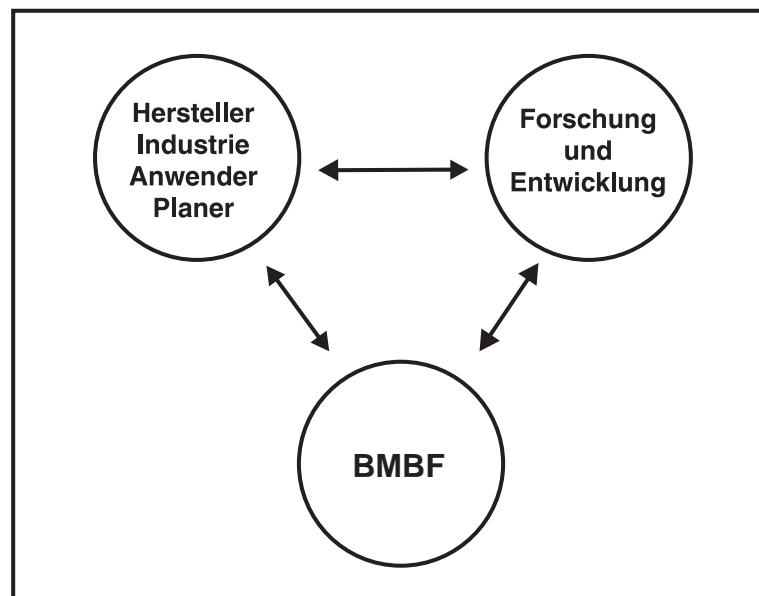


Edgar Beck

Energieverbrauch, -einsparpotenzial und Grenzwerte von Lüftungsanlagen



Forschungsberichte

Energieverbrauch, -einsparpotenzial und Grenzwerte von Lüftungsanlagen

Herausgeber: FIA-Projekt – Forschungs-Informations-Austausch
unterstützt durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

im Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.
Danziger Straße 20
74321 Bietigheim-Bissingen
Tel.: 0 71 42/5 44 98
www.fgk.de

Projektleiter: Dr. Edgar Beck
Wermsdorf

Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen

Vom Fachbereich Architektur
der Universität und Gesamthochschule Kassel
genehmigte

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtschaftsing.
Edgar Beck
aus Wermsdorf

angenommen am
8. März 2000

mündlich geprüft am
7. Juni 2000

veröffentlicht am
10. Juli 2000

Hauptberichter
Prof. Dr.-Ing. G. Hausladen
Mitberichter
Prof. Dr.-Ing. G. Hauser

Kurzfassung

Ziel der Arbeit ist es,

- Grundlagen für die Festlegung von
- und Vorschläge für Grenzwerte des Energiebedarfs (elektrisch und thermisch) von Lüftungsanlagen zu erarbeiten.

Um dies zu erreichen wird in einem Analyseteil

- das bestehende Regelwerk zu diesem Thema (auch in anderen Ländern) untersucht,
- der Stand der Technik von Lüftungsanlagen festgestellt (Häufigkeit, Druckverluste und Wirkungsgrade von Komponenten),
- ein Vergleich der technischen Daten von Lüftungsanlagen in Deutschland und in Dänemark gezogen und
- der Markt Deutschland analysiert (Grösse, Preise, Struktur, Energiebedarf).

Resümee daraus ist ein sogenanntes Referenzgerät, mit dem Lüftungsanlagen unterschiedlicher Funktion bezüglich Druckverlust, Wirkungsgrad und Energiebedarf abgebildet werden können.

In einem zweiten Teil werden die Verursacher des Energieverbrauches

- die Luftleistung
- der Druckverlust
- die Effizienz der Luftförderung

hinsichtlich der Einsparmöglichkeiten und des -potentials untersucht.

Wichtigstes Ergebnis ist, dass der Strombedarf in allen Bereichen durch technische Verbesserungen und geringere Beaufschlagung (Geschwindigkeit) deutlich reduziert werden kann.

Dass dies praktisch möglich ist, beweisen die Erfahrungen in Ländern wie Dänemark, Schweden und der Schweiz. Allerdings ist eine Reduktion des Energiebedarfs nur mit entsprechenden Vorschriften oder Normen realisierbar.

Ein eigenes Kapitel ist der möglichen Reduktion des Wärme-/Kältebedarfs durch Wärmerückgewinnung gewidmet. Auch hier wird nur etwa die Hälfte des möglichen Potentials genutzt, obwohl Wärmerückgewinnung an sich Stand der Technik ist.

Der wirtschaftlich vertretbare Druckverlust bzw. die dazu gehörenden Anlagekosten werden mit Wirtschaftlichkeitsrechnungen jeweils für das Lüftungsgerät und das Kanalsystem untersucht. Bei einer 15-jährigen Lebensdauer einer Anlage dürfen die Druckverluste für Zu- und Abluft zusammen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten für

- das Lüftungsgerät maximal 620 Pa
- das Kanalsystem maximal 550 Pa betragen.

Damit können unter Einbeziehung der Erfahrungen in anderen Ländern folgende Grenzwerte für den Energiebedarf von Lüftungsanlagen vorgeschlagen werden:

1. Bezüglich des Wärmebedarfs:

Wärmerückgewinnung mit einer Rückwärmzahl von mindestens 50% bei trockenem Betrieb und einem Massenstromverhältnis von 1,0 ist Pflicht (GWW ¹⁾ 50).

2. Bezüglich des Strombedarfs:

Es gibt drei Grenzwerte (GWE ²⁾), die durch die Summe der spezifischen elektrischen Leistungsaufnahme von Zu- und Abluft gekennzeichnet sind:

	Zuluft	Abluft	Einheit
GWE 3500	2000	1500	W / m ³ /s
GWE 2400	1400	1000	W / m ³ /s
GWE 1800	1000	800	W / m ³ /s

Bei Einhaltung dieser Grenzwerte ist im Vergleich zur Istsituation eine Einsparung beim

- Wärmeverbrauch von mindestens 20%
- Stromverbrauch von ca. 25% zu erwarten.

¹⁾ Grenzwert Wärmebedarf

²⁾ Grenzwert Elektroenergiebedarf

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2	7.6.	Energiebedarf	31
1. Aufgabenstellung	5	7.6.1.	Antriebsenergie	31
2. Hinweise zur Arbeit und zur Darstellung	6	7.6.2.	Lüftungswärme	33
3. Bestehende Richtlinien und Vorschriften	7	7.6.3.	Gesamtenergie	33
3.1. Europa	7	7.7.	Luftkanäle	33
3.2. Deutschland	7	7.8.	Preisgestaltung	34
3.3. Italien	8	7.9.	Marktverhalten	34
3.4. Dänemark	8	7.9.1.	Planung	34
3.5. Schweden	8	7.9.2.	Ausschreibung und Angebot	34
3.6. Schweiz	8	7.9.3.	Auftrag	35
4. Stand der Technik	10	7.9.4.	Ausführung	35
4.1. Art der Anlagen	11	7.9.5.	Inbetriebnahme	35
4.2. Kanäle	11	7.9.6.	Zusammenfassung	35
4.3. Filter	11	8. Luftleistung und Energiebedarf	36	
4.4. Luftherhitzer	11	8.1.	Subjektive Luftqualität	36
4.5. Luftkühler	11	8.2.	Industriehallen	36
4.6. Befeuchtung	12	8.3.	Sauerstoffbedarf	36
4.7. Schalldämpfer	12	8.4.	Luftbehandlung	37
4.8. Wärmerückgewinnung	12	8.5.	Erfahrung	37
4.9. Ventilator	12	8.6.	Zusammenfassung	37
4.10. Motor	13	9. Druckverlust und Energiebedarf	38	
4.11. Kraftübertragung	13	9.1.	Luftkanäle	38
4.12. Referenzanlage	13	9.2.	Filter	40
5. Anlagedaten	15	9.3.	Luftherhitzer	41
5.1. Gesamtdruck	17	9.4.	Luftkühler	41
5.2. Ventilator	17	9.5.	Befeuchtung	41
5.3. Motor	19	9.6.	Schalldämpfer	42
5.4. Kraftübertragung	19	9.7.	Gesamtanlage	42
5.5. Gesamtwirkungsgrad der Luftförderung	21	9.7.1.	Auswirkungen	42
5.6. Spezifische elektrische Leistungsaufnahme	21	9.7.2.	Lüftungsgerät	42
6. Technischer Stand in Dänemark	24	9.7.3.	Besondere Möglichkeiten der Druckverlustreduktion	43
7. Der Markt Deutschland	28	9.8.4.	Zusammenfassung	43
7.1. Marktgrösse	28	10. Effizienz der Luftförderung	46	
7.2. Luftleistungen	29	10.1.	Ventilator	46
7.3. Spezifische Preise	30	10.2.	Motor	47
7.4. Marktstruktur	31	10.3.	Kraftübertragung	48
7.5. Anlagen in Deutschland	31	10.4.	Leistungsregelung	48
		10.5.	Gesamtaggregat Luftförderung	49
		10.5.1.	Gesamtwirkungsgrad	49
		10.5.2.	Einbauverluste	50
		10.5.3.	Teillastbetrieb	51
		11. Wärmebedarf	52	
		11.1.	Lüftungswärmebedarf	52

11.2.	Lüftungskältebedarf	52	15. Mögliche Energiegrenzwerte für Lüftungsanlagen	84
11.3.	Transmissionswärmeverlust	54	15.1. Grenzwerte	84
11.4.	Zusammenhang zwischen Jahreswärmebedarf und Jahresantriebsenergie	55	15.1.1. Wärmebedarf	84
			15.1.2. Elektroenergiebedarf	84
12. Wärmerückgewinnung		56	15.2. Planungshinweise	86
12.1.	Rückwärmzahl	56	15.2.1. Druckverluste	87
12.2.	Druckverlust	57	15.2.2. Gesamtwirkungsgrad der Luftförderung	88
12.3.	Um- / Nachrüstbarkeit	59	15.3. Dokumentation	88
12.4.	Datensicherheit / -kontrolle	59	15.4. Ausblick	88
12.5.	Mögliche Reglementierung	59	Literaturverzeichnis	90
12.5.1.	Limitierung des Lüftungswärmebedarfs	59	Ergänzende Kommentare und Hintergrundinformationen	93
12.5.2.	Klassifizierung des Wärmerückgewinners	59	Verwendete Formelzeichen	99
12.5.3.	Zusammenfassung	60	Verwendete Indices	100
13. Wirtschaftlichkeit		61	Verwendete Abkürzungen	100
13.1.	Wirtschaftlichkeitsrechnung	61		
13.2.	Druckverlust Kanalsystem	63		
13.3.	Druckverlust Lüftungsgerät	69		
13.4.	Wärmerückgewinnung	74		
14. Überlegungen zur Festlegung von Grenzwerten		76		
14.1.	Umfang	76		
14.2.	Gültigkeitsbereich	76		
14.3.	Einfachheit	77		
14.4.	Praxiskonformität	77		
14.5.	Überprüfbarkeit	77		
14.6.	Betriebsbedingungen	77		
14.7.	Anzahl der Grenzwerte	78		
14.8.	Kompatibilität	78		
14.9.	Luftbehandlung	78		
14.10.	Vertikale Grenzwerte	79		
14.11.	Horizontale Grenzwerte	79		
14.12.	Spezifische Werte	80		
14.13.	Betriebsarten	81		
14.13.1.	Reine Zuluftanlagen	81		
14.13.2.	Reine Fortluftanlagen	81		
14.13.3.	Lokal getrennte Zu- und Abluftanlagen	81		
14.13.4.	Umluftbetrieb	82		
14.13.5.	Mischluftbetrieb	82		
14.13.6.	Variabler Volumenstrom	82		
14.14.	Wirkleistung	82		
14.15.	Akzeptanz	83		
14.16.	Bezeichnung	83		

1. Aufgabenstellung

Schwerpunkt der Arbeit ist der thermische und elektrische Energiebedarf der Raumlufttechnischen Anlagen in Deutschland.

Ausgangslage 1997

Im Jahr 1997 wurden in Deutschland ca. 38 000 Raumlufttechnische Anlagen installiert [1]. Diese fördern insgesamt etwa 658 Mio. m³ Luft pro Stunde (Zu- und Abluft); dafür wird eine elektrische Antriebsleistung von ca. 325 000 kW benötigt. Mindestens 40% davon sind Verluste durch Ventilatoren, Motore, Riemenantriebe und Leistungsregelungen.

Der Lüftungswärmebedarf für die Zuluft dieser Anlagen (= 350 Mio. m³/h) beträgt an einem kalten Wintertag (-12 °C aussen, 20 °C innen) etwa 3,7 Mio. kW, wovon allerdings 20% durch Wärmerückgewinnung eingespart werden.

Wenn diese Anlagen nur 2 350 Betriebsstunden pro Jahr (das ist etwa 1-Schicht-Betrieb) arbeiten, dann erhält man einen jährlichen Bedarf an

- elektrischer Antriebsenergie von 770 Mio. kWh
- Lüftungswärme von 1800 Mio. kWh (Wärmerückgewinnung bereits berücksichtigt!)

Jährlicher Energiebedarf der Anlagen Deutschlands

Legt man den technischen Stand des Jahres 1997 für die Normlebensdauer einer Anlage von 15 Jahren zugrunde [2] (praxisgerechter wäre ein Wert von mindestens 20 Jahren [3]), so benötigen die Lüftungsanlagen in Deutschland jährlich:

- an Antriebsenergie ca. 11,5 Mio. MWh
- an Lüftungswärme ca. 26,5 Mio. MWh

Für diesen riesigen Energiebedarf gibt es derzeit in Deutschland keine bindenden Richt- oder Grenzwerte (im Gegensatz zur Wohnungslüftung, die durch die WSchVO reglementiert wird).

Dies gilt für Planung, Betrieb und Ausführung; d.h., weder die Druckverluste der Komponenten sind limitiert noch gibt es Mindestwerte für deren Effizienz.

Auch Wärmerückgewinnung aus der Fortluft ist nicht vorgeschrieben.

Aufgabenstellung

Für die Raumlufttechnischen Anlagen in Deutschland ist zu erarbeiten:

- Wie ist der Stand der Technik?
- Wo gibt es Einsparpotentiale?
- Wie hoch sind diese?
- Welche Energiegrenzwerte sind möglich?
- Wie lassen sich diese erreichen?

Nicht betrachtet wird die Effizienz der Wärme- / Kälteerzeugung und der Befeuchtung, da diese in der Regel Bestandteil eines anderen Gewerks sind.

Ein Blick auf die Situation und das Verhalten anderer Länder ist sinnvoll.

2. Hinweise zur Arbeit und zur Darstellung

Für die Darstellung wird Lüftungstechnisches Fachwissen vorausgesetzt. Zitierte Literatur [...], ergänzende Kommentare {...}, verwendete Formelzeichen, Indices, Abkürzungen und Fragebögen sind am Ende der Arbeit aufgeführt. Die Beschriftung der Kurven in den Diagrammen erfolgt entsprechend der Reihenfolge von oben nach unten bzw. von links nach rechts. Da die Arbeit auf Computer mit Schweizer Tastatur erstellt wurde, war die Möglichkeit, ein „ß“ zu schreiben, nicht immer gegeben.

Alle marktbezogenen Daten (Marktgröße, -struktur, Preis usw.) und technischen Werte (Leistungen, Wirkungsgrade usw.) sind aus den Jahren 1997 und 1998. Sie sind zeitabhängig und zwingen deshalb zu einer temporären Pauschalierung. Genauigkeit bis auf die x-te Stelle nach dem Komma ist somit nicht sinnvoll.

Marktanalyse RLT-Anlagen

Wichtige Grundlage dieser Arbeit ist eine nicht veröffentlichte Marktstudie [1], die 1998 und 1999 erstellt wurde. Befragt wurden dazu Hersteller von Lüftungsgeräten:

- 11 aus Deutschland
- 2 aus Dänemark
- 1 aus Holland
- 1 aus Österreich

Folgende Aussagen wurden in der Studie ausgewertet:

- Firmenumsatz mit Exportanteil
- Verkaufskonditionen (Brutto- und Nettopreise, Margen)
- Art und Häufigkeit der Lüftungsgeräte (Zuluft-, Abluft-, Zu- und Abluft-, Kombi-, Dachgeräte)
- Anzahl der Geräte je Größe / Luftleistung

- Häufigkeit von Komponenten für Zu- und Abluft, deren Wirkungsgrade und Druckverluste
- Systeme der Wärmerückgewinnung, deren Häufigkeit und Wirkungsgrade

Diese Ergebnisse sind die Grundlage für Kapitel 4 (Stand der Technik) und Kapitel 7 (Der Markt Deutschland) und werden im weiteren auch „**Umfrage**“ genannt.

Ein besonderer Teil der Studie verarbeitet die technischen Daten für Zu- und Abluft realisierter oder projektierte Anlagen:

- Luftleistung
- Gesamtdruck
- Wirkungsgrade von Ventilator, Motor, Kraftübertragung und Leistungsregelung

Diese Daten sind vor allem Grundlage für Kapitel 5 (**Anlagedaten**); unter diesem Begriff werden sie deshalb in dieser Arbeit auch an anderen Stellen zitiert.

Alle Angaben in der Studie wurden mit den Befragten persönlich oder telefonisch diskutiert, so dass Missverständnisse weitgehend ausgeschlossen werden können. Trotzdem sind viele Einzelwerte kritisch zu betrachten, da sie auf der Erfahrung des Befragten und nicht auf statistischem Material beruhen. Dieses fehlt leider in den meisten Firmen, besonders für den Anteil von Ausführungen und von Komponenten.

Insgesamt ergibt sich aber trotzdem aus der Summe aller Antworten ein detailliertes Bild für Markt und Technik im Jahr 1997. Da die Daten dieser Umfrage vertraulich sind, können nur die Gesamtergebnisse in dieser Arbeit zitiert werden. Die in Deutschland befragten Hersteller repräsentieren etwa 70% des deutschen Marktvolumens.