



Hygieneuntersuchung an Lüftungsanlagen in Wohngebäuden der Wohnbau Westfalen GmbH

Technischer Bericht

Verfasser:

Christian Heise

Martin Krajczyczek

*Prof. Dipl.-Ing. Peter Müller
Europäisches Testzentrum
für Wohnungslüftungsgeräte (TZWL) e. V.*

*Dr. Andreas Winkens
Gesellschaft für Umwelt- und Innenraumanalytik mbH (GUI)
Mönchengladbach*

1. Thema

Die Untersuchung wurde an seit mehr als 25 Jahren betriebenen Lüftungsanlagen im Hinblick auf die Hygiene der luftführenden Bauteile und auf der Energieverbräuche durchgeführt. Auf Grund des Alters der Anlagen sind die erzielten Ergebnisse von besonderem Interesse.

Es wurden fünf Wohnungen mit einer Rohrkamera inspiziert, um den Zustand der Anlagen lt. VDI 6022 zu ermitteln. Mit Hilfe der Videos wurden die Kanalsysteme optisch begutachtet. Eine mikrobiologische Untersuchung erfolgte über eine Probenentnahme auf verschiedenen Oberflächen der Anlage und der Analyse der Filter in Kooperation mit der Gesellschaft für Umwelt- und Innenraumanalytik (GUI) aus Mönchengladbach. Eine Gegenüberstellung der energetischen Verbrauchsdaten vom Zeitraum kurz nach Inbetriebnahme der Anlagen und heute soll die Energieeffizienz der Anlagen im Vergleich zu statistischen Daten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufzeigen.

Im Rahmen einer Gebäudesanierung im Zeitraum von 1980-1985 wurden Lüftungsanlagen mit Wärmepumpen in die untersuchten Immobilien verbaut. Das Gebäude, errichtet 1921, verfügte vor dem Umbau über Einzelofen-Brennstoffheizungen. Im Rahmen der Modernisierung der Wohnungen wurden, neben dem Erstbau der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, durch die Wohnungsbaugesellschaft, die Fenster und die Wärmedämmung der obersten Geschossdecke und des unteren Gebäudeabschlusses verbessert. Typisch für solche Altbauten sind die überdurchschnittlichen Raumhöhen, die bei 2,90 m liegen. Die Außenfassade wurde nicht gedämmt. Zwei unterschiedliche Wohnungstypen stehen in diesen Gebäuden zur Verfügung. Die größeren Wohnungen haben eine Grundfläche von 66,80m² und die Kleinen sind 54,85m² groß.

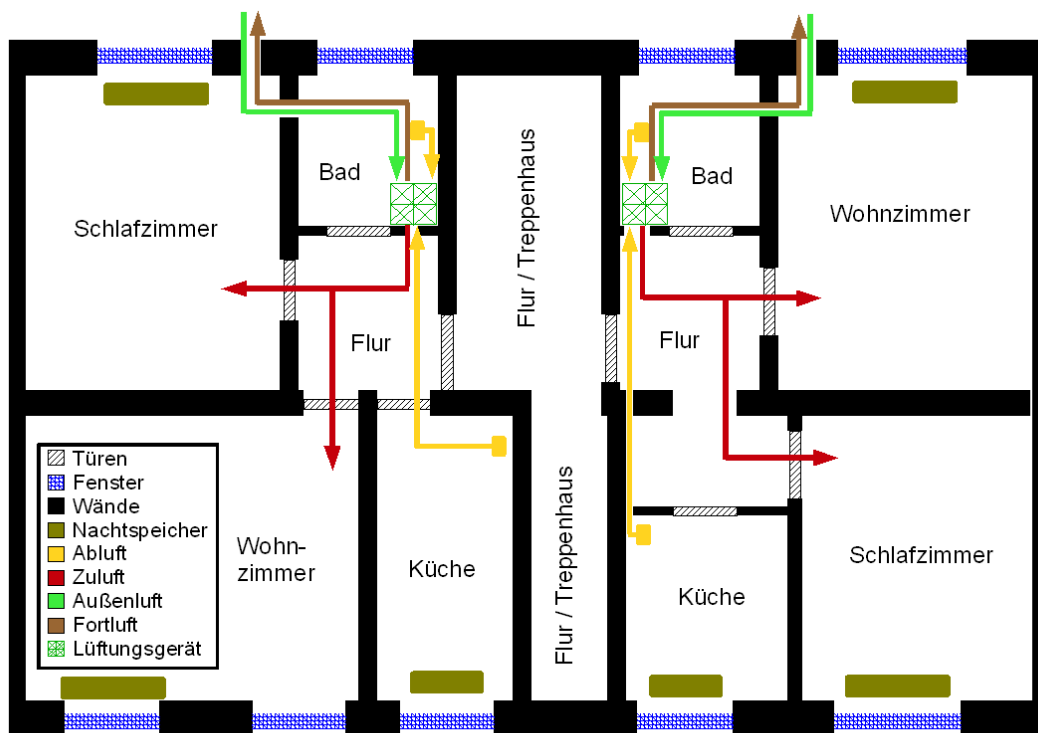


Abbildung 1 - Beispielhafter Grundriss mit prinzipiellen Aufbau der Lüftungsanlage

Die Lüftungsgeräte stehen in den Badezimmern, von wo aus das Hauptrohr (DN 125) vom Wärmetauscher zum Flur führt. Von dort teilt es sich zum Wohnzimmer und Schlafzimmer hin auf (DN 100). Bei den Lüftungsrohren handelt es sich um verzinkte Wickelwalzrohre, die durch Blechschrauben miteinander verbunden wurden. Diese Schrauben ragen in die Kanäle. Küche und Bad hängen am Abluftstrang (DN 100 → DN 125) Die Abluftrohre werden von dort über der abgehängten Flurdecke zum Gerätaufstellort geführt. Zur Überströmung zwischen Zu-/Abluftbereichen wurden die Türen um 1 cm gekürzt.

Die Dunstabzugshaube in der Küche ist mit einem speziellen, metallischen Fettfilter versehen und in die Wärmerückgewinnung eingebunden. Die Außenluft wird von der straßenabgewandten Hofseite angesaugt. In einem kombinierten Außen-/Fortluft-Element wird die Fortluft im Innenhof ins Freie geleitet. Die um 90° versetzte Luftführung vermeidet die Rückführung der Fortluft. Zur Filterung der Luft werden Grobfilter der Klasse G4 genutzt, die jährlich gewechselt wurden. Als Zusatzheizung dienen Nachtstromspeicherheizgeräte. Die Steuerung für das Lüftungsgerät und die Speicherheizungen befinden sich im Wohnzimmer. Das Warmwasser wird mit elektrischen Kleinspeichergeräten bereitgestellt.

1.1. Bildaufnahme und Abklatschprobe

Eine selbst entwickelte Rohrkanalkamera diente zur Aufnahme der Bilder in den Lüftungsrohren. Die Kamera-Optik arbeitet mit Infrarotlicht. Die Verbindungsschrauben zwischen den Rohrsegmenten machten es meist unmöglich, mit der Kamera weiter in das Rohr zu gelangen als bis zum nächsten Verbindungsstück.

Während der Inspektion wurden Bilder von den verschiedenen Bauteilen der Lüftungsanlage gemacht. Abluftseitig (Badezimmer, Dunstabzugshaube) konnten keine Videoaufnahmen gemacht werden, da kein geeigneter Zugang für die Kanalkamera zur Verfügung stand. Außerdem galt das Interesse in erster Linie dem Zustand der Zuluftleitungen. Es war möglich, in einer der Erdgeschosswohnungen Fotos des Rohrsegments zwischen Außenregister und Lüftungsgerät außen- und fortluftseitig zu machen, sowie hier auch Proben zu nehmen. Die betrachtete Rohrlänge in den einzelnen Wohnungen betrug circa drei bis fünf Meter je Zugang aus einem Raum.

Zusätzlich wurden aus dem Lüftungssystem Abklatschproben entnommen. Wegen der ebenen Ausgestaltung des Bodenträgerrohrs wurden die Abklatschproben nicht am Lüftungsrohr, sondern am Tellerventilträger entnommen. Dabei wurde ein Nährmedium (Agar aus Malzextrakt für Schimmelpilze und CASO für Bakterien) auf eine Fläche gedrückt. Die Proben wurden der GUI zur Auswertung übergeben.

Da die Untersuchung während der Filterwechsel-Arbeiten durch einen von der Wohnbau Westfalen GmbH beauftragten Installateur vollzogen wurde, konnten die benutzten Luftfilter zu weiteren Untersuchungen eingesammelt und im Folgenden durch die GUI mikrobiologisch untersucht werden. Von den Filtern wurden im Labor mikrobielle Untersuchungen der Oberflächen der Zuluft- und Abluftseite mittels Abstrichproben durchgeführt. Diese wurden mit einem mit steriler Pufferlösung befeuchteten Zellstoffstäbchen analog VDI 6022, Blatt 2, entnommen. Dabei wurde mit der Zellstoffspitze leicht über die zu beprobende Fläche gewischt. Anschließend wurde mit dem Stäbchen ein Ausstrich auf einer Malzextrakt-Agarplatte mit der Antibiotikakombination Chloramphenicol/Gentamycin durchgeführt.

Für die Untersuchung wurden die Malzextrakt-Agarplatten in einem Brutschrank für 2 bis 8 Tage bei 25°C gelagert und anschließend ausgezählt. Die mikroskopische Bestimmung erfolgte nach mindestens 8 bis maximal 14 Tagen Inkubation. Für die Untersuchung auf Bakterien wurden die CASO-Platten bei 32°C 2 Tage inkubiert und anschließend ausgezählt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in KBE (Kolonie bildende Einheit) pro Platte (25 cm²).

1.2. Ergebnis

Die Lüftungskanäle befinden sich trotz der langen Betriebszeit in einem guten Zustand. (Abbildung 2-6) Wir beurteilen den vorgefundenen Zustand als nahezu ideal. Zudem ist zu beachten, dass die verwendeten Filter nur der Filterklasse G4 entsprechen. Nach heutigem Stand der Technik ist es üblich, höherwertige Filter in solche Anlagen einzusetzen.

Insgesamt machen auch die Lüftungsgeräte einen guten Eindruck. Es wurden drei Generationen (Abbildung 7-9) vorgefunden. Die ursprünglich eingebauten Geräte (1. Generation – circa 25 Jahre Betriebszeit) sind zwar von innen verschmutzt und weisen leichte Korrosion an den Oberflächen auf, aber unter Berücksichtigung des Alters und der Tatsache, dass diese noch nie gereinigt wurden, sind sie in einem guten Zustand. Die 2. und 3. Generation der Lüftungsgeräte weisen in der 2. Generation circa 4-5 Betriebsjahre und in der 3. Generation circa 2-3 Jahre auf. Die Lüftungskanäle wurden nie gereinigt.

Es wurden über die komplette untersuchte Länge der Kanäle Putzreste gefunden, die voraussichtlich noch aus der Installationsphase stammen. Zudem wurde im unteren Bereich der Rohre ein leichter Belag festgestellt. Das zeigt zunächst optisch subjektiv, dass die Filterung der Luft funktioniert und somit keine erkennbaren negativen Einflüsse aus dem hygienischen Zustand der Lüftung für die Bewohner nachzuweisen sind.



Abbildung 2 - Zuluftrohrsegment Wohnzimmer



Abbildung 3 - Zuluftrohrsegment Schlafzimmer - Putzreste sichtbar



Abbildung 4 - Verbindungsstück mit Übergangsspalt und Blechschrauben

Das Fortluftrohrsegment erscheint sauber:



Abbildung 5 - Fortluftsegment zwischen Außenregister und Lüftungsgerät

Das Außenluftrohr weist starken Belag auf:



Abbildung 6 - Außenluftsegment zwischen Außenregister und Lüftungsgerät

Die drei verschiedenen Lüftungsgeräte:



Abbildung 7 - Lüftungsgerät 1. Generation (circa 25 Jahre in Betrieb)



Abbildung 8 - Lüftungsgerät 2. Generation (circa 3-4 Jahre in Betrieb)



Abbildung 9 - Lüftungsgerät 3. Generation (circa 1-2 Jahre in Betrieb)

2. Mikrobiologische Auswertung durch die Gesellschaft für Umwelt- und Innenraumanalytik (GUI) mbH

Die Abstrichuntersuchungen der An- und Abströmseite der untersuchten Filtereinsätze wiesen für alle untersuchten Anlagen keine signifikanten Belastungen reinluftseitig auf. Dies ist sicherlich den jährlichen Filterwechselintervallen geschuldet, die bei der aktuell verwendeten Filterklasse (G4) unabdingbar sind. Sofern reinluftseitig überhaupt Schimmelpilze oder deren Bestandteile nachzuweisen waren, handelte es sich im Wesentlichen um steriles Myzel, dass, wie der Begriff „steril“ schon ausweist, kein Wachstumspotential besitzt.

Wohnung	1				2				3				4				5				6	
Zu-/Abluft	Zu-		Ab-		Zu-		Ab-		Zu-		Ab-		Zu-		Ab-		Zu-	Zu-	Ab-	Zu-		
Bezeichnung	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	z	y	x	y
Pilzart / Probennr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Schimmelpilze, gesamt	1	4	-	-	-	1	-	-	4	2	1	-	4	3	3	-	5	1	-	2	-	6
<i>Aspergillus glaucus</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(<i>Eurotium herbariorum</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aspergillus vitis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(<i>Eurotium amstelodami</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetomium globosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Chaetomium sp.</i>	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3
<i>Penicillium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steriles Myzel	1	1	-	-	-	1	-	-	2	1	1	-	-	3	2	-	4	1	-	1	-	3

Tabelle 1 - Ergebnisse der Abstrichuntersuchungen der Filtereinsätze

Abstrichprobe [KBE/Platte]
z = Zuluft Wärmeübertrager

KBE = Koloniebildende Einheit x = blaue Seite Filter y = graue Seite Filter

Bei den Abklatschuntersuchungen der Kanäle zeigt sich ein etwas anderes Bild. Hier sind 7 von 19 Proben als „grenzwertig“, bzw. „unzureichend“ gemäß VDI 6022 zu bezeichnen. 5 Fälle betreffen davon Wohnung 5. Nachfolgende Tabelle zeigt die Grenzwerte aus dieser Hygierichtlinie für Raumluftechnische Anlagen.

KBE/25cm ²	Bewertung und Maßnahmen
< 25	Hygienisch-mikrobiologischer Zustand ist gut oder sehr gut Kein Handeln erforderlich
25 bis 100	Hygienisch-mikrobiologischer Zustand ist grenzwertig Ursache suchen, beseitigen, gründliche Reinigung oder Auswechseln. Aufnahme in Wartungsplan
> 100	Hygienisch-mikrobiologischer Zustand ist unzureichend SOFORTIGES HANDELN

Tabelle 2 - Grenzwerte analog VDI 6022 für Abklatschproben

Die jeweiligen Klassifizierungen in den folgenden Ergebnistabellen sind farblich analog zu der oben stehenden Tabelle angepasst.

In der Tabelle 2 fällt auf, dass die Zuluftprobe Nr. 16 des Schlafzimmers völlig unbelastet ist, während Wohnzimmer und Kinderzimmer stark belastet sind. Der Grund dafür war, dass die Abklatschprobe an den jeweiligen Tellerventilen und nicht im Kanal erfolgte. Das Tellerventil des Schlafzimmers wurde im Gegensatz zu den anderen vor ca. 1,5 Jahren erneuert.

Hier zeigt sich sehr deutlich der Einfluss des jahrelangen Nicht-Reinigens auf die Hygiene, bzw. der positive Einfluss des neuen Materials.

Einen solchen negativen Einfluss aus fehlender Reinigung würde man aber auch bei Flächen wie Tischplatten oder Schrank- und Türgriffen feststellen.

Wohnung	1			2			3		4				5						
Bezeichnung	Abluft	Schlafen	Wohnzimmer	Abluft	Schlafzimmer	Wohnzimmer	Wohnzimmer	Schlafen	Abluft	Außenluft	Schlafzimmer	Wohnzimmer	Außenluft Außenregister	Fortluft Außenregister	Kinderzimmer	Schlafzimmer	Wohnzimmer	Abluft Wärmeübertrager	Zuluft Wärmeübertrager
Probennr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Pilzart	1)					1)	1)		1)				2)	2)	3); 4)		3); 4)		4)
Schimmelpilze, gesamt	26	7	4	19	25	52	85	113	37	47	117	96	45	34	100%	5	100%	47	76
<i>Alternaria alternata</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aspergillus nidulans</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	-	1	2	-	1	5	1	-	3	2	-	-	-	-	-	3	-
<i>Aspergillus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	1	-	-	-
<i>Aspergillus sydowii</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botrytis cinerea</i>	-	-	-	1	4	-	-	3	-	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chrysonilia sitophila</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
<i>Cladosporium herbarum</i>	-	1	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	15	-
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cladosporium sp.</i>	10	-	-	2	2	34	64	68	2	21	75	51	31	18	50%	-	50%	-	50
<i>Epicoccum nigrum</i>	-	-	-	-	2	2	-	5	-	15	2	2	-	-	-	-	-	-	10
<i>Fusarium sp.</i>	-	-	-	1	1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Penicillium chrysogenum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Penicillium glabrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-
<i>Penicillium sp.</i>	4	1	-	8	9	6	8	19	27	-	27	26	8	10	40%	-	40%	5	10
<i>Rhizopus stolonifer</i>	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1
<i>Trichoderma sp.</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steriles Myzel	11	2	3	4	3	9	11	10	3	10	10	6	5	5	10%	2	5%	4	5
Bakterien	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 2 - Ergebnisse der Abklatschuntersuchungen der Kanäle

(*) A = Abklatschprobe [KBE/25m²] KBE = Koloniebildende Einheit

WG = Wohnung

1) Da *Trichoderma sp.*, *Chrysonilia sitophila* bzw. *Rhizopus stolonifer* die gesamte Agarfläche überwachsen hatten, konnten viele Schimmelpilz-Kolonien nicht nach ihren Arten differenziert bzw. quantifiziert werden bzw. blieben steril2) Da *Chrysonilia sitophila* die gesamte Agarfläche überwachsen hatte, konnten viele Schimmelpilz-Kolonien nicht nach ihren Arten differenziert bzw. quantifiziert werden bzw. blieben steril

3) nicht quantifizierbar, da zu viele KBE: ggf. Angabe als Prozentanteil an der Agarfläche

4) Da *Rhizopus stolonifer* die gesamte Agarfläche überwachsen hatte, konnten viele Schimmelpilz-Kolonien nicht nach ihren Arten differenziert bzw. quantifiziert werden bzw. blieben steril

2.1. Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung erreicht im Bestandsgebäude Niedrigenergiestandard

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie veröffentlicht die Jahreswerte des durchschnittlichen Endenergieverbrauchs für die Heizwärmeversorgung des Gebäudebestands der privaten Haushalte in Deutschland seit 1990. Es ergeben sich für die Jahre 2002-2006 folgende temperaturbereinigten Durchschnittswerte des Endenergieverbrauchs je m² und Jahr:

Jahr	2002	2003	2004	2005	2006
Einheit	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
q _h	189,36	184,52	174,76	168,83	167,75

Tabelle 3 – Daten Tabelle 8b BMWi – Wärmeenergieverbrauch temperaturbereinigt Gebäudebestand

Da für die untersuchten Wohnungen nur die Daten des jeweiligen Gesamtstromverbrauchs vorlagen, war es nötig, den durchschnittlichen Strombedarf für Nichtheizzwecke einer Wohnung in Deutschland zu ermitteln, um diesen von vorliegenden Gesamtstromverbrauchswerten abzuziehen. Dadurch war es möglich, einen angenäherten Wert für den Heizenergieverbrauch der betrachteten Wohnungen zu ermitteln. Längere Abwesenheitszeiten anderer Bewohner führten dabei zu negativen Verbrauchswerten. Ohne Berücksichtigung der negativen Werte beträgt dann der außentemperaturbereinigte durchschnittliche spezifische Endenergieverbrauch von 2002 bis 2006 für die Wärmeversorgung:

Haus 1: 90,65 kWh/m²a; Haus 2: 69,54 kWh/m²a; Gesamtdurchschnitt: 80,10 kWh/m²a

Die Werte korrespondieren gut mit den Messwerten aus den Jahren 1985/86:

Haus 1: 78,28 kWh/m²a; Haus 2: 69,55 kWh/m²a; Gesamtmittelwert: 73,91 kWh/m²a.

Die Endenergieeinsparung gegenüber dem durchschnittlichen Verbrauchswert im deutschen Gebäudebestand erreicht damit jährlich gegenüber dem Jahresdurchschnitt der betrachteten Gebäude:

Jahr		2002	2003	2004	2005	2006
q _h in Deutschland	[kWh/m ² a]	189,36	184,52	174,76	168,83	167,76
q _h Haus 1 u. 2	[kWh/m ² a]	82,36	75,60	70,11	82,89	67,74
Endenergieeinsparung	%	58,09%	58,65%	60,87%	54,42%	62,42%

Tabelle 4 - Endenergieeinsparung 2002-2006 im Vergleich zum deutschen Gebäudebestand

Auffällig ist, dass nur ein einziger Wert von 96 (Haus 1 – Wohnung 1 – Jahr 2002 [208,65 kWh/m²a]), voraussichtlich wegen unzureichender Mieterinformation, über dem deutschen Durchschnittsverbrauch des Gebäudebestands aller betrachteten Jahre liegt.

Auf Grundlage von GEMIS 4.5 kann auch die CO₂-Emission der jeweiligen Anlagen mit dem deutschen Gebäudebestand verglichen werden. Mit den Rahmendaten des Energieversorgers DEW21 (Wärme-Heizen-mix-DE-HH/KV-2005) ergeben sich folgende Emissionen:

Energieversorger je kWh: 0,535 kg CO₂ (Stand 17.08.09)

GEMIS 4.5 Wärme-Heizen-mix-DE-HH/KV-2005 je kWh: 0,2682 kg CO₂

Jahr		2002	2003	2004	2005	2006
q _h in Deutschland	[kg/m ² a]	50,79	49,49	46,87	45,28	44,99
q _h Haus 1 u. 2	[kg/m ² a]	42,46	40,82	36,59	41,17	33,73
CO ₂ -Emissionsvergleich	%	16,40%	17,52%	21,94%	9,09%	25,03%

Tabelle 5 – CO₂-Vergleichstabelle deutscher Gebäudebestand und Haus 1 und 2

Daraus folgt, dass trotz des überdurchschnittlich hohen CO₂-Emissionsgrades des Energieversorgers für Strom die Lüftungsanlagen auf Grund der geringeren Endenergieverbräuche auch geringere Emissionswerte im Vergleich zum deutschen Gebäudebestand aufweisen.

Die folgende Grafik zeigt den temperaturbereinigten Wärmeenergiebedarf der beiden Häuser pro m² und Jahr im Betrachtungszeitraum von 2002 bis 2006.

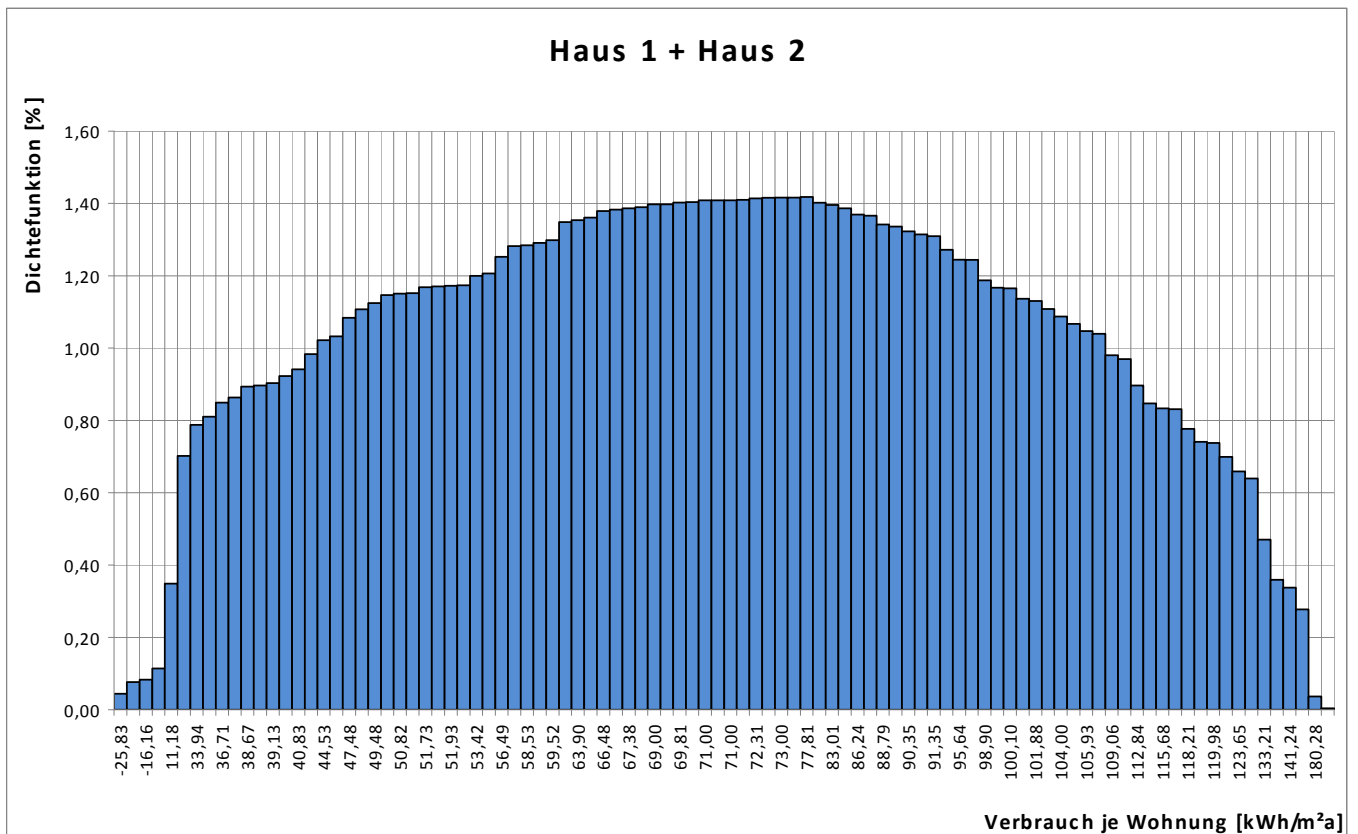


Abbildung 10- Bereinigter Wärmeenergieverbrauch [kWh/m²a] – Haus 1+2

3. Zusammenfassung

Die Inaugenscheinnahme der Luftleitungen zeigt nach den über 25 Betriebsjahren ein außerordentlich positives Bild. Ausnahme ist das Rohrsegment der Außenluftansaugung bis hin zum Gerät. Dieses Kanalstück ist stark verunreinigt.

Das Außen-/Fortluftregister an der Fassade wurde jährlich nur von außen gereinigt. Nach der Kanalinspektion erscheint eine Reinigung vor allem der Außenluftleitung unentbehrlich. Die Hygieneuntersuchung zeigt allerdings keinen Befund. Der Einsatz der G4-Luftfilter (Zu- und Abluft) reichte aus, um die Luftleitungen im dargestellten Zustand zu halten. Ablagerungen aus der Außenluft-Ansaugung dringen nicht in das Lüftungssystem der Wohnungen ein. Die Zu- und Fortluftleitungen sind nahezu sauber.

Leider kann man ausschließlich nur mit Hilfe der visuellen Inspektion keine eindeutige Aussage über die Notwendigkeit einer Reinigung des Lüftungssystems hinter dem Filtersystem treffen. Nach der Auswertung der GUI, stellt sich heraus, dass die Anlage dem von der VDI 6022 geforderten Anspruch an die Hygiene nach der über 25-jährigen Betriebszeit ohne Reinigung nicht einhält. Nach den Anforderungen der VDI-Richtlinie 6022 sind Reinigungsmaßnahmen jetzt notwendig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich eine beliebige Vergleichsfläche in den Wohnungen bereits nach kurzer Zeit in einem Zustand befinden würde, der nach 6022 ebenfalls Maßnahmen erforderlich macht. Dennoch ist, da die erzielte Luftqualität ein wichtiges Argument für die Wohnungslüftung darstellt, in einer weiteren Untersuchung zu ermitteln, in welchem Zeitintervall Luftleitungsreinigungen zur Einhaltung der Anforderungen notwendig sind.

Die vor ihrer Modernisierung mit Einzelöfen beheizten Mietwohnungen erzielen nach Einbau der Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung Heizenergieverbrauchswerte in Höhe von rd. 80 kWh/m²a, wie sie für Niedrigenergiegebäude typisch sind. Gegenüber dem Durchschnittswert des Gebäudebestandes erreicht die Endenergieeinsparung im Durchschnitt über 50 %. Trotz hoher CO₂-Emissionskennwerten des Energieversorgers erreicht auch die CO₂-Emissionsminderung durchschnittlich rd. 20 %