

Bauphysikalische Untersuchungen bei der Planung, Realisierung und Verifizierung der Lüftung als Bestandteil der energetischen Sanierung - dargestellt am Beispiel der Kindertagesstätte "Plappersnut"

H. Winkler und G.-W. Mainka



Dipl.-Ing. Heiko Winkler

(Jg. 1967), 1991–96 Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Rostock; seit 1996 wiss. Assistent am Lehrstuhl für Baukonstruktionen und Bauphysik, Prof. Mainka, Universität Rostock; verantwortlich für 4 Forschungsprojekte im Bereich des Wärme- und Schallschutzes und der Organisation des 1. int. Kongresses über VakuumIsolationsPaneele „VIP-Bau“ 2003 in Wismar; zwischendurch Tätigkeit als Tragwerksplaner und seit 2002 freiberuflicher Bauphysiker; 2005 Preis der Zeitschrift „Bauphysik“.

Dipl.-Ing. Heiko Winkler, Universität Rostock, Institut für Bauingenieurwesen, Lehrstuhl für Baukonstruktionen und Bauphysik, Außenstelle Wismar

P: PF1210, 18952 Wismar

B: Philipp-Müller-Str., Hochschulgelände, Haus 22, KBauMV, 18066 Wismar

E: heiko.winkler@uni-rostock.de



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg-Wilhelm Mainka

(Jg. 1943), 1962-69 Studium des Bauingenieurwesens an der TU Braunschweig; 1969-81 wiss. Assistent und Oberingenieur am Lehrstuhl für Baukonstruktion und Vorfertigung, Prof. Paschen, TU Braunschweig; seit 1981 freiberuflicher beratender Ingenieur und Gutachter; 1983-96 ö.b.u.v. Sachverständiger für Bauphysik und Schäden an Gebäuden (IHK Braunschweig); 1983-85 wiss. Angestellter am o.g. Lehrstuhl im Forschungsvorhaben „Wärmebrückenkatalog“; 1988 Promotion zum Dr.-Ing. an der TU Berlin über Köcherfundamente; 1988-94 Akad. Rat am Fachgebiet Allgemeiner Ingenieurbau, Prof. Cziesielski TU Berlin; seit 1994 Professor an der Universität Rostock im Bauingenieurwesen für den Lehrstuhl Baukonstruktionen und Bauphysik; 2005 Preis der Zeitschrift „Bauphysik“.

Institut für Bauingenieurwesen, Lehrstuhl für Baukonstruktionen und Bauphysik,

P: 18051 Rostock

B: Justus-von-Liebig-Weg 2, LAG1 OKI, 18059 Rostock

E: georg-wilhelm.mainka@uni-rostock.de

Zusammenfassung

Die Kindertagesstätte „Plappersnut“ in Wismar wurde im Rahmen des vom BMWA geförderten Demonstrationsprojektes ENSAN energetisch saniert. Durch Entfernen der energieaufwändigen Verbindungskorridore und Überstülpen einer zweiten, teilweise transparenten wärmedämmenden Haut konnte der Energiebedarf auf ein Drittel reduziert und gleichzeitig mit der nicht beheizten Zwischenklimazone eine für den Kindergartenbetrieb neue Anwendung geschaffen werden. Die über die Zwischenklimazone und die Sanitärräume installierte Abluftanlage, verbunden mit einer Wärmerückgewinnungsanlage, ergaben günstige Lüftungsenergieverluste. Die Lüftungstechnischen Anforderungen, Maßnahmen und Nachweise werden beschrieben.

Summary

The kindergarten „Plappersnut“ in Wismar / Northern Germany was energetically retrofitted within the project ENSAN of the Federal Ministry for Economy and Labour of Germany. By removing the energetically inefficient corridors and covering the project totally with a second, partly transparent insulated skin the effort of energy could be reduced to one third. Additionally the non air-conditioned “intermediate climate zone” allows new task for running the kindergarten. The new installed used air ventilation within the sanitary cells, which sucks fresh air through the kindergarten from the pre-heated intermediate climate zone, combined with a heat-pump in the outgoing air, results favourable low ventilation energy losses. The ventilation relevant performances, measures and evidences are discussed.

1 Gebäudebeschreibung

Die Kindertagesstätte „Plappersnut“ in Wismar wurde 1972 als DDR-Typenbau in Plattenbauweise errichtet. Diese als Schuster-Typ bekannte Bauweise weist zwei zweigeschossige, parallel angeordnete Gebäude aus, die durch drei zweigeschossige Korridore verbunden sind. Erschlossen wird das Gebäude durch einen Längskorridor und über die Verbindungskorridore. (Bild 1)



Bild 1: Kindertagesstätte vor der Sanierung



Bild 2: Kindertagesstätte nach der Sanierung

Der Energieverbrauch dieser Einrichtung war aufgrund der Gebäudestruktur, der mangelhaften Qualität der Außenbauteile und des schlechten Zustandes der technischen Einrichtungen hoch.

Die aus Gründen der Belichtung und Belüftung entstandene Grundstruktur führt aus heutiger Energie orientierter Sicht zu Problemen. Durch die beidseitige Belichtung der Gruppenräume und die aufwändige Erschließung mit ein- oder zweigeschossigen, überwiegend verglasten Verbindungsfluren ergibt sich ein schlechtes Außenwand-Volumen-Verhältnis A/V. Andererseits bietet gerade diese Grundstruktur gute Nutzungsmöglichkeiten. Die Kindergartengruppen stellen ein Raumgefüge von hoher funktionaler Qualität dar. Die von den Gruppen gemeinschaftlich zu nutzenden Spiel- und Erlebnisräume jedoch fehlen oder sind nur unter schlechten räumlichen Bedingungen zu finden.

Hinweis für die des Niederdeutschen nicht mächtigen: „Plappern“ bedeutet kindliches Schwatzen, die „Snut“ ist die liebevolle Bezeichnung für Mundwerk, nicht zu verwechseln mit der abfälligen hochdeutschen Bezeichnung „Schnauze“.

2 Ziele der Sanierung

Die Sanierung entstand im Rahmen des Demonstrationsprogramms ENSAN des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit zur energetischen Sanierung von Gebäuden. [1] Zielsetzung des vom *Institut für Gebäude+Energie+Licht-Planung* unter Leitung von M. Wollensak und T. Römhild ausgeführten und von den Autoren begleiteten Projektes war eine deutliche Senkung des Energieverbrauchs innerhalb eines wirtschaftlich vertretbaren Rahmens. Ebenso wichtig waren dabei die architektonische Verbesserung der äußeren und inneren Gestalt sowie die Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten. Es sollte gezeigt werden, dass ein ganzheitlicher, über die reine Energieeinsparung hinausgehender Planungsansatz zu einer neuen Qualität des Gebäudes führen kann. Damit wäre die Betriebskostenreduzierung nur ein As-

pekt der wirtschaftliche Bewertung energetischer Maßnahmen und die verbesserten Nutzungsmöglichkeiten, verbunden mit dem verbesserten Image aufgrund der erhöhten architektonischen Qualität, würde einen weiteren Beitrag zur Wirtschaftlichkeit leisten. So könnte die Nachhaltigkeit der Baumaßnahme deutlich gegenüber rein energetisch motivierten Verbesserungen der Gebäudesubstanz gesteigert werden. [2]



Bild 3: Nordansicht des Gebäudes nach der Sanierung



Bild 4: Blick in das Atrium der Kindertagesstätte

Das Sanierungskonzept basierte auf der Idee, die aus energetischer und gestalterischer Sicht schlechte Außenhülle des Kindergartens dadurch zu verbessern, dass über die bestehenden Gebäude eine zweite dämmende Haut gezogen wird, um die

unzureichende Dämmung vieler Außenbauteile und die vielfältigen Wärmebrücken zu vermindern. (Bild 2 und 3)

Die aufwändigen Erschließungsflure werden entfernt und durch einer „verglasten“ unbeheizte Zwischenklimazone (Atrium) ersetzt, in dem ein vor Regen und Wind geschützter Bereich mit einem etwas über den Außenlufttemperaturen liegenden Temperaturniveau als neuer Aufenthaltsbereich entsteht. Diese neu geschaffene Zwischenklimazone eröffnet vielfältige Möglichkeiten pädagogische Aufgaben mit erhöhter Qualität zu realisieren. Sie stellt eine wertvolle Ergänzung zu den Warmräumen der Gruppeneinheiten und dem Außenbereich dar. Dieser zusätzliche Lebensraum, der den Kindern eine Vielzahl von neuen Erfahrungen ermöglicht und damit Bildungsprozesse auslöst und verstärkt, ist in dieser Größe ein optimaler Wettbewerbsvorteil, der den Erhalt einer Kindertagesstätte dieser Größe mehr als rechtfertigt. Dadurch ist der langfristige Erhalt vorhandener Bausubstanz möglich geworden. (Bild 4)

Weitere bemerkenswerte Sanierungskomponenten sind:

- Ausbildung von doppelglasigen Kastenfenstern (alte, erneuerte Isolationsfenster bleiben erhalten) in der Ebene der neuen Außendämmung.
- Dreilagiges transparentes bedrucktes Foliendach über dem Atrium,
- Zwei verschiedene Systeme mit VakuumIsolationsPannee VIP an den Giebelwänden,
- Erhalt der Wärme-Speicherfähigkeit der ehem. Außenwände zum Atrium,
- Kombinierte Sonnenschutz-Photovoltaik-Anlage

Details hierzu sind [3] zu entnehmen. Die Sanierung wird durch ein von den Autoren betreutes Messprogramm begleitet, welches noch läuft. Für die wegweisenden Arbeiten bei der Sanierung dieser Kindertagesstätte erhielten die Beteiligten 2005 den Preis der Zeitschrift „Bauphysik“. [4]

3 Nutzungsbedingtes Lüften

Die Gruppenräume in Kindertagesstätten werden sehr unterschiedlich genutzt. Zum einen wird in den Räumen von allen Kindern getobt, zum anderen beschäftigen sich die Kinder eher still, oder die Räume werden sogar als Schlafräume genutzt. In der Früh- und Spätschicht sind nur wenige Kinder in der Gruppe. Häufig wird der Tagesablauf dadurch unterbrochen, dass die Kinder in das Außengelände gehen oder Essen im „Restaurant“, Turnen im Sportraum oder Malen im Atelier. Dann sind die Gruppenräume verwaist. Neben diesen kurzfristigen alltäglichen unterschiedlichen Nutzungssituationen gibt es längerfristige Veränderungen, die sich aus der unterschiedlichen Belegung der Kindertagesstätte in Bezug Altersstruktur und Aufenthaltsdauer ergibt. Eine hohe Flexibilität zeichnet eine moderne Einrichtung, die auf Bedürfnisse der Kinder und Eltern angemessen reagiert, aus.

In dieser Kindertagesstätte wurde bisher manuell über die Fenster gelüftet. Befragungen und Beobachtungen zeigten, dass oft durch das „Offenstehenlassen“ eines Fensters oder durch Lüften während der Abwesenheit der Gruppe gelüftet wurde. Neben den bekannten klimabedingten Schwierigkeiten einer richtigen manuellen Steuerung der Lüftung kommen hier noch die Probleme der stark differenzierten Nutzungsintensität und organisatorische Schwierigkeiten hinzu.

Eine kurze gezielte Querlüftung ist kaum möglich. Die Idee der zweiten Haut schränkt diese Möglichkeit weiter ein.

Durch das manuelle Lüften wurde die an sich ideale Anordnung der WC- Bereiche direkt neben den Gruppenräumen bei ungünstiger Wetterlage zu einem Problem. Die Abluft der Sanitärräume wurde der Windrichtung folgend über die Gruppenräume geleitet.

4 Lüftungskonzept

4.1 Zwischenklimazone

Für die nicht beheizbare Zwischenklimazone ist eine natürliche Lüftung vorgesehen, die über motorisch zu öffnende Klappen gesteuert werden kann. Die Lüftungsöffnungen befinden sich auf den Giebelseiten oberhalb von 2 m (Ein- und Ausstiegssicherheit) und im Bereich der oben im Süden und Norden angeordneten Lichtbänder. (Bild 4 und 5) Sie werden entsprechend den klimatischen Verhältnissen in der Zwischenklimazone automatisch über die an den Öffnungen angebrachten Stellantriebe geöffnet. Den Berechnungen zufolge ist ein freier Lüftungsquerschnitt von mindestens $9,3 \text{ m}^2$ in jeder Himmelsrichtung notwendig. Weiterhin können die zweiflügligen Tore in den Giebelwänden geöffnet werden.

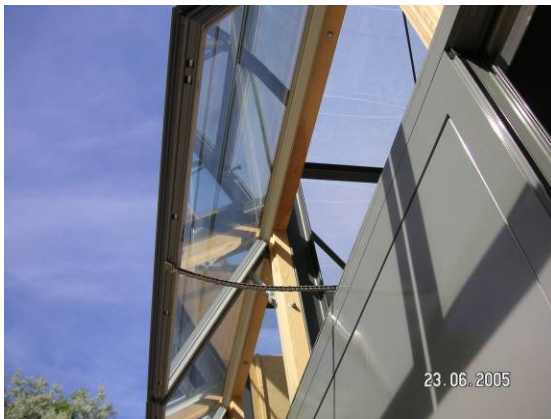


Bild 5: Zuluftöffnungen am Giebel des Atriums (Detail zu Bild 2)



Bild 6: Zuluftelement (Fenster zum Atrium)

4.2 Gruppenräume

Die Belüftung der Gruppenräume erfolgt durch eine mechanische Abluftanlage. Um für die Anordnung der Öffnungen ein einfaches System zu finden wurden eine Aufteilung in Zuluft und Abluftbereiche vorgenommen. Dabei stellte sich heraus, dass fast alle Aufenthaltsräume an die Zwischenklimazone anschließen.

Daher konnte die Zuluft der Gruppenräume direkt aus der Zwischenklimazone entnommen werden, wo sie vorgewärmt worden ist. Die Zuluft strömt von hier durch Zuluftelemente, die in den Fensterrahmen integriert sind, den Räumen zu. (Bild 6) Der Zuluftquerschnitt wird durch die Raumluftfeuchte geregelt.

Die Absaugung der Abluft erfolgt in den Nassräumen durch je ein Rohrsystem und je einen Ventilator pro Gebäudeteil. Um für die Anordnung der Öffnungen ein einfaches System zu finden wurden eine Aufteilung in Zuluft und Abluftbereiche vorgenommen. Dabei stellte sich heraus, dass fast alle Aufenthaltsräume an die Zwischenklimazone anschließen.

Im Abluftwärmestrom befindet sich das Verdampfermodul je einer Wärmepumpe. Auf diese Weise wird die Abluftwärme in einem Gebäudeteil monovalent zur Brauchwassererwärmung verwendet.

4.3 Winterfall

Die Klappen der Zwischenklimazone werden im Winter geschlossen gehalten und nur kurz zur Querlüftung geöffnet.

Durch die Vorwärmung in der Zwischenklimazone liegt die Zulufttemperatur für die Gruppenräume in der Regel über der Außenlufttemperatur.

4.4 Sommerfall

Die Zwischenklimazone kann tagsüber durch Steuerung der teilbedruckten Folien im Dach im gewissen Rahmen verschattet werden. Zur Vermeidung von Überhitzung sind die Fensterklappen überwiegend geöffnet. Durch den thermischen Auftrieb wird Außenluft in das Atrium eingesogen. Die nicht gedämmten ehemaligen Außenwände wirken sich mit ihrer Speichermasse positiv auf die Lufttemperatur aus.

Solange die Temperaturen in der Zwischenklimazone unter den Temperaturen der Außenluft liegen, bleibt die Lüftungsanlage in Betrieb. Steigen die Temperaturen, werden die Gruppenräume über die Fenster gelüftet.

5 Experimentelle Nachweise

5.1 Temperaturverläufe im Atrium

Um einen witterungsbereinigten Vergleich der Lüftungsenergieverluste für den Zustand vor der Sanierung und nach der Sanierung sowie für das Gebäude nach der Sanierung mit Zuluft direkt von außen und vorgewärmte Zuluft aus dem Atrium (Vorteil der Atrium-Vorwärmung) durchführen zu können, werden die Wetterdaten für das 1. Betriebsjahr (Lufttemperaturen außen, innen und im Atrium) als Monatsmittel aufbereitet und den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt.

Außerdem erfolgt gemäß Bild 7 die Abschätzung der Heizperiodendauer für die Heizgrenztemperaturen $t_G = 15 \text{ °C}$ (Gebäude vor der Sanierung) und $t_G = 10 \text{ °C}$ (Gebäude nach der Sanierung).

Aus dem Bild 7 ist weiterhin zu sehen, dass im Sommer durch weiteres Öffnen der Türen in den Giebelwänden die Temperaturen im Atrium und durch Öffnen der Außenfenster die Innenraumtemperatur hätte gesenkt werden können.

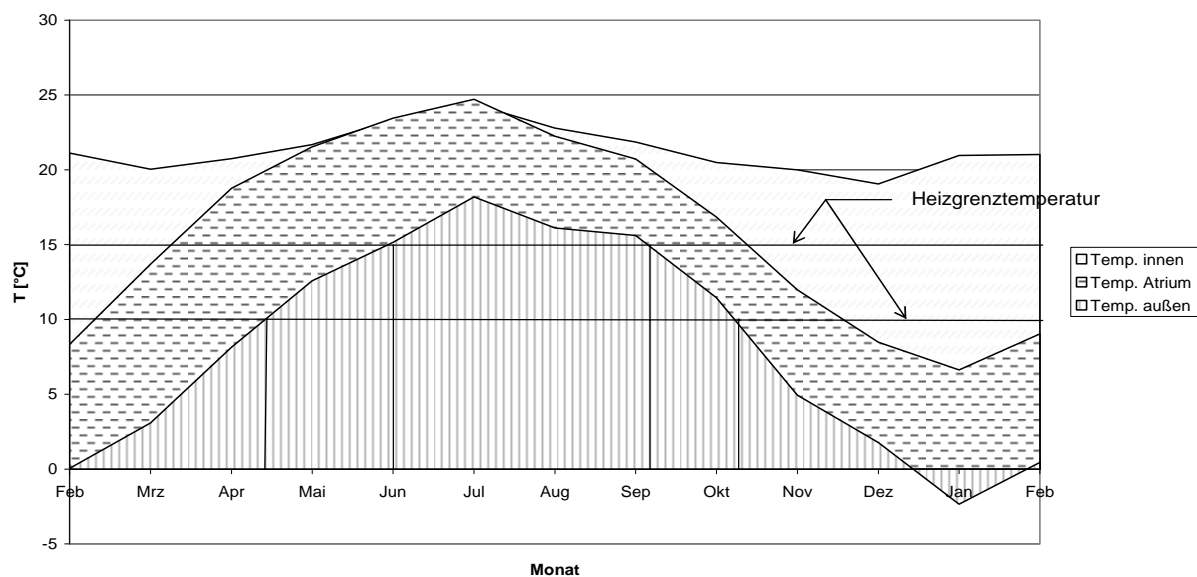


Bild 7: Tagesverlauf der Lufttemperaturen außen, innen und im Atrium

5.2 Luftströmungen im Atrium

Zur qualitativen Beurteilung der Be- und Entlüftung unter Sommerbedingungen wurden bei geöffneten Klappen und bei Windstille („worst case“) Rauchgasversuche durchgeführt.

Es zeigte sich, dass die Luft durch die Klappen in den Giebelwänden zunächst auf den Boden des Atriums fiel und dann nach der Erwärmung ca. in der Mitte des Atriums Aufstieg und durch die oben liegenden Klappen der Längsseiten abgesogen wurde.

Eine zunächst angedachte quantitative Messung der Luftgeschwindigkeiten und damit der Luftströme und damit der Luftwechselraten mit kontinuierlich registrierenden Hitzdrahtanemometern in den Klappenöffnungen unterblieb aus Kostengründen.

5.3 Luftdichtheit der Gruppenräume – Blower-Door-Prüfung

Bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen ist der Nachweis der Luftdichtheit nach DIN EN 13829 (2001) zu führen, wobei der Grenzwert für den Luftvolumenstrom bei einer Druckdifferenz von 50 Pa von $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ nach DIN 4108-7 (2001) einzuhalten ist. [5 und 6]

Zu erwähnen ist hierbei, dass im Zuge der Sanierungsarbeiten an der Kindertagesstätte, die schon im Vorfeld vorhandenen, wirksamen Luftdichtheitsebenen (Innenputz, Fenster, Decken, Fußböden) nicht angetastet wurden. So blieben die in der Mitte der 90-er Jahre erneuerten Fenster im Gebäude erhalten.

Als Ergebnis der Luftdichtheitsuntersuchungen wurde ein Wert von $n_{50} = 1,29 \text{ h}^{-1}$ für den südlichen Gebäudekomplex bestimmt. Dieser Wert wurde durch weitere Kontrollmessungen in seiner Größenordnung bestätigt. Für den nördlichen Gebäudekomplex wird auf Grund der baugleichen Ausführung bei den weiteren Betrachtungen ein identischer Wert angenommen.

Das Gebäude ist somit nach heutigem Stand ausreichend luftdicht.

5.4 Luftwechselrate aus der Luftgeschwindigkeit in der Abluft (Flügelrad)

Im Bild 8 ist das in die zentrale Abluftöffnung des Südgebäudes integrierte Flügelrad dargestellt. In gleicher Weise wurde bei der Abluftanlage des Nordgebäudes vorgefahren.



Bild 8: Einbau eines Flügelrades in die zentrale Abluftöffnung auf dem Dach des Südgebäudes

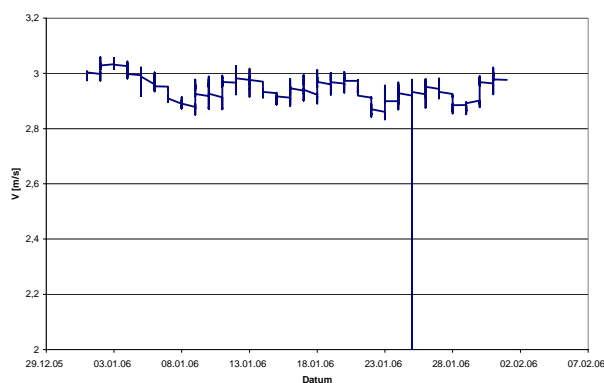


Bild 9: Schwankung der Luftgeschwindigkeit der Abluft im Nordgebäude im Januar 2006

Tabelle 1: Schwankung der Luftgeschwindigkeit der Abluftanlage in Rohrmitte

| | v [m/s] | |
|-----------------------------|-----------|--------------------|
| | Nord | Süd ¹⁾ |
| Obere Grenze v_{\max} | 3,03 | 2,30 ²⁾ |
| Untere Grenze $v_{\min n}$ | 2,85 | - |
| Mittlung Schwankung v | 2,94 | - |
| Standardabweichung σ | 0,11 | - |

¹⁾ Fühler nur manuell an Wochentagen auslesbar

²⁾ Wert wird für alle weiteren Betrachtungen verwendet

Bedingt durch die Luftfeuchte abhängigen Zuluftsteuerung ist für die weiteren Betrachtungen zunächst die Schwankungsbreite der Luftgeschwindigkeit zu ermitteln, da durch die Abwesenheit von Personen am Wochenende die Luftfeuchte gering ist und demzufolge die Zugluft-Öffnungen in den Fenstern den Luftstrom aus dem Atrium drosseln.

Aus dem Bild 9 ist die Schwankungsbreite der Luftgeschwindigkeit für den Monat Januar 2006 in der Abluft des Nordgebäudes dargestellt. Sie bewegt sich in engen Grenzen, zwischen den beiden Gebäudeteilen besteht jedoch ein deutlicher Unterschied. (Tabelle 1) Deshalb werden die weiteren Betrachtungen - sofern möglich - mit den Mittelwerten der Luftgeschwindigkeit durchgeführt.

Durch die Mittelwertbildung der Luftgeschwindigkeit über den Rohrquerschnitt (Annahme: laminare Rohrströmung in den Abluftrohren), den Rohrquerschnittsflächen sowie dem Luftvolumen in den beiden Gebäudeteilen kann der Anlagenluftwechsel n_{Anl} nach Tabelle 2 bestimmt werden.

Tabelle 2: Anlagenluftwechselrate (aus Luftgeschwindigkeitsmessungen)

| | Luftwechselrate n [h^{-1}] | | Bemerkung |
|------------------------|----------------------------------|------------|---|
| | Nordgebäude | Südgebäude | |
| v [m/s] | 2,94 | 2,30 | Luftgeschwindigkeit in Rohrmitte |
| \bar{v} [m/s] | 1,47 | 1,10 | mittlere Abluftgeschwindigkeit (laminare Strömung) über Rohrquerschnitt |
| R [m] | 0,18 | 0,18 | Radius Abluftrohr |
| A [m^2] | 0,10 | 0,10 | Querschnittsfläche Abluftrohr |
| \dot{V} [m^3/h] | 538,66 | 421,40 | Abluftvolumenstrom |
| V [m^3] | 2679 | 2678 | Gebäudeluftvolumen |
| n_{Anl} [h^{-1}] | 0,21 | 0,16 | Anlagenluftwechsel |

5.5 Luftwechselbestimmung mit dem Indikatorgasverfahren (Tracer-Gas)

Zur Bestimmung der Infiltration/Exfiltration sowie als Kontrolle der über Luftgeschwindigkeitsmessungen bestimmten Anlagen-Luftwechselraten wurden im Juli

2005 (CO_2 als Spurengas) sowie im Dezember 2005 (SF_6 als Spurengas) Luftwechselfmessungen mittels dem Indikatorgasverfahren nach DIN EN ISO 12569 durchgeführt. (Bild 10) [8]

Auf Grund der Größe des Gebäudes konnten nur in einzelnen Räumen das Indikatorgas injiziert werden. Bei der Messung wurden die Türen (alle Innentüren ohne Lüftungsschlitze) zu Nachbarräumen geschlossen.



Bild 10: Gasanalysator (SF_6), Auswerteeinheit und Gasflasche der Indikatorgas-Messeinrichtung

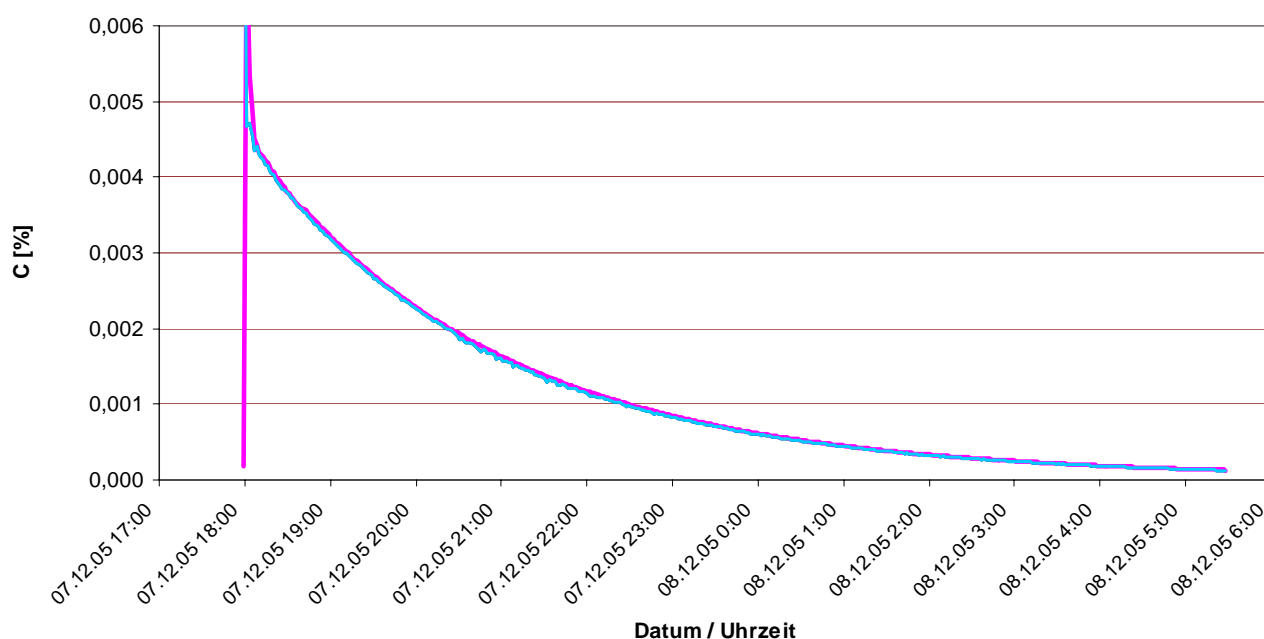


Bild 11: Abklingkurven mit idealer Durchmischung des SF_6 -Gases im Raum 075,

Nordgebäude (mit Abluft)

Insgesamt wurde der Luftwechsel in 3 Räumen (2 Räume aus dem Nordgebäude, 1 Raum aus dem Südgebäude) sowie im Atrium untersucht.

Die Messungen wurden mit SF₆ kontinuierlich über die Nachtstunden (Dauer ca. 12 h) und mit CO₂ über ca. 1 Stunde durchgeführt. Während der Messungen befand sich ein Ventilator im Dauerbetrieb. Bei den Messungen zur Infiltration / Exfiltration war die Abluftanlage ausgeschaltet und deren Öffnungen abgeklebt.

Im Bild 11 sind die zeitlich exponentiellen Abklingkurven des Tracer-Gases dargestellt. Deren Auswertungen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Im Nordgebäude wurden während der Messungen im Sommer 2005 mit dem Spurengas CO₂ aus Sicherheitsgründen (Ferienbetrieb des Kindergartens nur im Nordgebäude) keine Untersuchung durchgeführt.

Trotz der Fehlermöglichkeiten mit dem Spurengas CO₂ (in der Luft vorhanden, Absorption/Desorption durch Materialien der Umgebung, Einfluss von Menschen) besitzen die Ergebnisse zwischen den Spurengasen SF₆ und CO₂ ungefähr dieselbe Größenordnung. Abweichungen können darüber hinaus durch die unterschiedlichen Messzeiträume begründet sein.

Für die weitere Betrachtung werden nur die Ergebnisse der Messungen mit dem Spurengas SF₆ (Dezember 2005) wegen deren höherer Genauigkeit herangezogen.

Tabelle 3: Ergebnisse für die Luftwechselrate mit der Indikatorgasmethode

| | Luftwechselrate n [h^{-1}] | |
|--|---|-------------------------|
| Messzeit | (Dez. 2005) | (Juli 2005) |
| Gebäude – Raum | Spurengas SF_6 | Spurengas CO_2 |
| <i>- mit Abluftanlage (Anlagenluftwechsel inkl. Infiltration / Exfiltration)</i> | | |
| Nord – R 0.75 | 0,31 | - |
| Süd – R 0.55 | 0,286 | 0,257 |
| Süd – R 1.35 | 0,250 | 0,252 |
| <i>- ohne Abluftanlage (Infiltration / Exfiltration)</i> | | |
| Süd – R 1.35 | 0,08 | 0,061 |
| Atrium | 0,11 | |

5.6 Vergleich der Luftwechsellmessungen (Flügelrad und Indikatorgas)

Die Auswertung der Luftwechsellmessungen über die Luftgeschwindigkeit in der Abluft ergibt einen um ca. 30 % geringeren Luftwechsel als die Messungen mit der Indikatorgasmethode zeigen. Möglicherweise befinden sich die Flügelräder im turbulenten Strömungsbereich des Abluftrohres, so dass der tatsächliche Luftdurchsatz größer ist als den Berechnung durch Mittelung der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Abluftrohr zu Grunde gelegt wurde.

Trotzdem ist das Monitoring der Luftgeschwindigkeit in der Abluft für die Abschätzung der Schwankungsbreite des Luftwechsels wichtig. Es konnte aufgezeigt werden, dass die durch die Feuchte abhängige Zuluft-Steuerung zum Wochenende die Luftwechselrate mäßig absinkt, die Schwankungen selbst aber für die energetischen Betrachtungen zum Lüftungsenergieverlust gering sind. Die Lüftungsenergieverluste werden deshalb mit den aus den Tracer-Gas-Messungen gewonnenen Luftwechselraten berechnet: Nordgebäude: $n = 0,31 \text{ h}^{-1}$, Südgebäude: $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$

5.7 Luftqualität und Öffnen der Fenster

Die vorstehenden Luftdichtheitsmessungen wurden bei geschlossenen Fenstern durchgeführt. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, bei unbehaglichem Innenklima die Fenster zu öffnen und einen Luftaustausch mit außen herzustellen. Im Winter bedeu-

ten dies zusätzliche Energieverluste. Zur Verifizierung dieser Zustände wurden in einigen Räumen für Langzeitmessungen

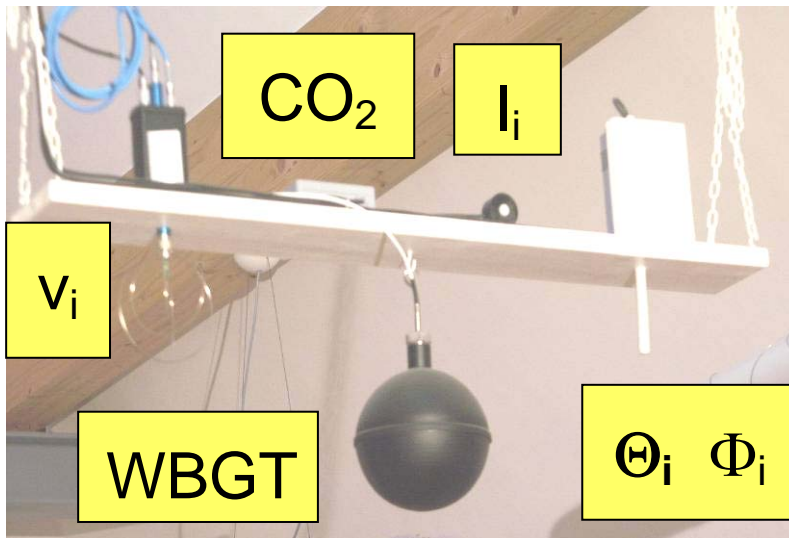
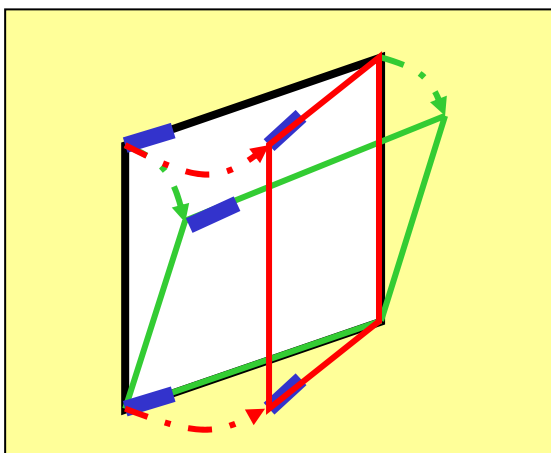


Bild 12: Gondel mit Klimasensoren

- Gondeln über Kopfhöhe mit Sensoren für Temperatur Θ_i , Luftfeuchte Φ_i , Luftgeschwindigkeit v_i , Strahlungstemperatur, CO_2 -Konzentration und Lichtintensität I_i aufgehängt. (Bild 12)
- REED-Kontakte in die Fenster eingebaut, mit denen die Stellung des Fensterflügels entsprechend dem nebenstehenden Bild 13 während der noch laufenden Langzeitmessung bestimmt werden kann. Ein REED-Kontakt ist ein in Schutzgas gekapselter Kontakt, der durch einen Magnet, z.B. im Fensterflügel ein- und ausgeschaltet wird.



| REED-Kontakt | Fensterstellung | | |
|--------------|-----------------|---------|-------|
| | geschlossen | gekippt | offen |
| oben | an | aus | aus |
| unten | an | an | aus |

Bild 13: 2 REED-Kontakte im Fensterahmen zur Bestimmung der verschiedenen Öffnungszustände

6 Ermittlung der Lüftungsenergieverluste

6.1 Verwendete Formeln

Im Zustand des Gebäudes vor der Sanierung erfolgte die Versorgung mit Frischluft über eine freie Lüftung. Bei den energetischen Berechnungen der Lüftungswärmeverluste wird nach DIN V 4108-6 (2003) [7] für das Monatsbilanzverfahren folgender Zusammenhang verwendet:

$$H_v = \dot{V} \cdot \rho_L \cdot c_{pL} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

H_v - spezifischer Lüftungsenergieverlust in W/K

\dot{V} - Volumenstrom für den Lüftungsenergieverlust in m³/h

$\rho_L c_{pL}$ - Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Luft in Wh/m³K ; i. d. R 0,34

Der Volumenstrom für den Lüftungsenergieverlust ergibt sich nach o. g. Norm [7] wie folgt:

$$\dot{V} = n \cdot V \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

n - Luftwechselrate in h⁻¹

V - Netto-Volumen (Luftvolumen) des beheizten Gebäudes in m³

Für das Gebäude nach der Sanierung gelten bei mechanischer Lüftung nach DIN V 4108-6 (2003) [7] folgende Zusammenhänge:

$$\dot{V} = \dot{V}_f + \dot{V}_x \quad (3)$$

$$\dot{V} = \dot{V}_f(1 - \eta_v) + \dot{V}_x \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

\dot{V}_f - Betrag des Abluftvolumenstromes in m^3

\dot{V}_x - Luftvolumenstrom infolge Wind und Druckdifferenz (Infiltration / Exfiltration) auf Grund der Temperaturunterschiede zwischen innen und außen in m^3

η_v - Nutzungsfaktor der Wärmerückgewinnungsanlage in -

Anmerkung:

Der Nutzungsfaktor η_v für die Wärmerückgewinnungsanlage korrigiert entsprechend der Gleichung (4) den Abluftvolumenstrom. Bei der Lüftungsanlage an der Kita „Plappersnut“ ist eine Wärmerückgewinnung vorhanden. Die zurück gewonnene Energie dient hier aber nicht zur Erwärmung der Frischluft. Aus diesem Grund kommt die letztgenannte Gleichung in den weiteren Betrachtungen nicht zum Ansatz und ist hier nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt.

Liegen keine Daten über die Größe \dot{V}_x (Infiltration / Exfiltration) vor, so kann diese nach folgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$\dot{V}_x = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e_{Wind}}{1 + \frac{f_{Wind}}{e_{Wind}} \left(\frac{\dot{V}_s - \dot{V}_E}{V \cdot n_{50}} \right)^2} \quad (5)$$

Hierin bedeuten:

n_{50} - Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz in h^{-1}

\dot{V}_s - Zuluftvolumenstrom m^3

\dot{V}_E - Abluftvolumenstrom m^3

f_{Wind}, e_{Wind} - Windschutzkoeffizienten in -

Der Gesamtwärmeverlust durch Lüftung ergibt sich aus folgenden Beziehungen:

$$Q_{V,M} = H_V \cdot \Delta T \cdot t \quad (6)$$

$$Q_V = \sum_M Q_{V,M} \quad (7)$$

Hierin bedeuten (bei monatlicher Betrachtungsweise):

$Q_{V,M}$ - monatlicher Lüftungsenergieverlust in Wh bzw. kWh

ΔT - monatliche mittlere Temperaturdifferenz zwischen innen und außen in K

t - Länge des Berechnungszeitraumes in h mit $t = t_M \cdot 24 \text{ h/d}$

t_M - tatsächliche Heiztage des jeweiligen Monats in d

6.2 Parameter der Varianten-Berechnungen

Die Lüftungsenergieverluste bilden einen Teil der Bilanzierung aller Energieströme im Gebäude. Um für die Lüftungsenergieverluste den Grad der Verbesserung gegenüber dem Zustand vor der Sanierung und den Vorteil des gewählten Belüftungskonzeptes (Abluftanlage mit im Atrium vorgewärmter Zuluft) aufzuzeigen, werden die Energieverluste aus Lüftung für folgende Zustände des Gebäudes ermittelt:

- vor der Sanierung
- nach der Sanierung mit einer Abluftanlage und Zuluft als Außenluft
- nach der Sanierung mit einer Abluftanlage mit vorgewärmter Zuluft aus dem Atrium

Zum witterungsbereinigten Vergleich werden alle Berechnungen mit dem Wetter des 1. Betriebsjahres (Februar 2005 bis Februar 2006) durchgeführt.

Es werden die Lüftungsenergieverluste für folgende Varianten ermittelt und verglichen:

- *Variante V0:*

Gebäude vor Sanierung, Außenluft als Frischluft,

$t_G = 15 \text{ °C}$, $V = 6004 \text{ m}^3$, $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$

- *Variante VI:*

Gebäude nach Sanierung, Außenluft als Frischluft,

$$t_G = 10 \text{ °C}, V = 5357 \text{ m}^3, n = 0,55 \text{ h}^{-1}$$

- *Variante V2:*

Gebäude nach Sanierung, vorgewärmte Zuluft aus dem Atrium,

$$t_G = 10 \text{ °C}, V = 5357 \text{ m}^3, n = 0,55 \text{ h}^{-1}$$

- *Variante V3:*

Gebäude nach Sanierung, vorgewärmte Zuluft aus dem Atrium,

$$t_G = 10 \text{ °C}, V = 5357 \text{ m}^3, n = 0,28 \text{ h}^{-1} \text{ (Mittel aus 0,31 und 0,25 nach Tabelle 2)}$$

Die Varianten V0 und V3 sind die realen Verhältnisse vor bzw. nach der Sanierung.

Die Varianten V1 und V2 dienen Vergleichszwecken.

Für die Variante V0 wurde ebenfalls ein Luftwechsel von $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$ zu Grunde gelegt, da bereits Mitte der 90-er Jahre die Fenster komplett erneuert worden sind und während der Sanierung keine weiteren Verbesserungen an der Luftdichtheitsebene vorgenommen wurden, so dass die nach der Sanierung festgestellte Luftdichtheit auch schon vor der Sanierung gegeben war.

6.3 Ergebnisse der untersuchten Varianten

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Es bedeuten:

t_{Mv} – tatsächliche Heiztage des jeweiligen Monats vor der Sanierung in d

t_{Mn} – tatsächliche Heiztage des jeweiligen Monats nach der Sanierung in d

Tabelle 4: Lüftungsenergieverluste der Varianten V0 bis V3

| Jahr | Monatsmittel der Lufttemperatur | | | t_M (t_G 15/10°C) | | Lüftungsenergieverluste | | | |
|-------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | außen Θ_e [°C] | Atrium Θ_a [°C] | innen Θ_i [°C] | t_{Mv} [d] | t_{Mn} [d] | V0 [kWh] | V1 [kWh] | V2 [kWh] | V3 [kWh] |
| 05/06 | | | | | | | | | |
| Feb | 0,05 | 8,34 | 21,12 | 28 | 28 | 15895 | 14183 | 8603 | 4380 |
| Mrz | 3,09 | 13,70 | 20,05 | 31 | 31 | 14165 | 12640 | 4732 | 2409 |
| Apr | 8,15 | 18,77 | 20,75 | 30 | 10 | 10184 | 3029 | 476 | 242 |

| | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-----|-----|--------|-------|-------|-------|
| Mai | 12,58 | 21,54 | 21,68 | 31 | 0 | 7600 | 0 | 0 | 0 |
| Jun | 15,15 | 23,45 | 23,35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jul | 18,19 | 24,72 | 24,39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aug | 16,11 | 22,25 | 22,79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sep | 15,61 | 20,72 | 21,86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Okt | 11,45 | 16,84 | 20,50 | 31 | 21 | 7559 | 4569 | 1848 | 941 |
| Nov | 4,94 | 11,98 | 19,99 | 30 | 30 | 12164 | 10854 | 5777 | 2941 |
| Dez | 1,78 | 8,48 | 19,05 | 31 | 31 | 14424 | 12871 | 7877 | 4010 |
| Jan | -2,35 | 6,63 | 20,96 | 31 | 31 | 19468 | 17372 | 10680 | 5437 |
| Feb | 0,45 | 9,04 | 21,02 | 28 | 28 | 15517 | 13847 | 8064 | 4105 |
| Jahressumme | | | | 271 | 210 | 116976 | 89365 | 48057 | 24466 |

Die Ergebnisse für die Lüftungsenergieverluste aus Tabelle 4 sind im Bild 14 als monatsabhängige Werte und im Bild 15 als jährliche Summenwerte als Vergleich der Varianten V0 bis V3 dargestellt.

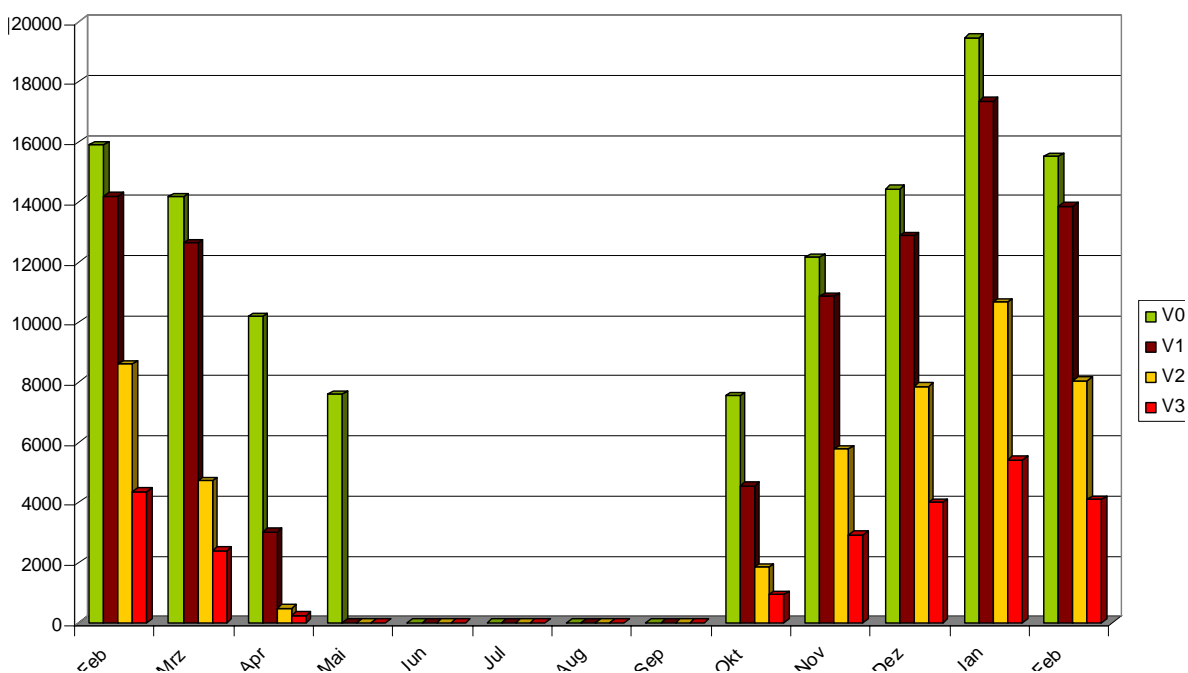


Bild 14: Variantenvergleich der monatlichen Lüftungsenergieverluste in kWh

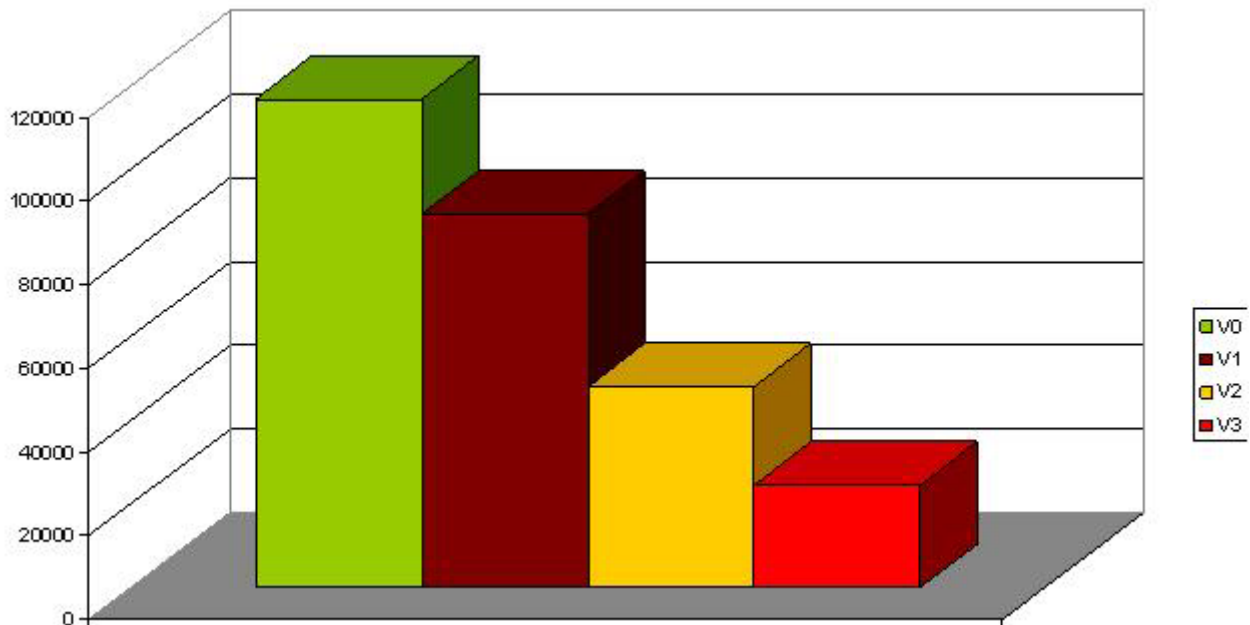


Bild 15: Variantenvergleich der jährlichen Lüftungsenergieverluste in kWh

6.4 Vergleich und Bewertung der Ergebnisse

Aus der Tabelle 4 geht hervor, dass sich die Lüftungsenergieverluste stark reduziert haben. Gründe hierfür sind:

- Die Reduzierung des beheizten Luftvolumens führt zu einer Minderung der Lüftungsenergieverluste um ca. 24 % (Abriss der Verbindungsgänge zwischen Nord- und Sügebäude, Vergleiche Variante V0 mit V1).
- Die Vorwärmung der Luft im Atrium mindert die Lüftungsenergieverluste nochmals um ca. 50 % (Vergleiche V1 mit V2).
- Der in der Realität vorhandene geringere Luftwechsel nach der Sanierung (Vergleiche V2 mit V3) reduziert die Lüftungsenergieverluste um weitere ca. 50 %.

Bezüglich eines normgerechten Luftwechsels für den Zustand des Gebäudes nach der Sanierung stellt die Variante V2 mit einem Luftwechsel von $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$ die kor-

rekte Variante dar. Die tatsächlich vorhandenen Luftwechsel (V3) von $n = 0,31 \text{ h}^{-1}$ (Nordgebäude) bzw. $0,25 \text{ h}^{-1}$ (Südgebäude) unterschreiten den Normluftwechsel, wie er in den Varianten V0, V1 und V2 berücksichtigt wurde.

Auf Grund der Ergebnisse für den tatsächlich vorgefundenen Luftwechsel wurde eine Überprüfung der hygienischen Verhältnisse im Raum 0.75 durchgeführt. Diese ergab, dass der CO_2 -Spiegel seinen Höchstwert mit 1200 ppm (März 2005) nach dem Mittagsschlaf der Kinder erreichte und danach wieder schnell absank. Die maximale relative Luftfeuchte wurde für den Februar 2006 im Raum 0.75 mit 54 % als kurzzeitiger Spitzenwert bestimmt.

7 Bewertung des Gesamtenergiebedarfs ein Jahr nach der Sanierung

Nach der Wiederinbetriebnahme der Kindertagesstätte im Februar 2005 konnte im Februar 2006 ein erster energetischer Vergleich zum Zeitraum vor der Sanierung gezogen werden. In der Tabelle 5 ist der Endenergieverbrauch der Jahre 2000 und 2001 den entsprechenden Werten aus dem 1. Betriebsjahr gegenübergestellt. Eine energetische Bewertung der einzelnen baulichen Maßnahmen erfolgt hier nicht.

Tabelle 5: Vergleich des Energieverbrauchs ein Jahr nach der Sanierung mit dem Verbrauch der Jahre 2000 und 2001 (vor Sanierung)

| | vor Sanierung ²⁾ | | nach Sanierung [kWh] | Reduzierung auf | |
|-----------------------|-----------------------------|------------|-------------------------|-----------------|----------------|
| | [kWh] | [kWh] | | [%] | [%] |
| Vergleichs- Jahr | 2000 | 2001 | 2006 | 2006 / 2000 | 2006 / 2001 |
| von | 06.07.1999 | 04.07.2000 | 14.02.2005 | | |
| bis | 03.07.2000 | 11.07.2001 | 14.02.2006 | | |
| Elektro | 56835 | 37020 | 25350 | 44,6 | 68,5 |
| Erdgas ¹⁾ | 499853 | 506073 | 164944 | 33,0 | 32,6 |
| Gesamt- Endenergie | 556688 | 543093 | 190294 | 34,1 | 35,0 |

¹⁾ Verbrauch Erdgas in 2006 = 12775 m^3 ; Brennwert $11,3 \text{ kWh/m}^3$; Umrechnungsfaktor $f = 0,967$

2) Werte aus Vorhabenbeschreibung 2002 [3]

Aus der Tabelle 5 ist ersichtlich, dass der Gesamtenergieverbrauch (Endenergie) nach der Sanierung um ca. 65 % auf 35 % des Niveaus vor der Sanierung gesunken ist. Die Gegenüberstellung der Daten erfolgt in o. g. Tabelle 5 ohne Witterungsreinigung. Anzumerken ist, dass während der ersten Heizzeit von Februar 2005 bis ca. Mai 2005 an den Giebelwänden noch keine Vakuumdämmung installiert war. Mit einer weiteren Reduzierung des Energieverbrauchs zu rechnen.

8 Literatur

[1] www.ensan.de

[2] IGEL - Institut für Gebäude+Energie+Licht-Planung: *Vorhabenbeschreibung als Anlage zum Antrag auf Förderung für das Vorhaben „Energetische Verbesserung der Bausubstanz der Kindertagesstätte „Plappersnut“ in Wismar* : Eigenverlag, 2002

[3] H. Wollensak, M. Wollensak, T. Römhild, G.-W. Mainka, H. Winkler, *Energetische Sanierung einer Kindertagesstätte in Plattenbauweise - Demonstrationsbauvorhaben „Plappersnut“ in Wismar*, Bauphysik 27 (2005), Heft 6, S. 339-345

[4] C. Ozimek, *Bauphysik-Preis 2005*, Bauphysik 27 (2005), Heft 6, S. 3-6

[5] DIN EN 13829 (2001): *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Differenzdruckverfahren*

[6] DIN 4108-7 (2001): *Wärmeschutz- und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele*

- [7] DIN V 4108-6 (2003-06): *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs*
- [8] DIN EN ISO 12569 (2001): *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Bestimmung des Luftwechsels in Gebäuden, Indikatorgasverfahren*