

Luftdichtheit als Bonus bei der Bestandssanierung zu KfW-Effizienzhäusern

Michael Mahler

*Energetechnik Mahler, Schwester-Marie-Straße 6, D-66125 Saarbrücken, Deutschland
Tel. (+49) 681 / 77 80 525, Fax (+49) 681 / 77 80 527, office@entec-mahler.de*

KURZFASSUNG

Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden ergibt sich bei der Berechnung nach Energieeinsparverordnung (EnEV) für luftdichte Gebäude aufgrund des geringeren Lüftungsverlustes ein geringerer Primärenergiebedarf. Dadurch erreichen manche Gebäude einen besseren KfW-Effizienzhaus-Standard. Wenn ein Nachweis der Luftdichtheit erfolgt, kann bei der EnEV-Berechnung mit einem Luftwechsel von $0,6 \text{ h}^{-1}$ anstatt $0,7 \text{ h}^{-1}$ gerechnet werden. Im Zuge von nunmehr 29 sanierten Gebäuden wurden insgesamt 59 Blower-Door-Messungen durchgeführt, um zu erkennen, ob bei „Standardsanierungen“ ohne speziellen Aufwand im Bereich der Luftdichtigkeitsebene, die Anforderungen der EnEV ($n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$ bzw. $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$) erreicht werden.

Es wurden insgesamt 17 Gebäude (bis 8 Wohneinheiten) und 42 Wohnungen (in 6 Mehrfamilienhochhäusern mit jeweils 24 bzw. 30 Wohneinheiten) vermessen. Eine Gebäudegruppe bestand aus 10 baugleichen Gebäuden, so dass hier aufgrund einer gegebenen Vergleichbarkeit auch mögliche Einflüsse unterschiedlicher Sanierungsfirmen auf die Ausführungsqualität untersucht bzw. festgestellt werden konnten.

Die gemessenen Gebäude bzw. Wohnungen erreichten die Anforderungen der EnEV ohne bzw. mit nur geringem zusätzlichem Aufwand zur „Standardsanierung“. Dies bedeutet, dass in solchen Fällen die Option „luftdichtes Gebäude“ bei der EnEV-Berechnung als Bonus angesetzt werden kann. Sollten zukünftig die Sanierungen mit Lüftungsanlagen umgesetzt werden, so zeigen die Ergebnisse, dass in diesen Fällen die Luftdichtheit teils erheblich verbessert werden muss.

SCHLÜSSELWÖRTER

Blower-Door-Messung, Luftdichtheit, Bestandssanierung, KfW-Effizienzhaus, Energieeinsparverordnung, EnEV

EINLEITUNG

Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden wird oft ein KfW-Effizienzhaus-Standard angestrebt. Zur Erreichung dieser Standards müssen 2 Parameter erfüllt werden – der maximale Transmissionskoeffizient und der spezifische Primärenergiebedarf. Je nach verwendeter Anlagentechnik (Gasbrennwerttechnik, ...) kann der spezifische Primärenergiebedarf deutlich reduziert werden, wenn das Gebäude als luftdicht eingestuft und der Nachweis mittels Blower-Door-Test erbracht wird. In der notwendigen Berechnung nach Energieeinsparverordnung (EnEV) kann dann ein Luftwechsel von $0,6 \text{ h}^{-1}$ anstatt $0,7 \text{ h}^{-1}$ angesetzt werden.

Da bei Standard-Sanierungen im bewohnten Zustand, welche in der Wohnungswirtschaft verstärkt durchgeführt werden, ein Maßnahmenpaket bestehend aus Außenwanddämmung, Fenstererneuerung, Dachdämmung und Kellerdeckendämmung umgesetzt wird, sind bereits große Leckagen im Bereich der

Dächer und der Fensteranschlüsse beseitigt. Um bei diesen Sanierungen KfW-Effizienzhausstandards zu erreichen bzw. zu verbessern, ist der Ansatz eines luftdichten Gebäudes und somit die Reduzierung des spezifischen Primärenergiebedarfs hilfreich.

Im Zuge von nunmehr 29 sanierten Gebäuden wurden an bisher 23 Gebäuden insgesamt 59 Blower-Door-Messungen durchgeführt, um zu erkennen, ob bei „Standardsanierungen“ ohne speziellen Aufwand im Bereich der Luftdichtigkeitsebene, die Anforderungen der EnEV ($n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$ bzw. $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$) erreicht werden. Es wurden insgesamt 17 Gebäude (bis 8 Wohneinheiten) und 42 Wohnungen (in 6 Mehrfamilienhochhäusern mit 24 bzw. 30 Wohneinheiten) vermessen. Eine Gebäudegruppe bestand aus 10 baugleichen Gebäuden, so dass hier aufgrund einer gegebenen Vergleichbarkeit auch mögliche Einflüsse unterschiedlicher Sanierungsfirmen auf die Ausführungsqualität untersucht bzw. festgestellt werden konnten. Nachfolgend werden die Ergebnisse dieser Messungen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse für zukünftige Sanierungen dargestellt.

BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN GEBÄUDE

Gebäudetyp 1

Der erste Gebäudetyp ist ein Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten, welches im Zuge einer Sanierung mit neuen Fenstern, einem Wärmedämmverbundsystem, einer Kellerdeckendämmung sowie einer Dachdämmung ausgestattet wurde (siehe Bild 1). Bei der Dachkonstruktion handelt es sich um ein Satteldach. Das Dachgeschoss beinhaltet teilweise Mansarden und Trockenräume und gehört somit zum beheizten Gebäudebereich. Das Treppenhaus erstreckt sich vom Kellergeschoss bis zum Dachgeschoss und gehört ebenfalls zum beheizten Gebäudebereich und ist durch 2 Türen im Kellergeschoss vom kalten Gebäudebereich getrennt.



Bild 1: Ansicht Gebäudetyp 1

Von diesem Gebäudetyp wurden bisher insgesamt zehn Gebäude gemessen. Das Innenvolumen beträgt ca. 1960 m³, die Nettogrundfläche 844 m² und die Hüllfläche 1213 m². Die Gebäude werden mittels Fenster gelüftet.

Gebäudetyp 2

Der zweite Gebäudetyp ist ein Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten, welches im Gegensatz zum ersten Gebäudetyp ein Flachdach aufweist (siehe Bild 2). Die durchgeführten Maßnahmen bestehen in diesem Fall ebenfalls aus einem Wärmedämmverbundsystem, neuen Wärmeschutzfenstern, einer Kellerdecken Dämmung sowie der Dämmung des Flachdachs. Auch hier erstreckt sich das Treppenhaus bis in den Keller und wird dort durch zwei Türen vom kalten Gebäudebereich getrennt. Von diesem Gebäudetyp wurden bisher insgesamt drei Gebäude gemessen. Das Innenvolumen beträgt ca. 2346 m³, die Nettogrundfläche 827 m² und die Hüllfläche 1482 m². Die Gebäude werden mittels Fenster gelüftet.



Bild 2: Ansicht Gebäudetyp 2

Gebäudetyp 3

Der dritte Gebäudetyp ist ein Mehrfamilienhaus mit 4 Wohneinheiten, bei welchem die obere Geschossdecke gedämmt wird und somit den oberen Abschluss des beheizten Gebäudebereiches bildet (siehe Bild 3). Die weiteren durchgeführten Maßnahmen sind ein Wärmedämmverbundsystem, neuen Wärmeschutzfenstern und eine Kellerdeckendämmung. Die Türen des Treppenhauses bilden den Abschluss zum kalten Gebäudebereich. Von diesem Gebäudetyp wurden vier Gebäude gemessen. Das Innenvolumen beträgt ca. 828 m³, die Nettogrundfläche 320 m² und die Hüllfläche 678 m². Die Gebäude werden mittels Fenster gelüftet.



Bild 3: Ansicht Gebäudetyp 3

Gebäudetyp 4

Der vierte Gebäudetyp stellt die Mehrfamilienhochhäuser dar. Von Ihnen wurden insgesamt drei verschiedene Typgebäude vermessen. Von einem Typ – mit 8 Geschossen und 24 Wohneinheiten – wurden in einem Gebäude 6 Wohnungen vermessen. Von einem weiteren Typ – mit 8 Geschossen und 24 Wohneinheiten – wurden in zwei Gebäuden jeweils 6 Wohnungen vermessen und vom dritten Typ – mit 6 Geschossen und 30 Wohneinheiten – wurden in drei Gebäuden jeweils 8 Wohnungen vermessen (siehe Bilder 4-6).

Tabelle 1: Parameter der Wohnungen in den Hochhäusern

| Wohnungstyp | Innenvolumen | Nettogrundfläche | Hüllfläche | Bemerkung |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| Hochhaus 1 | | | | |
| Wohnungstyp 1 | 369,60 m ³ | 144,94 m ² | 437,53 m ² | |
| Wohnungstyp 2 | 192,81 m ³ | 75,61 m ² | 256,28 m ² | |
| Wohnungstyp 3 | 318,95 m ³ | 125,08 m ² | 385,00 m ² | |
| Hochhaus 2a | | | | |
| Wohnungstyp 1 | 173,80 m ³ | 67,89 m ² | 232,52 m ² | |
| Wohnungstyp 2 | 139,60 m ³ | 54,53 m ² | 191,72 m ² | |
| Hochhaus 2b | | | | |
| Wohnungstyp 1 | 212,28 m ³ | 82,92 m ² | 276,33 m ² | |
| Wohnungstyp 2 | 143,26 m ³ | 55,96 m ² | 196,81 m ² | |
| Wohnungstyp 3 | 163,76 m ³ | 63,97 m ² | 224,68 m ² | |
| Hochhaus 3 | | | | |
| Wohnungstyp 1 | 189,88 m ³ | 75,95 m ² | 255,85 m ² | |
| Wohnungstyp 2 | 196,35 m ³ | 78,54 m ² | 255,48 m ² | |
| Wohnungstyp 3 | 155,30 m ³ | 62,12 m ² | 214,84 m ² | |
| Wohnungstyp 4 | 196,70 m ³ | 78,68 m ² | 255,76 m ² | |

Die Hochhäuser waren während der Sanierung und der Blower-Door-Messung bewohnt und konnten daher nur Wohnungsweise gemessen werden. Die durchgeführten Maßnahmen bestanden aus der Anbringung eines Wärmedämmverbundsystems, dem Einsatz neuer Wärmeschutzfenster, der Anbringung einer Kellerdeckendämmung sowie der Sanierung der Flachdächer mit entsprechender Wärmedämmung. Die gemessenen Wohnungen hatten unterschiedliche Größen. Die Parameter der Wohnungen ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Gebäude werden mittels Fenster gelüftet.



Bild 4: Ansicht Gebäudetyp 4 – Hochhaus 1



Bild 5: Ansicht Gebäudetyp 4 – Hochhaus 2



Bild 6: Ansicht Gebäudetyp 4 – Hochhaus 3

ERGEBNISSE

Gebäudetyp 1

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Blower-Door-Messungen des Gebäudetyps 1. Von diesem Typ wurden bisher 10 Häuser gemessen.

Tabelle 2: Messergebnisse des Gebäudetyps 1

| Messobjekt | Luftwechselrate n50 | Bemerkungen |
|------------|---------------------|--|
| Haus 1 | 2,2 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 2 | 2,6 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 3 | 2,9 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 4 | 3,1 h ⁻¹ | Verfahren A, Undichtigkeit der Kellertüren ca. 0,1 bis 0,2 h ⁻¹ |
| Haus 5 | 2,6 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 6 | 3,0 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 7 | 2,5 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 8 | 2,7 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 9 | 2,7 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 10 | 2,8 h ⁻¹ | Verfahren A |

Die hauptsächlichen Leckagen dieser Gebäude lagen im Bereich der Kellertüren, unverschlossener bzw. nicht korrekt verschlossener Durchdringungen zum kalten Gebäudebereich sowie den Bestandsrollladenkästen und Anschlüsse im Bereich der Dachfenster.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Standardsanierung in diesem Gebäudetyp trotz der vorhandenen Restleckagen insbesondere auch durch die vorhandenen Bestandsrollladenkästen zu einem positiven Ergebnis hinsichtlich der Unterschreitung der geforderten Luftwechselrate von 3,0 h⁻¹ führt. Der Mittelwert liegt bei diesem Gebäudetyp bei einer Luftwechselrate von 2,71 h⁻¹.

Ein Gebäude dieses Typs wurde auch vor der Sanierung gemessen. Da das Gebäude sehr undicht war wurde eine Messung durchgeführt, bei der das Dachgeschoss durch Türen vom übrigen Gebäude getrennt war. Bei dieser Messung ($V = 994 \text{ m}^3$) wurde ein Wert von 4,1 h⁻¹ gemessen. Danach wurde eine Hälfte des Dachgeschosses zum Volumen ($V = 1082 \text{ m}^3$) hinzugenommen und eine Luftwechselrate von 8,2 h⁻¹ gemessen. Bei dieser Messung konnte nur noch ein maximaler Druck von 43 Pa erreicht werden, so dass die reale Luftwechselrate wahrscheinlich noch höher liegt. Bei ganz geöffnetem Dachraum ($V = 1208 \text{ m}^3$) konnte nur noch ein Druck von 18 Pa aufgebaut werden. Dies zeigt, dass das Gebäude vor der Sanierung relativ undicht war und die größten Undichtigkeiten im Dachgeschoss zu finden waren.

Gebäudetyp 2

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Blower-Door-Messungen des Gebäudetyps 2. Von diesem Typ wurden bisher 3 Häuser gemessen.

Tabelle 3: Messergebnisse des Gebäudetyps 2

| Messobjekt | Luftwechselrate n50 | Bemerkungen |
|------------|---------------------|-------------|
| Haus 1 | 1,8 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 2 | 1,7 h ⁻¹ | Verfahren A |
| Haus 3 | 2,1 h ⁻¹ | Verfahren A |

Die hauptsächlichsten Leckagen dieser Gebäude lagen im Bereich der Kellertüren, unverschlossener bzw. nicht korrekt verschlossener Durchdringungen zum kalten Gebäudebereich, Entlüftungsöffnungen in den Küchen sowie den Bestandsrollladenkästen. In Haus 3 wurden deutlichere Leckagen festgestellt wie z.B. größere Anschlussprobleme im Bereich der Rollladenkästen und offener Fliesenspiegel an einer Badewanne.

Aufgrund des naturgemäß dichteren Flachdachs gegenüber den Satteldächern des Gebäudetyps 1 zeigt sich bei Gebäudetyp 2 mit einem Mittelwert von 1,87 h⁻¹ ein deutlich besseres Ergebnis.

Von diesem Gebäudetyp wurde ebenfalls ein Gebäude im unsanierten Zustand gemessen. Die Messung ergab eine Luftwechselrate von 2,9 h⁻¹ und somit konnte in diesen Gebäuden durch die Sanierung der Luftwechsel um ca. 1,0 h⁻¹ (entspricht ca. 2400 m³/h bei 50 Pa) reduziert werden.

Gebäudetyp 3

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Blower-Door-Messungen des Gebäudetyps 3, bei welchem eine Sanierung im unbewohnten Zustand durchgeführt wurde. Von diesem Typ wurden 4 Häuser gemessen.

Tabelle 4: Messergebnisse des Gebäudetyps 3

| Messobjekt | Luftwechselrate n50 | Bemerkungen |
|------------|---------------------|---|
| Haus 1 | 1,1 h ⁻¹ | Verfahren B, Abluftöffnung der Dunstabzugshauben verschlossen |
| Haus 2 | 1,5 h ⁻¹ | |
| Haus 3 | 1,2 h ⁻¹ | |
| Haus 4 | 1,5 h ⁻¹ | |

Die hauptsächlichsten Leckagen dieser Gebäude lagen im Bereich der Kellertüren, der Dachbodenluke, der Anschlüsse von Wasser, Abwasser und Heizung sowie der Elektroanschlusskästen in den Wohnungen. In diesen Gebäuden stellte die obere Geschossdecke den Abschluss nach oben hin dar. Aufgrund dieser verputzten Betondecke ergeben sich hier ebenfalls wesentlich bessere Messwerte als bei den Gebäuden des Gebäudetyp 1. Der Mittelwert liegt hier bei 1,33 h⁻¹.

Gebäudetyp 4

Der Gebäudetyp 4 stellt die Mehrfamilienhochhäuser dar, bei welchen nicht das komplette Gebäude sondern einzelne Wohnungen gemessen wurden. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Blower-Door-Messungen des Gebäudetyps 4 zusammengefasst.

Tabelle 5: Messergebnisse des Gebäudetyps 4

| Messobjekt/Geschoss | Luftwechselrate n50 | Bemerkungen |
|------------------------------|----------------------------|-------------|
| Hochhaus 1 | | |
| EG | 2,10 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 1.OG | 2,90 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 1.OG | 3,00 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 4.OG | 2,80 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 6.OG | 2,70 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 7.OG | 1,00 h ⁻¹ | Verfahren B |
| Mittelwert | 2,42 h⁻¹ | |
| Hochhaus 2a | | |
| EG | 1,70 h ⁻¹ | Verfahren B |
| EG | 0,73 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 2.OG | 0,70 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 4.OG | 0,77 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 6.OG | 0,97 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 7.OG | 0,78 h ⁻¹ | Verfahren B |
| Mittelwert | 0,94 h⁻¹ | |
| Hochhaus 2b | | |
| EG | 1,70 h ⁻¹ | Verfahren B |
| EG | 2,20 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 2.OG | 1,00 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 4.OG | 1,70 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 7.OG | 0,65 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 7.OG | 0,98 h ⁻¹ | Verfahren B |
| Mittelwert | 1,37 h⁻¹ | |
| Hochhaus 3, Gebäude 1 | | |
| EG | 2,00 h ⁻¹ | Verfahren B |
| EG | 1,30 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 1.OG | 1,10 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 2.OG | 0,71 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 3.OG | 0,70 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 4.OG | 0,60 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 5.OG | 0,86 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 5.OG | 0,55 h ⁻¹ | Verfahren B |
| Mittelwert | 0,98 h⁻¹ | |
| Hochhaus 3, Gebäude 2 | | |
| EG | 1,80 h ⁻¹ | Verfahren B |
| EG | 1,10 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 1.OG | 0,80 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 2.OG | 1,40 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 3.OG | 1,50 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 5.OG | 1,30 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 5.OG | 0,97 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 5.OG | 0,95 h ⁻¹ | Verfahren B |
| Mittelwert | 1,23 h⁻¹ | |

| Hochhaus 3, Gebäude 3 | | |
|------------------------------|----------------------------|-------------|
| EG | 0,91 h ⁻¹ | Verfahren B |
| EG | 0,85 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 1.OG | 0,71 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 2.OG | 0,74 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 3.OG | 0,57 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 4.OG | 0,54 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 5.OG | 0,82 h ⁻¹ | Verfahren B |
| 5.OG | 0,77 h ⁻¹ | Verfahren B |
| Mittelwert | 0,74 h⁻¹ | |

Das Hochhaus 1 erreicht eine Luftwechselrate von im Mittel 2,42 h⁻¹ und hat somit den schlechtesten n₅₀-Wert der Hochhäuser. Dies liegt zum einen daran, dass in diesem Hochhaus in allen Geschossen Rollladenkästen vorhanden waren, wohin gegen in den anderen Hochhäusern nur im Erdgeschoss Rollladenkästen vorhanden waren. Zum anderen wurden in diesem Gebäude auch vermehrt Leckagen im Bereich von Decken- und Fußbodenanschlüssen sowie von Fensteranschlüssen festgestellt. Im Hochhaus 2a und 2b, die sich nur durch leicht andere Grundrisse unterscheiden, wurden Luftwechselraten von im Mittel 0,94 h⁻¹ und 1,37 h⁻¹ gemessen. Hier kann man auch – bis auf eine Ausnahme – einen deutlich höheren Luftwechsel in den Erdgeschosswohnungen aufgrund der Rollladenkästen feststellen. Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei den Gebäuden des Hochhaustyps 3, bei welchen Mittelwerte von 0,98 h⁻¹, 1,23 h⁻¹ und 0,74 h⁻¹ gemessen wurden. Die Hochhäuser erreichen demnach alle die Vorgaben der EnEV, wobei sich die besten Werte um 0,74 h⁻¹ bis 1,37 h⁻¹ vor allem auch durch die nicht vorhandenen Rollladenkästen in den oberen Stockwerken ergeben.

FAZIT

Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei Standardsanierungen nachgewiesene Luftwechselraten von unter 3,0 h⁻¹ erreicht werden können und somit bei der Berechnung nach EnEV mit dem geringeren Luftwechsel von 0,6 h⁻¹ gerechnet werden kann. Dadurch ist es möglich Gebäude leichter zu KfW-Effizienzhäusern zu sanieren bzw. hier bessere Niveaus zu erreichen. Die Ergebnisse zeigen auch deutlich die Unterschiede zwischen Gebäuden mit Schrägdach und Flachdach bzw. Sanierung der oberen Geschosdecke. Bei letzteren Gebäuden werden annähernd Werte im Bereich 1,5 h⁻¹ erreicht und somit könnte bei diesen Gebäuden auch über den Einsatz von Lüftungsanlagen nachgedacht werden. Generell sollte in diesen Fällen aber genauer auf die Luftdichtheitsebene geachtet werden.

Die nächsten Messungen von Gebäuden des Typs 1 und 2 werden im März 2012 durchgeführt und in den Gebäuden werden dann erstmals Fensterfalzlüfter eingesetzt, so dass nach der Messung der reale Einfluss dieser gewollten Undichtigkeiten ermittelt werden kann. Die Ergebnisse sind dann wahrscheinlich in der Präsentation enthalten.