: Grafisches Modell des Haus III nach der geplanten Sanierung des dritten Obergeschosses, Ansicht Südwest .....	180
Abbildung 6-16: Verlauf der Wärmegewinne und -verluste, der Temperaturen und des Fanger-Index bei verlängerter Nachtabenkung .....	184
Abbildung 6-17: Verlauf der Wärmegewinne und -verluste, der Temperaturen und des Fanger-Index bei Nachtabenkung im Ist-Zustand .....	184

Abbildung 6-18: Verlauf der Temperaturen, Wärmegewinne und -verluste, Fanger-Index in einem ungekühlten Computerraum in Haus II .....	185
Abbildung 6-19: Verlauf der Temperaturen, Wärmegewinne und -verluste, Fanger-Index in einem gekühlten Computerraum in Haus II - Kühlleistung 10 kW .....	186
Abbildung 6-20: Verlauf der Temperaturen, Wärmegewinne und -verluste, Fanger-Index in einem gekühlten Computerraum in Haus II - Kühlleistung 6 kW .....	187
Abbildung 6-21: Vergleich eines Thin-Clients (ca. 0,9 kg) mit einem herkömmlichen Desktop PC (ca. 8,5 kg) ...	188
Abbildung 6-22: Darstellung herkömmlicher EDV Versorgung über vorhandenen File-, Print-Server und gegenübergestellt neue Möglichkeit der Thin-Client Lösungen über vorhandene Netzstrukturen.....	189
Abbildung 6-23: Ergebnisse einer dynamischen Simulation für einen EDV-Klassenraum einer Berufsschule ....	190
Abbildung 6-24: Geschlossene Klimawand unter Laborbedingungen .....	194
Abbildung 6-25: Offene Klimawand unter Laborbedingungen .....	194
Abbildung 6-26: Detailzeichnung der Klimawand .....	195
Abbildung 6-27: Technische Detailzeichnungen der Klimawand .....	195
Abbildung 6-28: Schacht der Klimawand im Rohbau .....	196
Abbildung 6-29: Ansicht der Klimawand im Rohbau (Sanierung) .....	196
Abbildung 6-30: Geschlossene Klimawand (Sanierung im laufenden Betrieb) .....	196
Abbildung 6-31: Grafische Darstellung des sommerlichen Kühlfalls während eines typischen Tag-Nachtverlaufs. Die Wärme, die nachts vom PCM abgegeben wird, kann tagsüber zur Kühlung der Zuluft in einem zentralen oder dezentralen Energiespeicher wieder aufgenommen werden. ....	198
Abbildung 6-32: Angedachte Lösung im Rahmen des Projektes.....	199
Abbildung 6-33: Funktionsweise der automatischen Fensterlüftung .....	202
Abbildung 6-34: Das Innere des Schaltschranks im Klassenraum .....	202
Abbildung 6-35: Auswirkungen eines automatischen Lüftungssystem .....	203
Abbildung 8-1: Detailzeichnung der Klimawand .....	215
Abbildung 8-2: Schacht der Klimawand im Rohbau .....	216
Abbildung 8-3: Ansicht der Klimawand im Rohbau.....	216
Abbildung 8-4: Witterungsbereinigter Verbrauch* pro m <sup>2</sup> der Wirtschaftsschulen Steinfurt mit der freigesetzten CO <sub>2</sub> Menge.....	223
Abbildung 8-5: Witterungsbereinigter Verbrauch* pro m <sup>2</sup> der Technischen Schulen Steinfurt mit der freigesetzten CO <sub>2</sub> Menge.....	225
Abbildung 8-6: Witterungsbereinigter Verbrauch* pro m <sup>2</sup> der Technischen Schulen mit der freigesetzten CO <sub>2</sub> Menge bis zum Abschluss der Sanierung im Jahr 2011 .....	226
Abbildung 9-1: Ausschnitt aus dem Entwurf des Leitfadens – Erste Seite.....	228
Abbildung 9-2: Ausschnitt aus dem Entwurf des Leitfadens - Editorial .....	229
Abbildung 9-3: Ausschnitt aus dem Entwurf des Leitfadens - Übersicht.....	230
Abbildung 9-4: Ausschnitt aus dem Entwurf des Leitfadens – Einer der Schwerpunkte .....	231
Abbildung 9-5: Überlegungen vor dem Schreiben .....	238
Abbildung 9-6: Beurteilungsfenster für einen verständlichen Text <sup>44</sup> .....	248
Abbildung 9-7: Vergleich von Schichtdicken unterschiedlicher Materialien bei gleicher Kapazität der Wärmespeicherung (5.700 kJ/ Temperaturerhöhung um 10 °C) <sup>55</sup> .....	256

## Anhang

- A 1. Steckbriefe der untersuchten Klassenräume
- A 2. Gebäudesteckbriefe der erfassten Schulen
- A 3. Diagramme des Primärenergieverbrauchs für Wärme, Strom und gesamt nach Schulform
- A 4. Abnahmebericht der Klimadecke und Schwerkraftkühlung in Raum 319 der Wirtschaftsschulen Steinfurt, erstellt von der Firma Klimakontor GmbH
- A 5. Booklet Sanierung der Wirtschaftsschulen
- A 6. Visionen zur Sanierung der Technischen Schulen (Sitzung vom 02.04.2009)
- A 7. Symposium vom 01.05.2009/02.06.2009
  - 7.1. Flyer/Einladung zum Symposium
  - 7.2. Vorträge:
    - 7.2.1. Herr T. Kubendorff, Kreis Steinfurt, Grußworte und Informationen zum Konjunkturpakete II
    - 7.2.2. Herr Dr. W. Grimm, DBU, Fördermöglichkeiten bei der Sanierung und Weiterentwicklung von Gebäuden durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt
    - 7.2.3. Herr B. Busch, agn, Lebenszyklusbetrachtung in der Schularchitektur
    - 7.2.4. Herr Prof. Dr. B. Mundus, FH Münster, Raumluftqualität in Klassenräumen
    - 7.2.5. Herr Dipl.-Ing. Willmes, ISW, Bewertung von Sanierungsmaßnahmen durch thermische Simulation
    - 7.2.6. Herr Dipl.-Inform. M. Bajohr, FH Münster, Effiziente Computertechnik
    - 7.2.7. Herr Prof. Dr. B. Boiting, FH Münster, Sanierung von Schulen
- A 8. Vortrag: Vorstellung des Projektes bei den Lehrerkonferenzen
- A 9. Vortrag: Untersuchungen an den Wirtschaftsschulen, vorgestellt bei der Ausschusssitzung am 06.05.2008
- A 10. Vortrag: Leitfaden zur integralen Sanierung von Schulen auf Basis der Sanierung der Technischen Schulen und der Wirtschaftsschulen des Kreises Steinfurt am 04.09.2008 in Soest
- A 11. Pläne/Grundrisse/Ansichten/Fotos der Sanierung der Technischen Schulen
- A 12. Pläne/Grundrisse/Ansichten/Fotos der Sanierung der Wirtschaftsschulen