

Forschungsprogramm "Elektrizität"



Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte für Kleinventilatoren mit hohem Wirkungsgrad

ausgearbeitet durch

Arbeitsgemeinschaft

Jürg Nipkow, ARENA, 8006 Zürich

Peter Graf, Basler & Hofmann, 8029 Zürich

Urs Steinemann, Ingenieurbüro, 8832 Wollerau

Im Auftrag des

Bundesamts für Energie

Mai 1998

Schlussbericht

Zusammenfassung

Der Elektrizitätsverbrauch von Kleinventilatoren in der Schweiz beträgt 0.5 bis 1% des Landesverbrauchs. Kleinventilatoren (\leq ca. 1000 m³/h) werden in verschiedenen Bauformen – aber immer als Kompaktventilatoren, also mit integriertem Motor – für sehr unterschiedliche Anwendungen eingesetzt. Bei vielen Anwendungen liegt der resultierende Gesamtwirkungsgrad unter 10% und könnte stark verbessert werden.

Für die wichtigsten Anwendungen wurden geschätzte Stückzahlen, Leistungsaufnahme und Betriebsdauer zusammengestellt und daraus der massgebende Stromverbrauch ermittelt. Mit der Methode der Nutzwertanalyse wurden darüber hinaus technisch-wirtschaftliche Aspekte des Ersatzes und der zukünftigen Entwicklung berücksichtigt. Als interessanteste Anwendungen aus Sicht des Stromsparpotentials erwiesen sich gewerbliche Kühlung, Schaltschrank- und sonstige Apparatekühlung, Wohnungs-Abluft-Ventilatoren (Bad/WC/Küche u.a.) sowie – im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung – die kontrollierte Wohnungslüftung.

Das Marktangebot an Kleinventilatoren wurde anhand von Katalogdaten bezüglich Wirkungsgrad untersucht und im Vergleich mit früheren Wirkungsgrad-Erhebungen (BFE-Zielwerte 1993) dokumentiert. Es ergibt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Technik einer Produktreihe und dem erzielten Wirkungsgrad im jeweiligen Leistungsbereich. In einem besonderen Abschnitt wird auf die entsprechenden (Effizienz-) Technologien eingegangen.

Als Schwerpunkte für weitere Arbeiten zur Effizienzsteigerung bei Kleinventilatoren werden vorgeschlagen:

- **Präzisierung der SIA-Empfehlung V382/3 bezüglich Wirkungsgrad im Bereich Kleinventilatoren sowie Schaffung von Grundlagen für ein Energie-Label (in Anlehnung an das Energie 2000 Label für Büro- und Heimelektronikgeräte).**
- **Für die Aus- und Weiterbildung sollen "Materialien" zum Thema "Energie-effiziente Kleinventilatoren" zusammengestellt werden, welche für Lehrkräfte einfach erhältlich und einsetzbar, aber auch für Praktiker unmittelbar nützlich sind.**
- **Grundlagen zu "Effizienz-Techniken" sollen (u.a. zuhanden der Aus- und Weiterbildung) genauer analysiert, dokumentiert und weiterentwickelt werden. Zur Umsetzung ist die Industrie einzubinden. Es soll dazu eine Kompetenzgruppe an der Fachhochschule Zentralschweiz geschaffen werden. Ein dort neu erstellter Prüfstand für Kleinventilatoren wird z.B. in nächster Zeit Messungen von Wirkungsgraden und besondere Untersuchungen, z.B. Wirkungsgradeinbussen durch gewisse Einbausituation, erlauben.**
- **Die Anwendungen Kühlung von Apparaten (inkl. gewerbliche Kühlung, Schaltschränke etc.) sowie kontrollierte Wohnungslüftung sollen mit noch zu priorisierenden Folgeprojekten bezüglich effizienten Ventilator-Einsatzes genauer untersucht und die betroffenen Planer und Ausführenden direkt angesprochen werden.**

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichtes verantwortlich.

Abstract

Electricity consumption of small fans amounts to approximately 0.5 to 1% of the total Swiss electricity consumption. Small fans (with volume rates up to about 1000 m³/h) exist with different design configurations for great variety of applications - however all with integrated drive. In many applications the resulting overall-efficiency is below 10% - and, accordingly, could be considerably improved.

Quantity of fans, input power and hours of operation were compiled for the most important applications and from these data the averaged electricity consumption was deduced. Technical and economical aspects of replacement and future development were analyzed with the method of the usefulness-value-analysis. From the view point of the electricity saving potential the following applications showed to be among the most interesting ones: auxiliary fans for refrigeration in food trade, cooling of switch cabinets and other apparatus, fans in dwellings ventilation: bath/ WC/ kitchen exhaust and also - when taking also the future development into consideration - heat recovery ventilation.

Efficiency data of a great number of small fans available on the market were collected, compared and documented. Efficiency depends clearly on the technology of a product – with respect to its size. Efficiency technologies are described in a special section of the report.

The following key points are proposed with the final goal to lead to the introduction of highly efficient small fans on the market:

- Requirements for fan efficiency in the recommendation SIA V382/3 (Swiss Engineers and Architects Association) should be revised with special consideration of small fans. These requirements might also serve as a basis for efficiency-labeling.
- Training tools on the subject of "energy-efficient small fans" shall be composed. Such documents and other means shall be made easily available and will be immediately useful for teachers and trainers as well as for practitioners.
- Basics of efficiency technologies have to be further developed. A competent technology group – involving manufacturer and trade companies – on the topic should be set up at the "Fachhochschule Zentralschweiz" (Central Swiss Technical Institute of Lucerne). A new test rig for small fans built there is available for support.
- **Specific projects shall be started to improve system efficiency in the applications "fans for cooling of switch cabinets and other apparatus" and fans for heat recovery ventilation in dwellings.**

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG, AUFGABENSTELLUNG	6
2. VORGEHEN	7
2.1 Begriffe, Bauformen, Gliederung	7
2.2 Anwendungen und Kennwerte, Energieverbrauch	8
2.3 Marktanalyse	8
2.4 Nutzwertanalyse	8
2.5 Bestimmung von Massnahmen und Folgeprojekten	11
3. ERGEBNISSE	12
3.1 Elektrizitätsverbrauch von Kleinventilatoren nach Anwendung	12
3.2 Auswertung des Marktangebotes	15
3.3 Prüfstand für Kleinventilatoren an der Fachhochschule Zentralschweiz	20
3.4 Effizienz-Techniken	21
3.5 Gewerbliche Kühlung	26
3.6 Schaltschrank- und andere Apparatkühlung	28
3.6 Kontrollierte Wohnungslüftung	29
4. FOLGEPROJEKTE (VORSCHLÄGE)	33
4.1 Label / Anforderungen	33
4.2 Aus- und Weiterbildung, "Materialien"	34
4.3 Energie-Effizienz bei Kleinventilatoren zur Kühlung von Schaltschränken und anderen Apparaten	35
4.4 Effiziente Kleinventilatoren bei der kontrollierten Wohnungslüftung	36
4.5 Kompetenzgruppe "Effizienz-Techniken für Kleinventilatoren"	39
5. LITERATUR- UND INTERNET-HINWEISE	41
6. ANHANG SEITE	49
A1 Systematik der Kleinventilatoren	A1 49

A2 Marktangebot Detailauswertung A4	49
A3 Kriterien und Bewertung Nutzwertanalyse A10	49
A4 Diskussionsvorschlag für neue Wirkungsgrad-Anforderungen A15	49
A5 Beispiel Wirtschaftlichkeitsbetrachtung DC/AC-Kleinlüfter A17	49
A6 Adressliste von Kleinventilatoren-Anbietern A19	49

6. ANHANG 50

A1 Systematik der Kleinventilatoren	50
A2 Marktangebot Detailauswertung	53
A3 Kriterien und Bewertung Nutzwertanalyse	54
A4 Diskussionsvorschlag für neue Wirkungsgrad-Anforderungen	55
A5 Beispiel Wirtschaftlichkeitsbetrachtung DC/AC-Kleinlüfter	56

1. Einleitung, Aufgabenstellung

Zielsetzungen und erwartete Ergebnisse

(aus dem Projektbeschrieb, angepasst)

Der Elektrizitätsverbrauch von Kleinventilatoren in der Schweiz dürfte in der Grössenordnung von 0.5 bis 1% des Landesverbrauchs liegen. Angesichts der häufig unter 10% liegenden Wirkungsgrade des heutigen Angebots ist ein beachtliches Sparpotential vorhanden, wenn ähnliche Verbesserungen wie bei Klein-Umwälzpumpen [1] realisierbar sind. Weil der Energieverbrauch bzw. der Wirkungsgrad auch in diesem Bereich bisher kaum ein Thema war, sind zweifellos grosse Verbesserungen möglich. Sicher ist dies bei Spaltpol- und kleinen Asynchronmotoren sowie bei Radialventilatoren mit Trommelläufer (vorwärtgekrümmte Schaufeln) der Fall. Angesichts der grossen Variation der Bauformen ist eine Analyse der Motor- und Laufradtypen sowie Einbausituationen mit Berücksichtigung des Wirkungsgrades notwendig. Damit soll die Entwicklung wirkungsgradoptimierter Systeme (Folgeprojekt) auf die punkto Sparpotential und Wirtschaftlichkeit interessantesten Formen bzw. Anwendungen konzentriert werden. Mit Wirkungsgraden von 30 bis 50% (statt oft unter 10%) und allfälligen weiteren Optimierungen von Dimensionierung und Steuerung (Drehzahlregelung mittels Elektronikmotor) kann auf längere Sicht ein Sparpotential von gegen 50% des anwendungsbezogenen Verbrauchs, also bis 0.5% des Landesverbrauchs bzw. 250 GWh/a erwartet werden.

Mit den Ergebnissen des Projekts kann beurteilt werden, für welche Anwendung und mit welchen Partnern die Weiterbearbeitung im Rahmen von **Folgeprojekten** sinnvoll ist. Ansatzpunkte für die weitere Umsetzung (zukünftige Verbreitung verbesserter Klein- bzw. Kompaktventilatoren) werden bereits im vorliegenden Projekt erarbeitet, z.B. Informationswege, Anreize, technische Richtlinien, Vorschriften, mit Schwerpunkt im Bereich Haustechnik.

Das Projekt wurde vom engeren Projektteam (3 Autoren) in Zusammenarbeit mit einer breit abgestützten Begleitgruppe abgewickelt. In dieser sind neben dem Auftraggeber BFE (Bundesamt für Energie, vertreten durch M. Stettler und R. Brüniger) auch die interessierte Fachhochschule Zentralschweiz (ehem. Zentralschweizer Technikum Luzern ZTL), 3 Industriepartner und mit A. Stoev ein Elektronikspezialist vertreten. R. Fraefel ist im Bereich Einzelraum-Lüftungs-/WRG-Gerät aktiv. Nachstehend die Adressen von Team und Begleitgruppe:

Herr J. Nipkow	ARENA	Schaffhauserstrasse 34, 8006 Zürich
Herr U. Steinemann	Ingenieurbüro	Schwalbenbodenstr. 15, 8832 Wollerau
Herr P. Graf	Basler & Hofmann	Forchstr. 395, 8029 Zürich
Herr R. Brüniger	R. Brüniger AG	Isenbergstrasse 30, 8913 Ottenbach
Herr M. Stettler	BFE	Belpstrasse 36 / PF, 3003 Bern
Herr Dr. Th. Staubli	ZTL Luzern	Technikumstrasse, 6048 Horw
Herr Zinniker	Bonotec AG	Niesenstrasse 6, 3510 Konolfingen
Herr A. Rust	Ziehl-EBM AG	Wiesenstrasse 10, 8952 Schlieren
Herr Joss	Siegenia-Frank AG	Zelgstrasse 97, 3661 Üetendorf
Herr Dr. A. Stoev	IDS AG	Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich
Herr R. Fraefel	Architekturbüro	Hansenburg 6, 8627 Grüningen

Für die wertvolle Mitarbeit dankt das Projektteam hiermit den Mitgliedern der Begleitgruppe herzlich.

2. Vorgehen

Das Projekt wurde durch die im Kapitel 1 genannte Begleitgruppe unterstützt. In zwei längeren Sitzungen wurden der Projektstart sowie in der Schlussphase die Massnahmen-Schwerpunkte ausführlich diskutiert. Durch ein Mailing wurden weitere an der Mitarbeit interessierte Firmen aus dem Anbieterkreis von Kleinventilatoren ermittelt. Nebst den in der Begleitgruppe vertretenen waren drei weitere Firmen bereit, durch Lieferung von Katalogunterlagen mitzuwirken: Anson AG, Zürich, Helios AG, Urdorf, Trivent AG, Triesenberg (FL).

Als unabhängig finanziertes, begleitendes Projekt konnte der Bau eines Prüfstandes für Kleinventilatoren an der Fachhochschule Zentralschweiz initiiert werden. Im Rahmen einer Semesterarbeit wurde bereits ein Ventilator ausgemessen und die Messergebnisse mit Theorie und Datenblatt verglichen. Weitere Messprojekte, etwa zu Auswirkungen der Einbausituation, werden folgen.

2.1 Begriffe, Bauformen, Gliederung

Begriffe

Kleinventilatoren	Volumenstrom \leq ca. 1000 m ³ /h, elektrische Leistungsaufnahme \leq ca. 150 W (keine starre Grenze, aber nur Kompaktventilatoren)
Kompaktventilatoren	mit integriertem Motor (nicht Normmotor). Im Projekt werden nur Kompaktventilatoren betrachtet.
V. ohne Gehäuse	nur Laufrad mit Motor wird angeboten. Die Leistungsdaten sind aber mit Gehäuse gemessen!
Axial / Radial	wird nach Laufradform unterschieden, nicht Einbaukonfiguration.
Leistungsaufnahme	elektrisch, da nur Kompaktventilatoren betrachtet
Lüfter	als Synonym für Klein-/Kleinstventilatoren gebraucht
(DC) brushless	bürstenlose Kleinventilatoren, vor allem als Lüfter für Elektronik, enthalten einen elektronisch kommutierten Permanentmagnetmotor.
EC	Electronic Commutation (= elektronisch kommutierter Permanentmagnetmotor)

Bauformen, Gliederung

Eine ausführliche Systematik findet sich im Anhang A1. Sie stützt sich auf die in einem früheren Projekt (Zielwerte) des Bundesamtes für Energie (BFE) verwendete Gliederung zur Erhebung von Daten für Kompaktventilatoren ("Ventilatoren mit Motor"). Aus den verschiedenen Kombinationen von Laufradtypen (Axial, Radial) mit Gehäuseformen und Motoren ergibt sich eine grosse Vielfalt.

Die wichtigsten, auch in der Auswertung des Marktangebotes unterschiedenen Kategorien sind:

- Radialventilatoren mit Gehäuse, vorwärts- und rückwärtsgekrümmte Schaufeln

- Axialventilatoren mit Gehäuse sowie ohne Gehäuse
- Bad-/WC-Abluftventilatoren für Schacht-/Rohranschluss \varnothing 100 bis ca. 160 mm
- Dachventilatoren, Kanal- und Rohrventilatoren (i.d.R. mit Radialrädern)
- Elektroniklüfter axial, DC brushless, z.T. auch mit 230 V AC Motor erhältlich

Im erfassten Marktangebot wenig vertreten sind billige Radial- und Axialventilatoren, wie sie, z.T. ohne Gehäuse, in den Bereichen gewerbliche- und Apparatekühlung, Wärmepumpenverdampfer, Kleinklimageräte u.ä. vom Apparatehersteller direkt importiert und eingebaut werden. Solche werden in der Schweiz nicht hergestellt und auch kaum angeboten.

2.2 Anwendungen und Kennwerte, Energieverbrauch

Die zu Projektbeginn vorliegende grobe Zusammenstellung der Anwendungen von Kleinventilatoren konnte in mehreren Schritten verfeinert werden. An einer Startsituzung mit am Projekt mitwirkenden Industriepartnern und Anwendern wurden wertvolle Hinweise zur Erweiterung der Zusammenstellung mit kostenrelevanten Daten (z.B. Lebensdauer-Stromkosten) eingebracht. Die Recherchen zu Stückzahlen und Stromverbrauch ergaben teilweise bezüglich Energierrelevanz überraschende Anwendungs-Schwerpunkte, insbesondere in den Bereichen gewerbliche Kühlung sowie Schaltschrank- und Apparatekühlung (vgl. Tabelle und Grafik im Kapitel 3).

2.3 Marktanalyse

Die **technologische Recherche** basiert hauptsächlich auf der Auswertung von Katalogdaten. Für die Standortbestimmung wurden zusätzlich die Ergebnisse der Datenerhebung 1993 im Auftrag des BFE für das Projekt "Zielwerte für Serienprodukte" (Energienutzungsverordnung ENV) beigezogen. Die Marktanalyse konnte durch Hinweise von mitwirkenden Firmen und weiteren Mitgliedern der Begleitgruppe gegliedert und bewertet werden. Die Detailergebnisse finden sich im Anhang A2, eine Uebersicht im Kapitel 3. Die dort eingetragenen Wirkungsgrad-Anforderungen der Empfehlung SIA V382/3 zeigen, dass für den Bereich Kleinventilatoren (Linien gestrichelt), wie offenbar erwartet, die Anforderungen zu präzisieren sind. Insbesondere liegen die Wirkungsgrade der meisten angebotenen Kleinventilatoren weit unter den Anforderungslinien.

2.4 Nutzwertanalyse

Aus den Zusammenstellungen von Anwendungen und zugehörigem Energieverbrauch ergeben sich wenig eindeutige Angaben zu Sparpotentialen, weil die zukünftige Entwicklung (Stückzahlen pro Anwendung, Wirkungsgrad) nicht einfließt. Auch bleiben die Interessen von Anbietern und Kunden noch unberücksichtigt. Um Prioritäten für Massnahmen bzw. Entwicklungen unter Einbezug gesamtwirtschaftlicher und energiepolitischer Kriterien zu beurteilen, wurde die Methode der Nutzwertanalyse [2] im Projektteam eingesetzt. Vorgehen und Ergebnisse werden im folgenden kurz beschrieben.

Ausgangslage

Kleinventilatoren kommen als Komponenten von ganz verschiedenen Geräten zur Anwendung. Energiepolitisch interessiert, bei welcher Anwendung und wie mit einem

verhältnismässig geringen Aufwand möglichst bald eine substanzielle Reduktion des gesamtschweizerischen Elektrizitätsverbrauchs erzielt werden kann.

Zwei Schritte

In einem ersten Schritt sollen die im geschilderten Zusammenhang interessantesten Anwendungen von Kleinventilatoren ermittelt werden. In einem zweiten wird dann analysiert, mit welchen Hilfestellungen eine Verbesserung ausgelöst oder beschleunigt werden kann.

Sparpotential durch viele Faktoren bestimmt

Das Sparpotential wird einerseits durch mehr oder weniger technische Faktoren wie Verbrauch, Sparpotential, Verbreitung und Wachstumspotential bestimmt, andererseits durch die Interessen von Anbieter und Kunden. Um diese ganz verschiedenen und grundsätzlich nicht vergleichbaren Faktoren miteinander in eine einfache, nachvollziehbare Beziehung zu bringen und im Hinblick auf das Sparpotential zu bewerten, wird die Nutzwertanalyse angewendet.

Vorgehen im Team:

1. **Zielerarbeitung:** Definition der Zielkriterien inkl. Erfüllungsbedingungen und entsprechende Zuordnung von Noten. (Festlegung: Note immer von 1 bis 5).
2. Gemeinsame **Zielgewichtung**
3. **Beurteilung** der verschiedenen Anwendungsformen von Kleinventilatoren. Die Noten werden von jedem Team-Mitglied unabhängig vergeben und nur dort angepasst, wo in einer anschliessenden Diskussion neue, im voraus nicht allen bekannte Argumente eingebracht werden. Es wird der ungerundete Mittelwert der drei Noten weiterverwendet.
4. **Wertsynthese:** Note x Gewicht = Teilnutzwert. Addition der Teilnutzwerte zum Gesamt-Nutzwert (Maximalwert = Summe der Gewichte x 5, Minimalwert = Summe der Gewichte x 1).

Nachstehend die **Haupt- und Teilziele** mit Kurzformulierung des Zielkriteriums. Die ausführliche Beschreibung mit Notenbedingungen findet sich im Anhang A3.

Haupt-/Teilziel	Zielkriterium	relatives Gewicht
Einsparung:		
Verbrauch	hoher Verbrauch, d.h. relevantes Sparpotential	1
Sparpotential	grosses relatives Sparpotential	1
Wachstumspotential	Marktsegment mit grossem Wachstumspotential	1
Kundenmotivation:		
Wirtschaftlichkeit	Einsatz bzw. Ersatz des Ventilators ist wirtschaftlich	1
Schall	kein störender Schallpegel	0.3
Anreiz	klarer Anreiz für Einsatz bzw. Ersatz des ganzen Systems	0.7
Marktbeeinflussung:		
Herstellermotivation	Nutzen für den Hersteller auf dem CH Markt	1
Marktanteil	Interesse der Systemhersteller am Schweizermarkt	1
Umsetzungsgeschwindigkeit:		
Nutzungsdauer	geringe Nutzungsdauer ® rascher Einsatz neuer Technik	0.7

In Bild 2.1 sind die Ergebnisse dargestellt, wie sie nach einer Diskussion im Rahmen der Begleitgruppe erhalten wurden. Dabei wurde die Bewertung des Teilnutzwerts "Einsparung" so angepasst, dass dieser von einem geschätzten absoluten Sparpotential (in GWh/a) in 10 Jahren ausgeht. Die ausführliche Zusammenstellung der Kriterien und Bewertungen findet sich im Anhang A3.

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse bestätigt teilweise die vermuteten Schwerpunkte (gewerbliche Kühlung, kontrollierte Wohnungslüftung, Schaltschranke und Apparatekühlung), ergab aber doch zusätzliche Gewichte bei PC/Bürogeräte, Küchenabluft einzeln und zentrale Abluft Bad/WC/Küche sowie Haushalt-Tumbler.

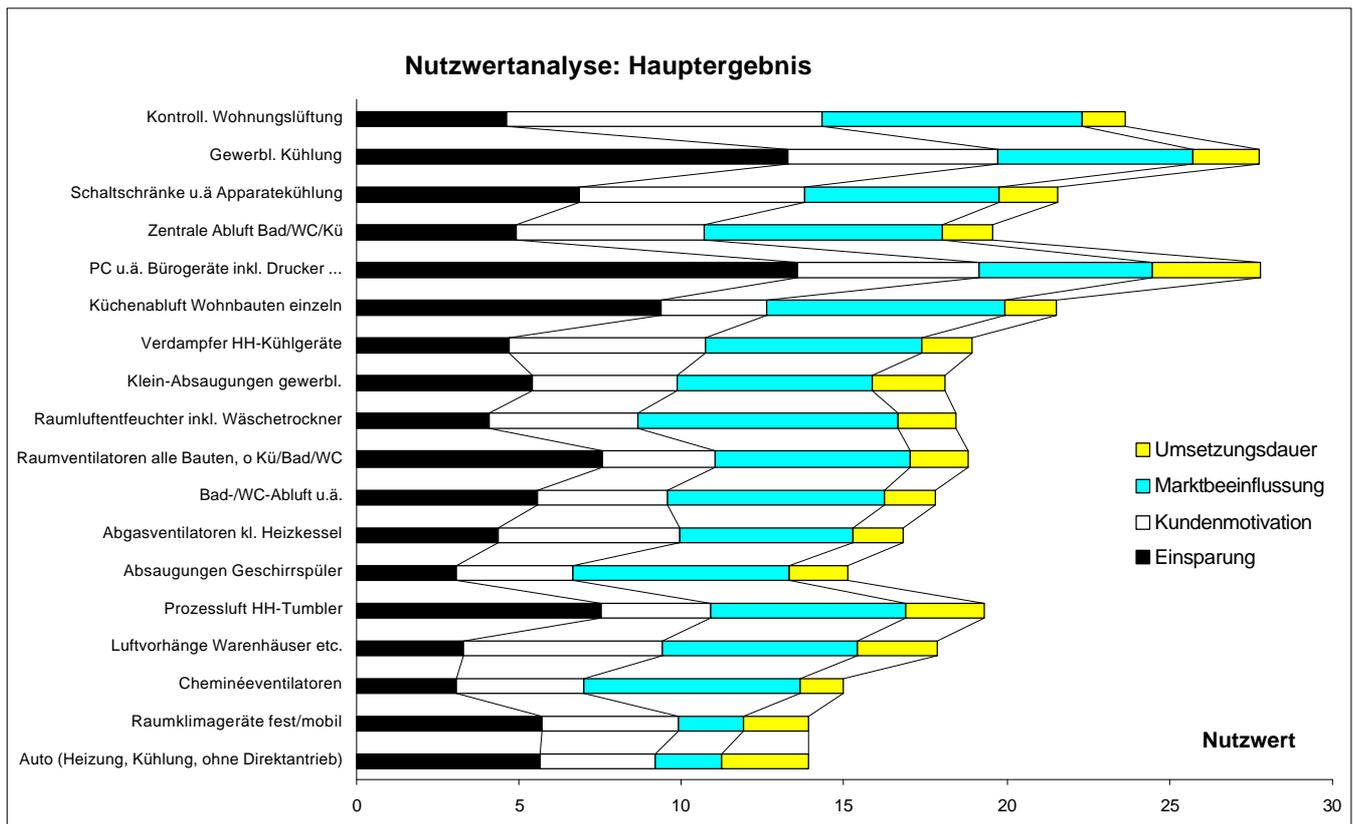


Bild 2.1 Hauptergebnis der Nutzwertanalyse "Anwendungen von Kleinventilatoren"

Von den zusätzlichen "Spitzenreitern" wurden in der Diskussion zwei für die weiteren Aktivitäten als nicht prioritär betrachtet:

- PC/Bürogeräte, weil kaum Einfluss auf die technische Entwicklung genommen werden kann und die Verbrauchsentwicklung eher unsicher ist
- Haushalt-Tumbler, weil bei einem unbekanntem Teil der Prozessluftventilator im Zuluftstrom angeordnet und damit heizwirksam ist.

2.5 Bestimmung von Massnahmen und Folgeprojekten

In der abschliessenden Projektsitzung mit der Begleitgruppe wurde, nach Diskussion der Nutzwertanalyse, eine Zusammenstellung von Massnahmen überarbeitet und von den Teilnehmern bezüglich Relevanz (Nutzen, Wünschbarkeit) bewertet. Daraus ergab sich die in Bild 2.2 dargestellte Gewichtung. Mit diesen Massnahmen sollen die primären technischen Ziele unterstützt werden: Gesamtwirkungsgrad-Erhöhung durch Verbesserungen von Ventilator-/Motorwirkungsgrad, luftseitige Wirkungsverbesserungen sowie energiesparende Steuerungsmassnahmen.

Die Schwerpunkte der Begleitgruppe (inkl. Projektteam) liegen einerseits bei den Anwendungen kontrollierte Wohnungslüftung und zentrale Abluft und andererseits bei den Aktionen Aus- und Weiterbildung sowie Anforderungen für Wirkungsgrade und Standards/Label, wie den entsprechenden Spalten- und Zeilensummen zu entnehmen ist. Die Zurückhaltung bei der Anwendung "Schaltschränke u.ä. Apparatetechnik" dürfte z.T. darauf zurückzuführen sein, dass dieser Bereich wenig bekannt ist.

Aus diesen Vorarbeiten resultierten die Massnahmen bzw. Folgeprojekte, welche im Kapitel 4 eingehend dargestellt sind.

Anwendung	Massnahmen						Summe x = 151	
	Anforderungen für Wirkungsgrade (z.B. SIA-Empfehlung)	Standards, Label und andere Kommunikation guter Wirkungsgrade	Aus- und Weiterbildung, Planungs- und Optimierungshilfsmittel	Betriebsoptimierung durch Betreiber verbessern	Anerkannte Prüfmöglichkeit für Kleinventilatoren (für Label, Publikation...)	Förderbeiträge		
	34	26	41	19	16	15		
Kontrollierte Wohnungslüftung	XXXXX XXXXX	XXXXX XXXXX XXX	XXXXX XXXXX XX	XXXXX X	XXXXX XXXXX	XXXXX XXXXX	XXXXX XXXXX	61
Gewerbliche Kühlung	XXXXX XX	XXXX	XXXXX XXX	XXXX	X	X	X	25
Schaltschränke u.ä. Apparatetechnik	XX		XX	XXX		X	X	8
Küchenabluft (-umluft) Wohnbauten einzel	XXXXX X	XXXXX	XXXXX XX	X	XXX	X	X	23
Zentrale Abluft Bad/WC/Kü.	XXXXX XXXX	XXXX	XXXXX XXXXX XX	XXXXX	XX	XX	XX	34

Bild 2.2 Bewertung von unterstützenden Massnahmen zur Verminderung des Stromverbrauchs von Kleinventilatoren durch Projektteam und Begleitgruppe

3. Ergebnisse

3.1 Elektrizitätsverbrauch von Kleinventilatoren nach Anwendung

Ausgehend von einer schon im Projektentwurf vorgelegten Tabelle wurden die wichtigsten Anwendungen von Kleinventilatoren zusammengestellt und in einer Tabelle (Bild 3.1) der Elektrizitätsverbrauch mit den jeweiligen Basisannahmen hochgerechnet:

- Stückzahl im Betrieb (Schätzung)
- Leistungsaufnahme P1
- Betriebsstundenzahl pro Jahr
- Verbrauchs-Relevanz (Korrektur bei Heizwirksamkeit oder Kühlungs-Notwendigkeit)

Kleinventilatoren: Relevanz	Sortiert nach:									
	ca. Mio. Stück (CH)	P1 ca. W	ca. Std./a	kWh/a, Stk.	ca. GWh/a	Ver- brauchs- Relevanz*	ca. GWh/a korrigiert*	(Lebens) Dauer der Anwendung	Preis (-Anteil) Endabnehmer, Fr. **	Verhältnis LD- Stromkosten /Preis
Gewerbl. Kühlung (Verdampfer, Verflüssiger, Verdichterkühlung)	0.5	20	4000	80	40	1.5	60	10	40	6
Raumventilatoren einzel, o. Kü/Bad/WC	0.8	100	600	60	48	1	48	15	200	0.9
Küchenabluft Wohnbauten einzel	1.2	100	400	40	48	1	48	15	100	1.2
Schaltsschränke u.ä. Apparatekühlung	1	10	4000	40	40	1	40	15	25	4.8
PC u.ä. Bürogeräte inkl. Drucker...	4	5	2000	10	40	0.7	28	5	40	0.2
Klein-Absaugungen gewerbl.	0.5	50	1000	50	25	1	25	10	100	1
Zentrale Abluft Bad/WC/Kü.	0.1	50	4000	200	20	1	20	15	800	0.8
Auto (Heizung, Kühlung, ohne Direktantrieb)	2	20	500	10	20	1	20	8	40	0.4
Prozessluft HH-Tumbler	0.5	250	500	125	63	0.3	19	10	100	0.8
Bad-/WC Abluft u.ä. einzel	1.5	20	500	10	15	1	15	15	100	0.3
Raumklimageräte fest/mobil, P1= 2 Venti	0.2	80	500	40	8	1.5	12	10	100	1.2
Verdampfer HH-Kühlgeräte	0.5	10	4000	40	20	0.5	10	12	40	1.2
Abgasventilatoren kl. Heizkessel	0.1	40	2000	80	8	1	8	12	40	4.8
Luftvorhänge Warenhäuser etc.	0.005	1000	2000	2000	10	0.8	8	10	1000	3.2
Raumluftentfeuchter inkl. Wäschetrockner	0.1	150	1000	150	15	0.3	4.5	10	100	0.9
Kontroll. Wohnungslüftung	0.005	200	4000	800	4	0.5	2.0	15	100	12.0
Cheminéeventilatoren (33% aller EFH)	0.2	50	150	8	1.5	0.7	1.1	15	200	0.1
Absaugungen Geschirrspüler	0.2	10	500	5	1	0.5	0.5	10	40	0.1
Heizgeräte (El.Speicher/direkt, Händetrockner...)	3	40	500	20	60	0	0	10	40	0
Haartrockner, Heizlüfter	5	20	200	4	20	0	0	8	10	0
Total bzw. Mittel					466	0.66	308.8			0
* Verbrauchs-Relevanz: reduziert wenn Ventilator-Energie heizwirksam, erhöht wenn wegzukühlen.										
** bzw. Preisanteil wenn in Gerät eingebaut										

Bild 3.1 Datengrundlagen zu Kleinventilatoren-Anwendungen

Die Grafik Bild 3.2 zeigt das Hauptergebnis der Tabelle, nämlich den jährlichen Stromverbrauch der Anwendungen absolut sowie korrigiert, d.h. unter Berücksichtigung der Heizwirksamkeit bzw. der Kühllast der Abwärme von Ventilator und Motor.

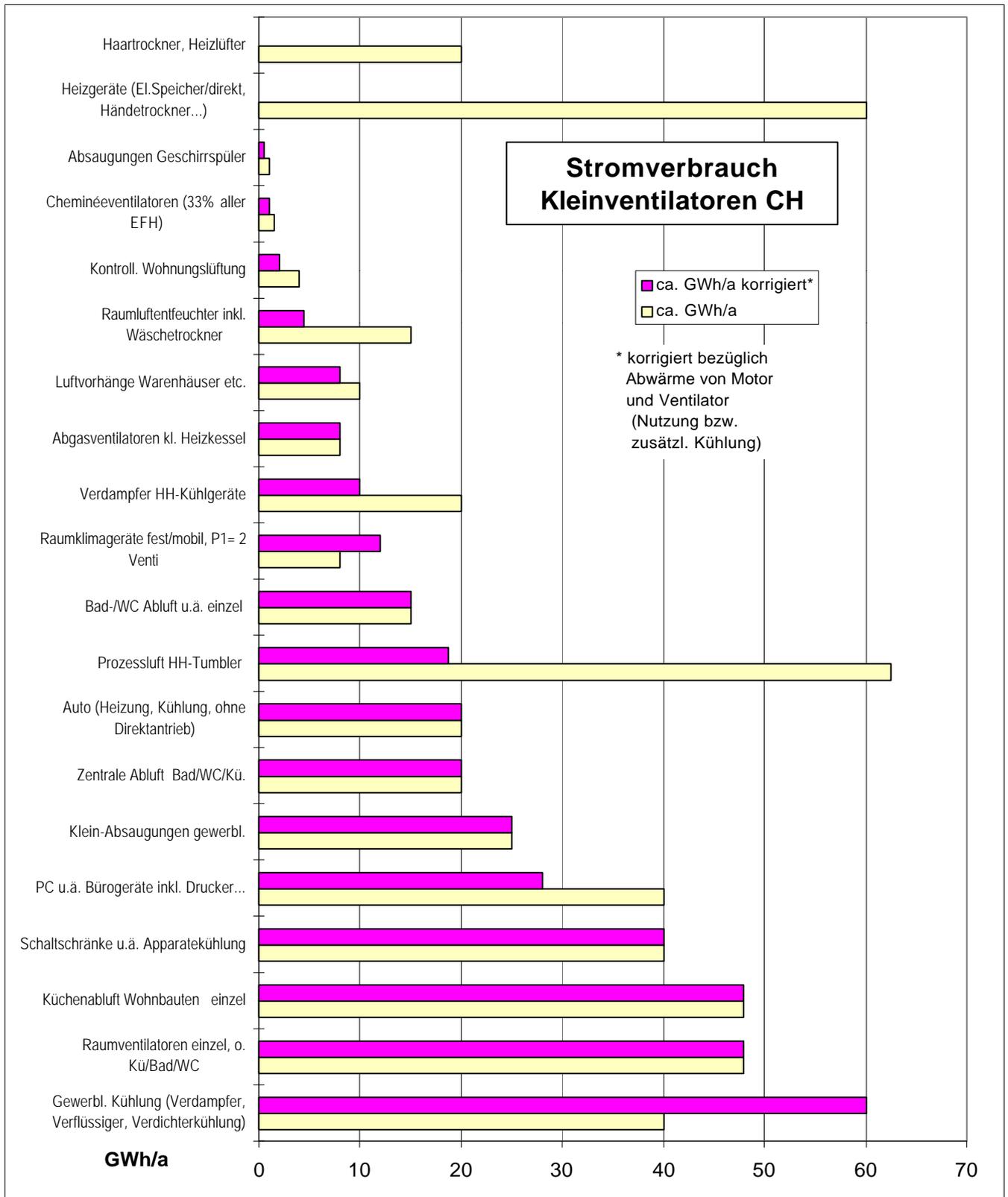


Bild 3.2 Stromverbrauch von Kleinventilatoren in der Schweiz, absolut und korrigiert, nach Anwendung

In der Tabelle (Bild 3.1) wurde ein erster Versuch gemacht, die energiewirtschaftliche Bedeutung mit dem Verhältnis "Lebensdauer-Stromkosten / Preis" zu quantifizieren. Je grösser diese Verhältniszahl, umso mehr lohnt sich eine (kostenträchtige) Wirkungsgradverbesserung bei der entsprechenden Anwendung. Da jedoch die zukünftige Entwicklung hier nicht einfließen konnte, wurde ein weitergehender Ansatz mit der Nutzwertanalyse versucht. Deren Ergebnis ist in Kapitel 2.4 dargestellt.

3.2 Auswertung des Marktangebotes

Aus den verfügbaren Katalogdaten wurde eine repräsentative Auswahl von Kompaktventilatoren verschiedener Typen und Bauformen ausgewertet. In fast allen Fällen war es möglich, den **Wirkungsgrad-Bestpunkt** aufzunehmen. Dazu ist allerdings anzumerken, dass gerade Kompaktventilatoren (etwa für Apparatetechnik) oft weit entfernt vom Bestpunkt betrieben werden. Diese Problematik ist jedoch in der Umsetzung "Aus- und Weiterbildung" zu bearbeiten.

Für die grafische Darstellung der Wirkungsgrade (im Bestpunkt) wurden 2 Varianten benutzt:

a) η in Funktion der (luftseitigen) Nutzleistung ($P_N = V \cdot \Delta p$)

Damit ergibt sich eine physikalisch saubere Zuordnung, da η ein Leistungsverhältnis ist.

b) η in Funktion des Volumenstromes V

Dies ergibt eine für Praktiker verständlichere Aussage, da Ventilatoren primär nach Volumenströmen bemessen bzw. beurteilt werden. Allerdings erscheinen dabei Ventilatoren mit grösserer Druckerhöhung eher als "zu gut", weil ihr Wirkungsgrad-Wert bei einem vergleichsweise kleinen Volumenstrom abgebildet wird (vgl. Gruppe "DC brushless Radial" in Bild 3.7).

In beiden Fällen ist es sinnvoll, für die Abszisse (Nutzleistung oder Volumenstrom) einen logarithmischen Massstab zu wählen, da sonst bei grösseren Bereichen die kleinen Werte stark zusammengedrängt werden.

In den folgenden Bildern mit den Auswertungen nach Ventilator-Kategorien sind deshalb die Bestpunkt-Wirkungsgrade linear in Funktion des logarithmisch aufgetragenen Volumenstroms dargestellt. Im Anhang A2 findet sich neben den Katalogdaten auch eine Gegenüberstellung der Darstellungen in Funktion der Nutzleistung und des Volumenstroms.

Wirkungsgrad-Anforderungen nach der Empfehlung SIA V382/3

Um energie-effiziente Lüftungsanlagen zu fördern, wurden in der Empfehlung SIA V382/3 [3] Anforderungen gemäss Bild 3.3 eingeführt und in einem später erstellten Merkblatt "Luftförderung mit kleinem Energiebedarf" des BFE [4] aufgenommen und erläutert. Diese Anforderungswerte beziehen sich vor allem auf Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und damit auf grössere Volumenströme bzw. Ventilatoren. Deshalb sind die Kurven auch unterhalb 2'500 m³/h punktiert. Informationshalber haben wir die Kurven in die Gesamtdarstellung der Kleinventilator-Wirkungsgrade aufgenommen, wobei die lineare Funktion unterhalb 15'000 m³/h in der logarithmischen Darstellung gekrümmt erscheint.

Bild 3.3

Wirkungsgrad-Anforderungen nach der Empfehlung SIA V382/3

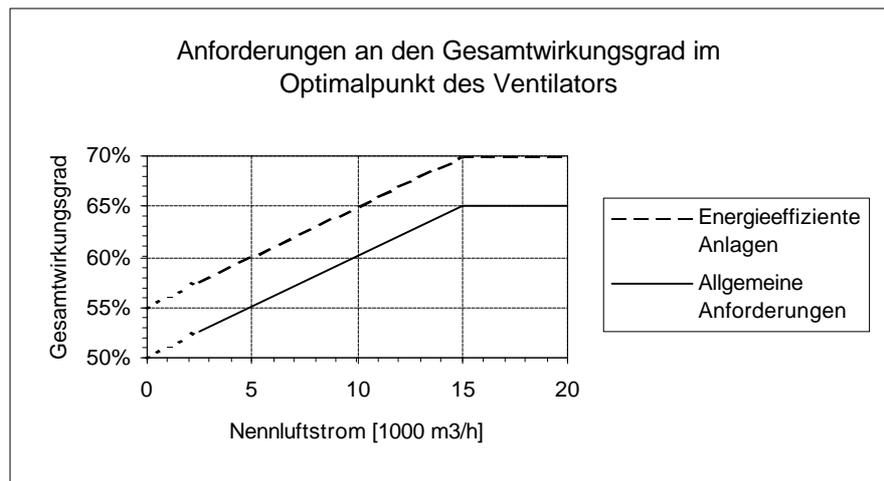
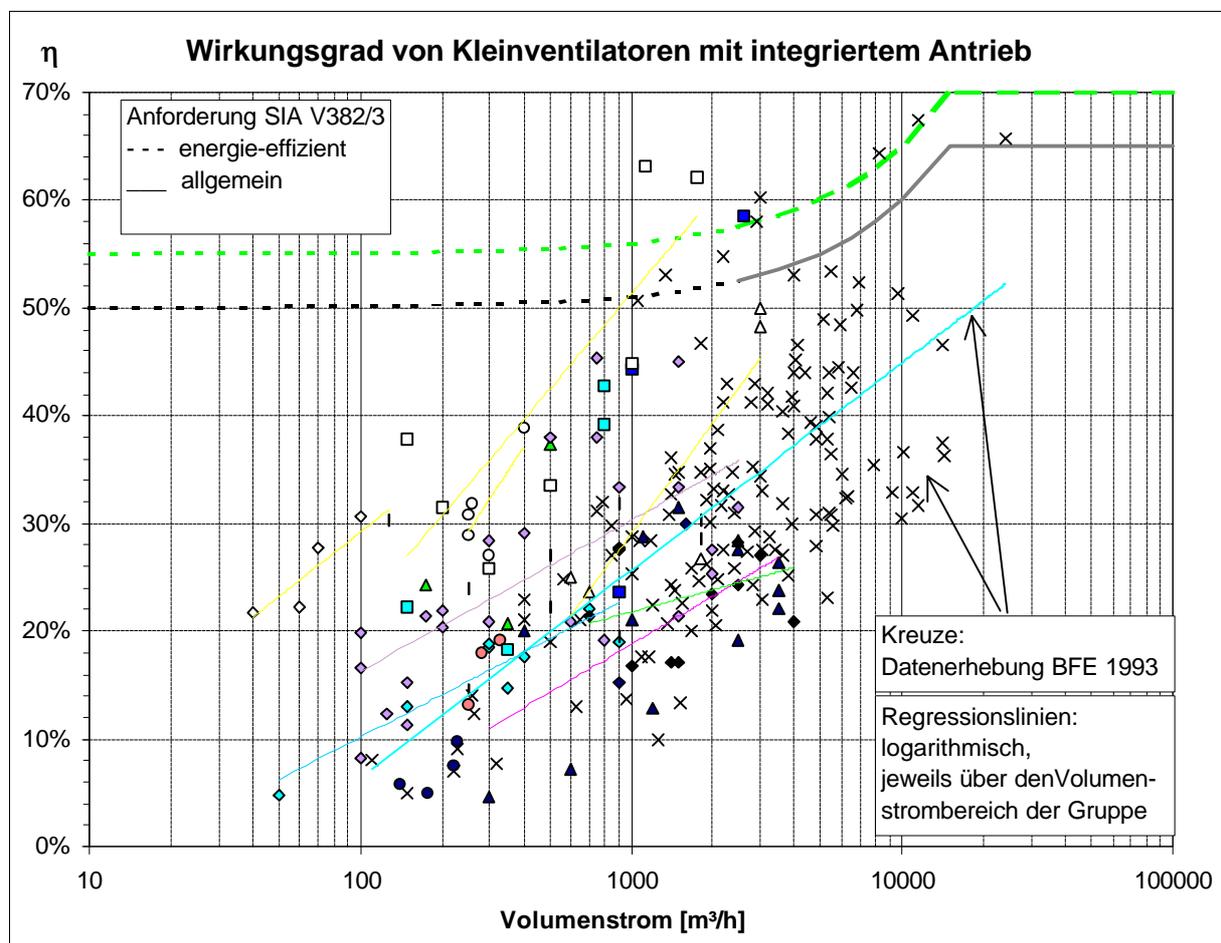


Bild 3.4 (unten)

Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt, in Funktion des Volumenstroms. In diesem Bild sind alle Ventilator-Gruppen der Bilder 3.5 bis 3.8 sowie der BFE-Datenerhebung 1993 zur Uebersicht und zum Vergleich mit den SIA V382/3 – Anforderungen zusammengefasst. Aus den Regressionslinien der neu erhobenen Gruppen lässt sich – mit zwei Ausnahmen – eine deutliche Wirkungsgrad-Verbesserung



gegenüber der Erhebung 1993 (x) ersehen.

Datenerhebung Kompaktventilatoren des Bundesamtes für Energie BFE 1993

Das BFE beabsichtigte vor einigen Jahren, für Ventilatoren Wirkungsgrad-Zielwerte einzuführen, analog zu den Energieverbrauchs-Zielwerten für Haushaltgeräte. Aus verschiedenen Gründen wurden schliesslich keine Zielwerte erlassen, sondern u.a. das

Merkblatt [4] erstellt. Die für das Vorhaben erhobenen Wirkungsgrad-Daten sind jedoch nach wie vor eine interessante und weitgehend gültige Datenbasis. Deshalb sind diese älteren Daten (BFE 1993) in den folgende Bildern z.T. als Datenpunkte, z.T. als Regressionslinie zur Orientierung eingetragen. Die Regressionslinie ist in den Bildern 3.5 bis 3.9 bis zu 0% Wirkungsgrad verlängert, was natürlich in der Praxis nicht vorkommt, sich aber in der einfach logarithmischen Darstellung ergibt.

Für die folgenden Bildlegenden gilt:

R steht für Radial, A für Axial, T für Trommelläufer (vorwärtsgekrümmte Schaufeln), r für rückwärtsgekrümmte Schaufeln.

Die Strichlinie "log. Regr. BFE '93" ist die bis zur Nulllinie verlängerte Regressionslinie der im Auftrag des BFE 1993 erhobenen Daten von Kompaktventilatoren.

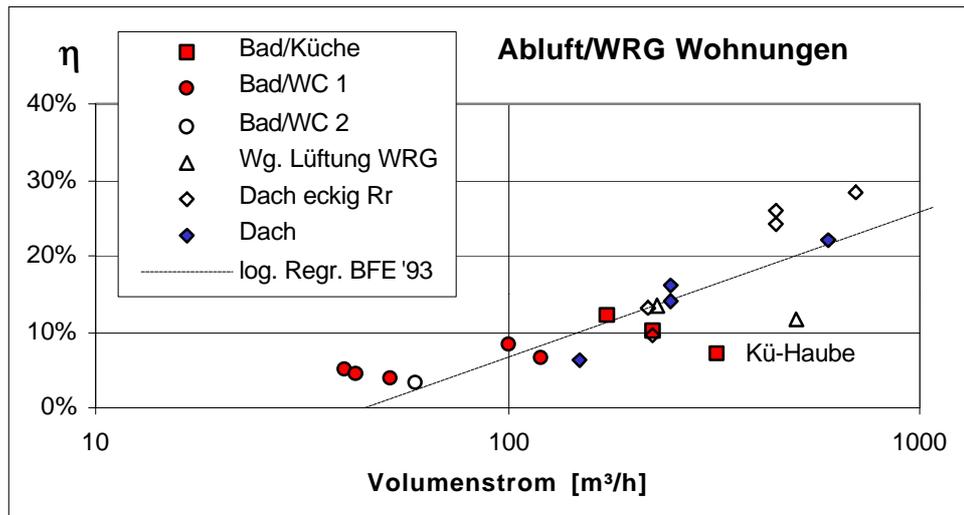


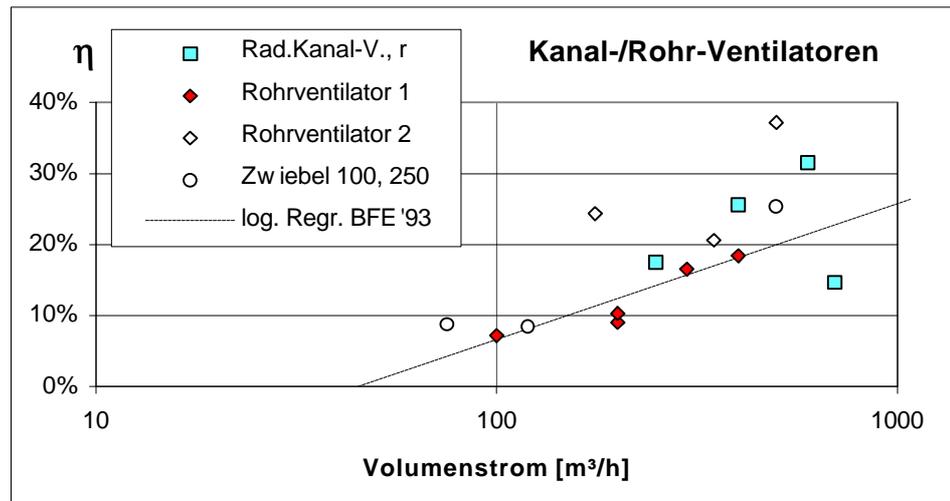
Bild 3.5

**Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt:
Abluft Wohnungen**

Es sind beträchtliche, über den Grösseneffekt (vgl. Regressionslinie) hinausgehende Unterschiede festzustellen. Die Daten der beiden ungünstigsten Typen enthalten bereits Druckverluste von Luftfiltern und sind deshalb nicht direkt vergleichbar. Auffallend die guten Werte der Dachventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln (Rr).

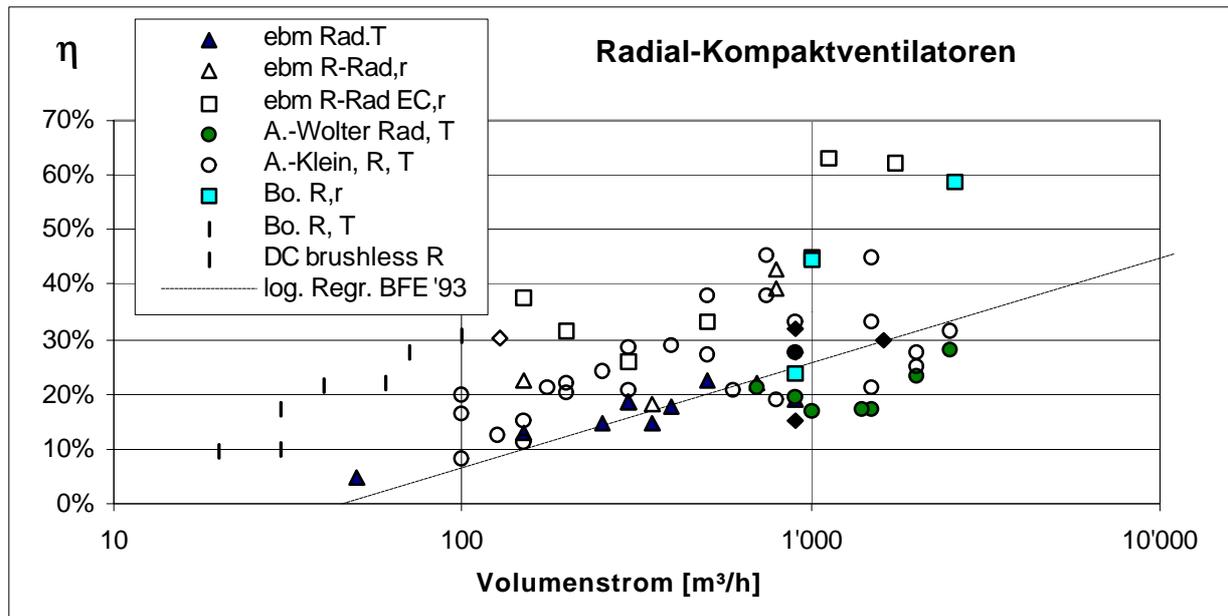
Bild 3.6

Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt: **Kanal-/Rohr-Ventilatoren**



Bei dieser Gruppe fallen die sehr guten Rohrventilatoren 2 auf (Axial-Bauart, wahrscheinlich mit Permanentmagnetmotor, noch zu verifizieren). Die "Zwiebel"-Typen weisen rückwärtsgekrümmte Radial-Laufräder auf. Bei den "Rad.Kanal-V. r" fällt ein schlechter "Ausreisser" auf.

Bild 3.7 Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt: **Radial-Kompaktventilatoren**



Zu beachten sind die guten Werte der Typen mit Permanentmagnet-Elektronikmotor (DC brushless, EC), sowie die relativ guten Werte von Typen mit rückwärtsgekrümmten Laufrädern (mit "r"). Die schlechteren Wirkungsgraden der Trommelläufer (T) machen sich klar bemerkbar.

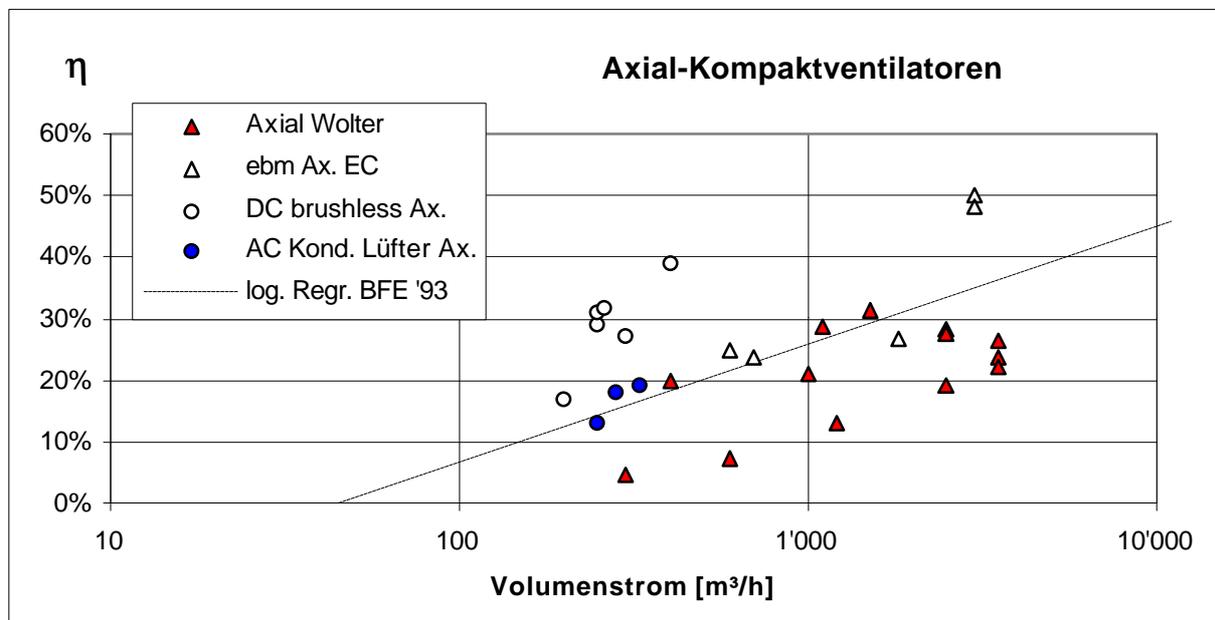


Bild 3.8 Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt: Axial-Kompaktventilatoren

Zu beachten sind die guten Werte von Typen mit Permanentmagnet-Elektronikmotor (DC brushless, EC). Die Gruppe "Wolter" fällt durch teilweise besonders ungünstige Wirkungsgrade auf.

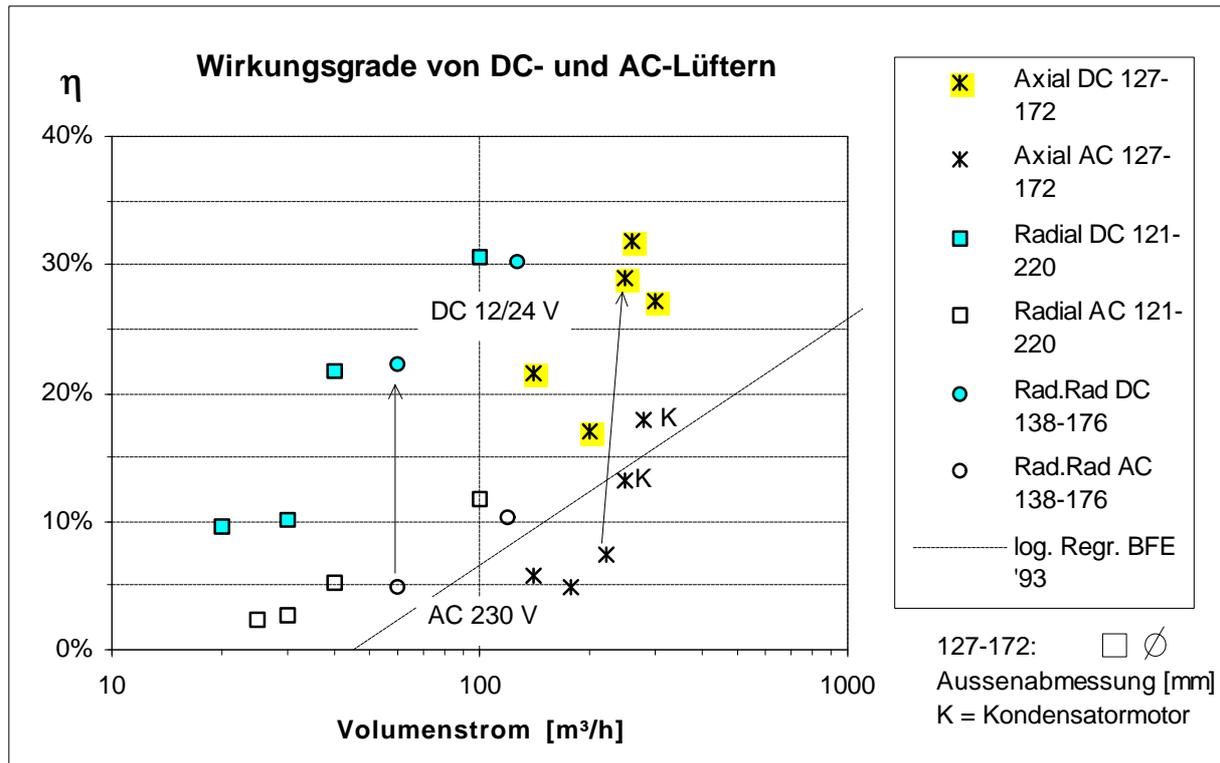


Bild 3.9 Wirkungsgradvergleich von Kleinlüftern mit Elektronik-, Kondensator- und Spaltpolmotor

Dieser Vergleich ist im Anhang A5 ausführlich dokumentiert. Die Wirkungsgrad-Unterschiede sind sehr gross, weil die üblichen Asynchronmotoren (insbesondere Spaltpolmotoren) bei so kleinen Leistungen ausserordentlich ungünstige Wirkungsgrad aufweisen. Zur Zeit sind die DC-Typen (noch) nicht mit integriertem Netzteil erhältlich und daher nicht einfach anstelle des AC-Typs einzusetzen.

3.3 Prüfstand für Kleinventilatoren an der Fachhochschule Zentralschweiz

Die Fachhochschule Zentralschweiz (ehem. Zentralschweizer Technikum Luzern ZTL) konnte mit eigenen Mitteln einen für Kleinventilatoren geeigneten Prüfstand erstellen und mit einer ersten Diplomarbeit (ausmessen eines Elektroniklüfters) praktisch erproben. Der Diplomarbeitsbericht [5] kann am ZTL eingesehen werden, es finden sich darin auch technische Daten des Prüfstands und der Auswertungs-Software. Zur Zeit sind weitere Arbeiten geplant, welche u.a. die im Projekt aufgeworfenen Fragen nach dem Einfluss von Einbausituationen von Ventilatoren ohne Gehäuse (Motor-Laufräder) untersuchen sollen. Die Datenblatt-Werte dieser Räder werden nämlich mit strömungsgünstigen Gehäusen ermittelt, während die praktische Einbausituation oft weit ungünstigere Verhältnisse ergibt, worunter letztlich der Wirkungsgrad leidet.

Bilder des Prüfstand auf der folgenden Seite.

Bild 3.10 Prüfstand mit montiertem Radial-Kleinventilator

Bild 3.11 Volumenstrommessung und Stützgebläse hinter der Beruhigungskammer

3.4 Effizienz-Techniken

In diesem Kapitel wird eine knappe Uebersicht gegeben über Techniken für energieeffiziente Kleinventilatoren bzw. die ganzen Systeme. Erweiterungen und zur Umsetzung in Aus- und Weiterbildung geeignete Formen sollen im Rahmen eines Folgeprojektes erarbeitet werden.

Grundsätzliche Systembetrachtung

Kleinventilatoren werden oft für den Abtransport von Wärme oder verunreinigter und gleichzeitig erwärmter Luft eingesetzt. Neben direkten Massnahmen an der Quelle bestehen folgende Alternativen:

- natürlichen Luftzug, welcher durch Erwärmung von Luft entsteht, ausnützen
- Wärme mit anderem Medium (z.B. Wasser) abführen

Die Prüfung der oben vorgeschlagenen Alternativen zeigt, dass diese in den meisten Fällen zu Nachteilen führen, welche oft auch aus energetischen Gründen nicht erwünscht sind:

Natürlicher Luftzug

Der natürliche Luftzug wird durch eine lange, vertikale, wärmegeämmte Luftführung unterstützt. Nachteile:

- erhöhte Baukosten
- Funktion nur im Dauerbetrieb gut gewährleistet
- Zusammenfassung mehrerer Einheiten (Beispiel WC-Abluft) erschwert
- Wärmerückgewinnung aus physikalischen Gründen unmöglich

Anderer Wärmeträger wie Wasser oder Sole

Einschränkung: Die abzuführende Wärme wird schlussendlich in praktisch allen Fällen an die Umgebungsluft abgegeben, da diese überall und kostenlos zur Verfügung steht. Der Wärmeübergang an die Luft findet also fast immer statt. Nachteile:

- zusätzlicher Wärmeübergang erhöht Kosten und vermindert Wirkungsgrad
- Vergrösserung der Wärmeübertragungsfläche zur Umgebungsluft notwendig

Der Wärmetransport selber ist jedoch mit flüssigen Wärmeträgern effizienter (Pumpe statt Ventilator) und braucht viel weniger Platz als mit Luft.

Fazit

Diese und weitere, nicht aufgeführte Überlegungen für Spezialfälle führen zur Folgerung, dass eine Elimination des Kleinventilators in den meisten Fällen mehr Probleme schafft als löst.

Ansatzpunkte für Energieeffizienz

Da Energie = Leistung x Zeit kann grundsätzlich der Energiebedarf – neben der oben diskutierten grundsätzlichen Vermeidung – durch eine Reduktion von Leistung und / oder Betriebsdauer erreicht werden.

1 Leistungsverminderung luftseitig

- Geringere Luftmenge: Erhöhung der Ablufttemperatur durch
 - höhere, zulässige Gerätetemperatur
 - bessere Luftführung (z.B. Gegenstromprinzip)
- Geringere Druckverluste durch
 - kürzere Luftführung
 - widerstandsärmere Luftführung (Gestaltung von Umlenkungen, Oberflächen), Unterstützung durch Thermosyphonwirkung (Auftrieb warmer Luft)

2 Leistungsverminderung der Fördertechnik

- Höherer Wirkungsgrad des Ventilators inkl. Motor
- Ggf. Leistungsanpassung durch automatische Drehzahlregelung

3 Betriebsdauer

- Die Betriebsdauer kann in sehr vielen Fällen, wie Studien immer wieder zeigen, durch eine verbesserte Steuerung und / oder ein besseres Nutzerverhalten vermindert werden.

Bewertung von Potential und Umsetzung

Technisch am einfachsten dürfte die Reduktion der Einsatzdauer sein. Ihre praktische Umsetzung hängt von sehr vielen Einflussfaktoren ab. Ein höherer Wirkungsgrad des Ventilators wirkt sich dank hoher Stückzahlen automatisch auf sehr viele Anwendungen aus. Die Verringerung von Luftmenge und Druckverlust ist dazwischen anzusiedeln: Höhere Anzahl von "Entscheidungsträgern" und in vielen Fällen mittlerer Entwicklungsaufwand, der sich allerdings auf geringere Stückzahlen abwälzen lässt. Ein Maximum an Energieeinsparung lässt sich selbstverständlich mit Massnahmen bei allen drei Ansatzpunkten erzielen.

Da die Bedeutung der resultierenden Energiekosten für den einzelne Anwender gering ist (d.h. geringer Anreiz), und nur die sehr grosse Verbreitung zu eine namhaften Energieverbrauch führt, wird das praktisch umsetzbare Energiesparpotential eher bei der Verbesserung der Ventilatoren als bei der Verkürzung der Betriebszeiten erwartet.

Höherer Wirkungsgrad von Ventilator und Motor

Angesichts der Wirkungsgrade des heutigen Marktangebotes (Kapitel 3.2), der Verfügbarkeit der Effizienztechnik sowie der relativ günstigen Umsetzbarkeit (wenn einmal die Produkte kostengünstig über die richtigen Kanäle angeboten werden) hat der Ansatz "Wirkungsgrad" hohe Priorität. Nachstehend sind wichtige technische Eigenschaften energie-effizienter Kleinventilatoren zusammengefasst:

Motor: Elektronisch kommutierter Permanentmagnetmotor

Bereits verfügbare Elektroniklüfter und grössere "EC"-Ventilatoren wie auch ein Forschungsprojekt im Bereich Klein-Umwälzpumpen zeigen, dass Motor-Wirkungsgrade erreichbar sind, die weit über den mit Asynchronmotoren (insbesondere Kondensator- oder gar Spaltpol-Typ) möglichen Werten liegen, vgl. Bild 3.10. Ein zusätzlicher

Wirkungsgrad-Gewinn des Ventilators lässt sich u.U. erzielen, weil der Elektronikmotor höhere als die Netzsynchron-Drehzahl (3000 U/min) erlaubt, womit wiederum bessere Wirkungsgrade der Laufräder möglich werden. Ausserdem ist eine Drehzahlregelung mit der sowieso vorhandenen Elektronik sehr einfach realisierbar. Noch fehlen integrierte Low-cost-Netzteile für den Betrieb von DC-Elektroniklüftern am Netz.

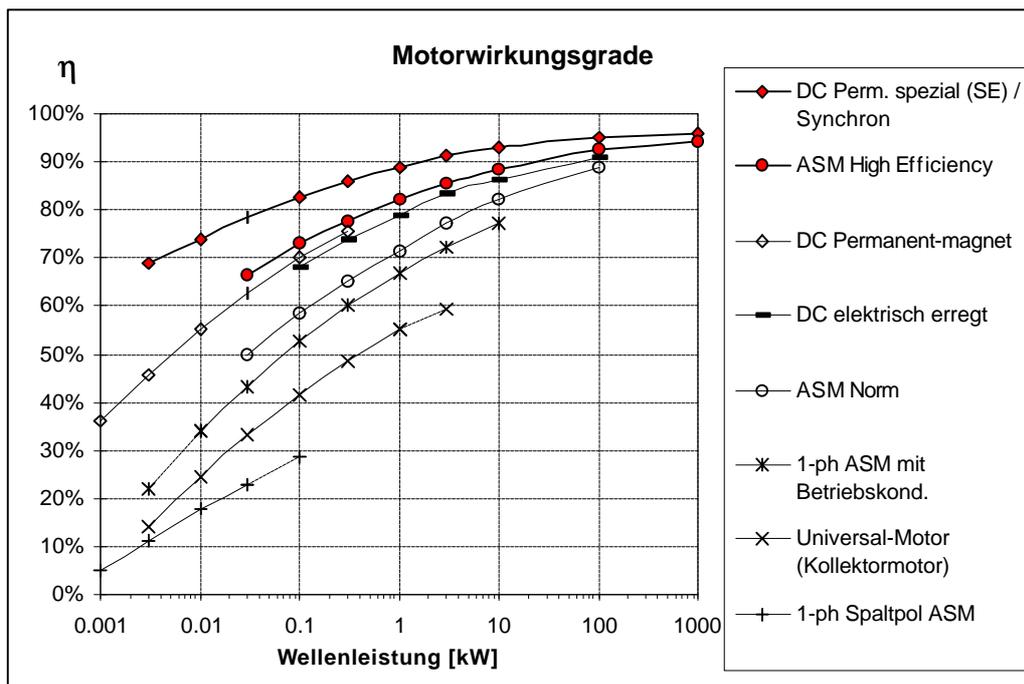


Bild 3.10

Motor-wirkungsgrade in Funktion der Wellenleistung

Laufräder: rückwärtsgekrümmte Schaufeln bei Radialrädern, EDV-optimierte profilierte Kunststoffräder

Radialräder mit vorwärtsgekrümmten Schaufeln (Trommelläufer) sind wegen grosser Druckziffern und flacher Kennlinien beliebt, können aber die hohen Wirkungsgrade der strömungstechnisch besseren rückwärtsgekrümmten Schaufeln nicht erreichen. In vielen Fällen sollte sich dank höheren Drehzahlen (Elektronikmotor) bei gleicher Baugrösse ein Laufrad mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln einsetzen lassen.

Mit optimierten, profilierten Schaufeln (gegenüber einfacheren Formen) sind zwar nicht so spektakuläre Verbesserungen wie beim Motor zu erreichen, aber dank modernen Entwicklungs- und Fertigungstechniken sollte auch bei kostengünstigen Produkten nicht darauf verzichtet werden.

Gehäuse, Anschlüsse, Düsen

Die Luftströmungs-Optimierung beim Ventilator selbst scheint oft vernachlässigt zu werden, was z.B. relativ hohe Leckraten (Rückströmung von der Druck- zur Saugseite)

zur Folge haben kann. In der Praxis wird der resultierende Wirkungsgrad allerdings oft schon durch wenig strömungsgünstige bzw. fehlende Einlaufdüsen und Diffusoren stark vermindert. **Zu diesen Fragen können systematische Messungen auf dem neuen Prüfstand am ZTL durchgeführt werden.**

Die drei folgenden Kapitel gehen auf drei bedeutende Kleinventilatoren-Anwendungen ein, welche weniger gut bekannt sind als etwa Wohnungs-Abluft. Die Beschreibungen dienen auch als Vorinformation für die entsprechenden Folgeprojekte.

3.5 Gewerbliche Kühlung

Anwendungsbereich, Zweck

Gewerbliche Kühlung umfasst kältetechnische Anlagen im Lebensmittelhandel (Gross- und Detail-), im Gastgewerbe, aber auch – mit viel kleinerer Bedeutung – in anderen "Gewerbe"-Bereichen wie z.B. Apotheken und anderen Kühlung erfordernden Betrieben. Industrielle Kühlung (Nahrungsmittel, Chemie etc.) zählt nicht dazu. Deshalb setzt sich der Anwendungsbereich vorwiegend aus vielen kleinen Anlagen zusammen; Grossanlagen wie Kühlhäuser sind die Ausnahme und haben auch kaum quantitative Bedeutung.

Die Kleinventilatoren werden v.a. eingesetzt für:

1. Luftkühlung der Verflüssiger (Kondensatoren), wobei manchmal im Nebenstrom auch der Verdichter gekühlt wird.
2. Verdampferkühlung (Kaltluft-Umwälzung) in Kühlmöbeln und Kühlräumen.

Für die statistische Untersuchung (Tabelle im Anhang) haben wir in beiden Fällen 2 Leistungsklassen aufgeführt, welche sich in der jährlichen Betriebsdauer (wenig) und in der Lebensdauer (stärker) unterscheiden. Bei den Ansätzen zur luftseitigen Wirkungsverbesserungen unterscheiden sich die Klassen jeweils kaum.

Elektrizitätsverbrauch

Der Elektrizitätsverbrauch der Ventilatoren ist i.d.R. viel kleiner als jener der Verdichter und wird deshalb oft zuwenig beachtet. In Bild 3.11 wurde, ausgehend von der Basis-Tabelle (Bild 3.1), eine bessere Quantifizierung dieses Anwendungsbereichs versucht.

Gewerbliche Kühlung (Klimakühlung nicht betrachtet, weil v.a. "grosse" Ventilatoren)															
Anwendungsbereiche:	ca. Mio. Stück (CH)	P1 ca. W	ca. Std./a	kWh/a, Stk.	ca. GWh/a	Verbrauchs-Relevanz*	ca. GWh/a korrigiert*	(Lebens) Dauer der Anwendung	Lebensdauer-Stromkosten/ Stk., red., Fr/a	Preis (-Anteil) Endabnehmer, Fr. **	Verhältnis LD-Stromkosten /Preis	ca. m³/h	ca. Pa	P nutz W	Bemerkung
Gewerbliche Kühlung (Verdampfer, Verflüssiger, Verdichterkühlung)	0.5	20	4000	80	40	150%	60	10	240.00	40	6.0	200	50	2.8	Alle, wie Haupt-Tabelle
gew. Kühlung...															
Verdampfer Kühlmöbel	0.1	15	6000	90	9	180%	16	8	259.20	30	8.6	50	100	1.4	ca 80'000 Lebensmittelladen-Möbel (RAVEL), + Gastro-Bereich etc.
Verdampfer Kühlräume	0.01	40	8000	320	3.2	180%	6	12	1'382.40	100	13.8	1000	10	2.8	z.B. Gastro, Heime, Spital, Metzgerei, Lebensm.läden...
Verflüssiger klein + Verdichterkühlung	0.3	25	3000	75	22.5	100%	22.5	8	120.00	50	2.4	200	50	2.8	alle Typen Einzel- und Kleinaggregate, tw. heiz-/kühlwirksam
Verflüssiger mittel (nur teilweise Kompaktventi...)	0.01	150	4000	600	6	100%	6	12	1'440.00	250	5.8	2000	50	27.8	grössere Aggregate, zentrale Kühlung (ohne grosse mit Ventilator + Normmotor)
Total gew. Kühlung neu	0.42				40.7	124%	50.5								

* Verbrauchs-Relevanz: reduziert wenn Ventilator-Energie heizwirksam, erhöht wenn wegzukühlen. Strompreis 0.2 Fr/kWh

Bild 3.11 Abschätzung des Elektrizitätsverbrauchs von Kleinventilatoren der gewerblichen Kühlung

Der Elektrizitätsverbrauch wird hier vor allem beeinflusst durch:

- Notwendigkeit aktiver Lüftung, Effizienz der Luftführung (Druckverlust), Lufttemperatur etc., vgl. "Wirkungsverbesserungen".
- Wirkungsgrad der Ventilatoren, ggf. bei Teillast.
- Steuerung (zeitlich und Leistungsanpassung nach Bedarf).

Luftseitige Wirkungsverbesserungen

1. Bei der Verflüssiger-Kühlung

- Möglichkeiten der freien Kühlung (Luftbewegung ohne Ventilator) ausnützen. Dies erfordert i.d.R. besondere (aufwendigere) Verflüssiger und evtl. passive Luftlenkeinrichtungen ("Kamin"). U.U. kann auch Wasserkühlung sinnvoll sein. Wärmerückgewinnung sollte stets geprüft werden; erfordert meist wassergekühlte Verflüssiger.
- Anlage so planen und plazieren, dass möglichst kühle Luft zugeführt werden kann
- Optimale Luftführung durch die Verflüssigerlamellen (oft gar keine oder nur rudimentäre Leiteinrichtung vorhanden, oder grosse Lecköffnungen)
- Verflüssigerbauart (Lamellengeometrie) an Luftstrom und Kühlleistung anpassen
- Lüfterrad an Volumenstrom und Druckverlust anpassen (Schlupf, Turbulenz,...)
- Für Verdichterkühlung ggf. einen Teilluftstrom abzweigen statt einen separaten Ventilator einzusetzen.

2. Bei der Verdampfer-Luftumwälzung

Es gelten die gleichen Prinzipien wie bei Verflüssigern. Zusätzlich ist zu beachten:

- Ventilator so anordnen, dass keine (Motor-) Abwärme vor dem Verdampfer in den Luftstrom abgegeben wird. Diese muss sonst ebenfalls weggekühlt werden. Wenn dies unvermeidlich ist (Kühlräume), so ist der Gesamt-Kühlwirkungsgrad umso wichtiger, d.h. es sind die besten Ventilatoren und Luftleiteinrichtungen einzusetzen.
- Besonders wichtig ist die Luftführung bei halbgeschlossenen Kühlkreisen, wo das ungewollte Ansaugen wärmerer (Raum-) Luft zu vermeiden ist: Beispiel: vorne offene Kühlregale mit Kaltluftvorhang (z.B. für Milchprodukte etc.). Die Möbelhersteller sind bei der Optimierung gefordert (vgl. RAVEL-Berichte Kühlmöbel [6]).

Ventilator-Technik

Wichtigste Bauarten und entsprechende Effizienz-Mängel:

- Axiallüfter (in Kühlräumen auch grosse langsamlaufende Deckenventilatoren). Meist Laufräder mit unprofilierten Blech-Flügeln. Oft fehlende oder rudimentäre Einlaufdüsen/Gehäuse, keine Leitapparate
- Radial- (Trommelläufer) und Querstromlüfter (z.B. in Heizlüftern, Klimageräten). Systembedingt schlechter Wirkungsgrad.

- Fast ausschliesslich Kondensatormotoren, manchmal sogar Spaltpolmotoren. Teilweise Aussenläufermotoren mit geometriebedingt schlechtem Wirkungsgrad (kleiner Wicklungsraum, hohe Wicklungstemperatur).

Der Grossteil dieser Ventilatoren bzw. Motoren liegt im Leistungsaufnahmebereich von 15 bis 30 W, wo diese Asynchronmotoren keine guten Wirkungsgrade erreichen können. Akzeptable Motorwirkungsgrade über 40% sind hier z.Zt. nur mit Permanentmagnetmotoren (Elektronik-, EC-Motoren) zu erreichen (vgl. Bild 3.10).

Steuerung

Die betrachteten Ventilatoren sind i.d.R. mindestens **zeitlich bedarfsgesteuert**, d.h. sie laufen nur bei Kühlgerätebetrieb (Verdampferkühler) bzw. bei Verdichterbetrieb (Verflüssigerkühler). Durch Zeitglieder (z.B. Nachlauf, Anlaufverzögerung) lässt sich die Betriebszeit u.U. optimieren.

Eine Anpassung des **Luftvolumenstroms** geschieht selten automatisch und stromsparend. Typische mittelgrosse Anlagen sind modular aufgebaut, wobei jedes Modul eigene Ventilatoren hat. Die Effizienz (auch der Verdichter) könnte durch Einsatz grösserer Einheiten und deren Leistungsregulierung z.T. gesteigert werden, wobei die Investitionskosten oft unverhältnismässig steigen.

Es gibt Anwendungen, bei welchen eine automatische Volumenstrom- bzw. Drehzahlregelung sinnvoll ist: i.d.R. bei wesentlich variierenden Kühlleistungen. Beispiel: wenn bei Kühlmöbeln Nachwärmmedämmungen angebracht werden, sollte die Kühlleistung entsprechend vermindert werden, um einen optimalen Wirkungsgrad zu erhalten. Somit kann auch die Lüfterleistung vermindert werden.

Volumenstromveränderungen können auch im Abtaubetrieb sinnvoll sein (u.U. Erhöhung bei Abtauung durch die Kühlluft!).

Wenn zukünftig vermehrt Elektronikmotoren eingesetzt werden, ist die Drehzahlsteuermöglichkeit praktisch schon vorhanden, es müssten nur noch entsprechende Sensoren für das Steuersignal vorgesehen werden.

3.6 Schaltschrank- und andere Apparatekühlung

Allgemeines

Kleinventilatoren in Schaltschränken und generell zur Apparatekühlung erzeugen einen Luftstrom, welcher zur Kühlung von Komponenten mit Wärmeabgabe dient. Häufig wird auch mit thermischen Auftriebsströmungen eine ausreichende Kühlwirkung erzielt, wenn die Auftriebsströmung ungehindert erfolgen kann. Beim Einsatz von Ventilatoren ist aus energetischer Sicht wichtig, dass diese nur betrieben werden, wenn dies auch tatsächlich erforderlich ist, dass der Luftstrom die zu kühlenden Bauteile möglichst effizient umströmt und dass die grösste mögliche resp. zulässige Temperaturdifferenz ausgenützt wird. Die früher teilweise angewendete Wasserkühlung von Komponenten ist heute nur noch selten anzutreffen, wäre aber aus energetischer Sicht sehr effizient.

Luftseitige Wirkungsverbesserungen

- Möglichkeiten des natürlichen thermischen Auftriebes nutzen. Dies erfordert genügend grosse freie Querschnitte und eventuell eine Luftführung zu den zu kühlenden Bauteilen.

- Die natürliche Thermik nimmt mit zunehmender Temperaturdifferenz zu. Es ist darum vorteilhaft, wenn die zulässige Temperatur der Komponenten auch tatsächlich erreicht wird.
- Anlage so planen, dass möglichst kühle Luft zugeführt werden kann. Wenn es z.B. möglich ist, die Kühlluft für einen Schaltschrank aus einem kühlen Keller (evtl. auch aus einem mit Kühlluft beschickten Doppelboden) zu entnehmen, so werden viel kleinere Luftmengen benötigt, als wenn warme Luft aus dem Raum angesaugt wird.
- Vermeidung von internen Rezirkulationsströmungen. Wenn z.B. durch ungeschickte Anordnung des Ventilators oder durch zu kleine resp. fehlende Oeffnungen nach aussen ein grosser Teil der geförderten Luft nur innerhalb des Gehäuses umgewälzt wird, kann trotz Betrieb eines Kühlventilators kaum Wärme abtransportiert werden.

Ventilatortechnik

Siehe "Anwendung gewerbliche Kühlung,"

Steuerung

Die Kühlventilatoren werden üblicherweise über Thermostaten gesteuert. Aus energetischer Sicht sind die folgenden Hinweise zu beachten:

- Auch hier gilt, dass die zulässigen Bauteiltemperaturen möglichst ausgeschöpft werden sollen.
- Es sind die tatsächlich relevanten Temperaturen als Steuergrössen zu verwenden.
- Je nach Anwendung können mehrstufige oder stufenlose Antriebe sinnvoll sein.

Besondere Probleme

- Zuverlässige Angaben über die Wärmeproduktion in Schaltschränken sind heute häufig nicht zu erhalten. Entsprechend unsicher ist die richtige Auslegung der Kühlventilatoren resp. die Beurteilung der natürlichen Thermik.
- Schaltschränke, Computerracks usw. sind häufig auf einen Ausbaustandard ausgelegt, welcher erst nach mehreren Betriebsjahren oder gar nie erreicht wird. Kühlventilatoren sollten an diese Situation angepasst werden können.
- Häufig werden von den Herstellern oder Lieferanten von Komponenten unnötig strenge Temperaturanforderungen gestellt. Dies führt zwangsläufig zu überdimensionierten Kühlventilatoren.
- Häufig besitzen die installierten Komponenten unterschiedlich strenge Temperaturanforderungen. Bei klar definiertem Luftweg kann u.U. bei richtiger Anordnung der Komponenten der Aufwand für die Kühlung deutlich reduziert werden.

3.6 Kontrollierte Wohnungslüftung

Anwendungsbereich, Zweck

Eine kontrollierte Wohnungslüftung ist ein Lüftungssystem, welches mittels Ventilatoren für einen optimalen Luftaustausch in Wohnräumen sorgt.

Der Luftaustausch dient der **Abführung von Feuchte** (Verhinderung von Feuchteschäden) und der **Lufterneuerung** aus hygienischen Gründen: Ersatz verbrauchter Luft (CO₂, Gerüche etc.), Reduktion Schadstoffkonzentrationen (z.B. Formaldehyd, Radon).

Die den Räumen zugeführte Luft wird in der Regel **gereinigt**. Beim Einsatz von feinen Filtern dient die Reinigung den Allergikern.

Die **Wärme** aus der (warmen) Abluft wird **zurückgewonnen** und der (kalten) Zuluft, der Wassererwärmung oder der Raumheizung zugeführt.

Die obigen und weitere Funktionen erhöhen den **Komfort**: Luftaustausch automatisch, Verminderung der Lärmbelastung durch geschlossenen Fenster, kein Durchzug, auch nachts frische Luft.

Kostenersparnis durch geringere Energiekosten und Vermeidung von Feuchteschäden.

Systeme

Es existieren zahlreiche, unterschiedliche Systeme. Diese lassen sich durch folgende Merkmale beschreiben:

- Anwendungseinheit: separates, unabhängiges System pro Raum, pro Wohnung oder pro Gebäude
- Wärmerückgewinnung: Plattentaucher (Abluft/Zuluft), Wärmepumpe (Abluft/Zuluft, Abluft/Warmwasser oder Abluft/Heizwasser)
- Zusatzelemente: Luftvorwärmung mittels Erdregister, Luftnachwärmung mittels Heizregister
- Spezialitäten: Kombination mit Luftheizsystem, Luftzuführung passiv über speziell ausgebildete Nachströmöffnungen in der Gebäudehülle

Komponenten

Ventilatoren inkl. Motoren, Wärmerückgewinnung bzw. Wärmepumpe in der Regel als Unit

Elektrizitätsverbrauch

Der Elektrizitätsverbrauch der Luftförderung wird in erster Linie durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Druckverluste des Kanalsystems; insbesondere von Wärmetauschern, Schalldämpfern, Filtern (Verschmutzungsgrad), komplizierte Kanalführung, Undichtigkeiten
- Wirkungsgrad der Ventilatoren generell und im Teillastbereich

Probleme

Häufigste Probleme, Reihenfolge in absteigender Priorität:

1. Akzeptanz: der Begriff "Lüftung" wird meist negativ assoziiert.

2. Schall (Ventilatoren, Übertragung von Raum zu Raum bzw. von Wohnung zu Wohnung)
3. energetischer Wirkungsgrad des Gesamtsystems, d.h. Elektrizitätsaufwand im Verhältnis zum Nutzen (Elektro-Thermo-Verstärkungsfaktor ETV)
4. geeignete Kanalführung (Lösungsansatz, zur Zeit in Entwicklung: System pro Raum)

Richtwerte (nach Klima-Suisse)

Grundlüftung (Abwesenheit)		ca. 0.4 1/h
Normallüftung (Auslegung)	15 bis 20 m ³ /h Person	
Erhöhte Stufe (Kurzzeitig)	30 bis 50 m ³ /h Person	ca. 0.8 1/h
Elektrothermoverstärker	> 10	
Elektrizitätsverbrauch Luftförderung	< 3.5 kWh/m ² Heizperiode	
Leistungsaufnahme bei Normallüftung	< 0.3 W/(m ³ /h)	

Typische Grössen (System pro Wohnung)

Ventilator-Anschlussleistung	2 x 100 W
Normallüftung	100 m ³ /h pro Wohnung
Ventilatoren-Stufen	2
Druckabfall Zu-/Abluft	je 150 Pa
Betriebszeit	6000 h/Jahr

Steuerung des Systems

Normallüftung (Auslegung)	manuell Ein/Aus
Erhöhte Stufe (Kurzzeitig)	manuell Ein mit Timer-Rückstellung

Ventilatoren

Ventilator:	Radial-Laufrad, mit Gehäuse, einseitig ansaugend, Schaufeln häufig noch vorwärtsgekrümmt (Trommelläufer)
Motor:	Asynchronmotor, Kurzschluss-Aussenläufer, 2-polig
Leistungsstufen:	Phasenanschnitt-"Regler" oder Transformator

4. Folgeprojekte (Vorschläge)

Ein **allgemein orientierender Fachartikel** zum Projekt wird für das EMPA/KWH-Statusseminar im September 1998 erstellt und soll, ggf. angepasst, in Fachzeitschriften plaziert werden.

Die nachstehenden Projektvorschläge:

- 4.1 Label / Anforderungen
- 4.2 Aus- und Weiterbildung, "Materialien"
- 4.3 Energie-Effizienz bei Kleinventilatoren zur Kühlung von Schaltschränken und anderen Apparaten
- 4.4 Effiziente Kleinventilatoren bei der kontrollierten Wohnungslüftung
- 4.5 Kompetenzgruppe "Effizienz-Techniken für Kleinventilatoren"

sind nach einheitlichem Raster dargestellt; allerdings findet sich nicht immer zu jedem Punkt eine Angabe:

- Ausgangslage
- Ziele
- erhoffte Resultate, Produkte
- Vorgehen
- Kontaktpersonen
- Kosten / Termine
- nächste Schritte

4.1 Label / Anforderungen

Ausgangslage

In der Projektarbeit hat sich gezeigt, dass die Wirkungsgrad-Anforderungen nach SIA V382/3 für den Bereich Kleinventilatoren überarbeitet bzw. ergänzt werden müssen. Die Marktuntersuchung hat auch bereits konkrete Anhaltspunkte für mögliche Anforderungen im kleinen Leistungsbereich geliefert. Gleichzeitig möchte das BFE Energie-Labels (ähnlich wie das Energie 2000 Gerätelabel, Bild 4.1) für möglichst viele Produkte realisieren, u.a. auch für Umwälzpumpen und Kompaktventilatoren.

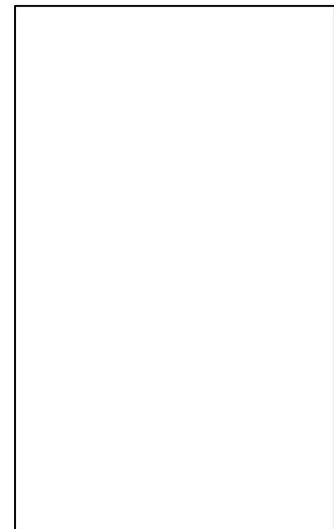


Bild 4.1 Energie 2000 Label

Ziele

Für die Wirkungsgrad-Anforderungen nach SIA V382/3 sollen präzisierende Vorschläge für Ventilatoren mit Nennvolumenströmen unter 2500 m³/h geschaffen werden.

Für ein Energie-Label sind technische und verfahrensmässige Grundlagen zu schaffen. Wirkungsgrad-Anforderungen können evtl. im Zusammenhang mit neuen Anforderungen zu SIA V382/3 ermittelt werden. Weitere Kriterien wie Geräusch, Kennlinienform, Anbieter-Support, etc. sind eventuell einzubeziehen.

Im Anhang A4 findet sich ein konkreter Diskussionsvorschlag für Wirkungsgrad-Anforderungen.

Vorgehen

- Kontakte mit der SIA-Kommission aufnehmen, Vorschläge kommunizieren
- Auftrag für Grundlagen eines Energie-Labels formulieren

Kontaktpersonen

- Urs Steinemann (SIA Kommission 382)
- Jürg Nipkow (Datengrundlagen für Anforderungen und Label)
- Martin Stettler (BFE)

Termine

SIA-Anforderungen: ab sofort

Label: Vorschlag im Laufe des Jahres 1998 ausarbeiten

Nächste Schritte

- Diskussion in SIA-Kommission (U. Steinemann)
- Kontakte J. Nipkow / BFE betreffend Label-Grundlagen

4.2 Aus- und Weiterbildung, "Materialien"

Ausgangslage

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden bereits viele Erkenntnisse zu Kleinventilatoren zusammengetragen bzw. erarbeitet, die in der Aus- und Weiterbildung sinnvoll kommuniziert werden können. Z.Zt. kann kaum auf laufende Aus- und Weiterbildungs-Programme im Energiebereich "aufgesprungen" werden, weshalb eine geeignete, flexible Kommunikationsform zu schaffen ist. Weitere Grundlagen für "Materialien" sollen im Projekt "Effizienz-Techniken" erarbeitet werden.

Ziel, Produkte

Es sollen "Materialien" zum Thema "Energie-effiziente Kleinventilatoren" zusammengestellt werden, welche für Lehrkräfte einfach erhältlich und einsetzbar, aber auch für Praktiker unmittelbar nützlich sind. Darin ist selbstverständlich auch Bezug zu nehmen auf einschlägige Teile bestehender Publikationen wie z.B. RAVEL (Energie-effiziente Lüftungsanlagen) und auf neue Erkenntnisse der vorgeschlagenen Kompetenzgruppe (vgl. 4.5).

Vorschläge für Materialien:

- technisch orientierte für FH/HTL, Technikerschulen, Hersteller
- anwendungsorientierte (Auswahl, Auslegung, Betrieb...) für Planer, Installateure, Bauleute etc.

In dieser Kategorie sind auch Beschreibungen von Musterbeispielen, z.B. Pilotprojekten, denkbar.

Vorgehen

Einerseits sind aus vorhandenen und zu erarbeitenden Erkenntnissen (Effizienz-Technik-Projekt) thematische Pakete zu bilden, welche sich für die Dokumentation und Vermittlung eignen. Parallel dazu muss auch bereits der "Verkauf" geplant werden, da letztlich die Darstellung auf das Zielpublikum abzustimmen ist. Es sind Integrationsmöglichkeiten in Dokumentationen, Kurse etc. zu evaluieren. Dazu ist eine enge Zusammenarbeit mit Verbänden erforderlich sowie die Koordination mit Aktivitäten des BFE (D. Brunner).

Planungsabläufe und Energieeffizienz: gerade bei Kleinventilatoren scheint der Einsatz energie-effizienter Produkte daran zu scheitern, dass keine eigentliche Planung des Einsatzes stattfindet (irgendein billiges Produkt genügt funktionell). Es sind Anknüpfungspunkte zu suchen, wo Planer tatsächlich einen Einfluss auf dieser Systemebene haben (können).

Für die verbrauchsmässig gewichtigen Anwendungen "gewerbliche und Schaltschrank-Kühlung" soll der Aspekt des Planungsablaufs in den Beispielen herausgehoben werden.

Kontaktpersonen

J. Nipkow, T. Staubli ZTL, U. Steinemann, Verbände SWKI /CLIMA-SUISSE/SHKT, BFE D. Brunner, evtl. weitere Fachhochschulen

Kosten

Budget für Konzept und erste Beispiele z.B. 20'000 Fr.
Eigenleistungen von Fachhochschulen

Nächste Schritte, Termine

Projektvorschlag aus dem Kreis der Kontaktpersonen bis Herbst 1998

4.3 Energie-Effizienz bei Kleinventilatoren zur Kühlung von Schaltschränken und anderen Apparaten

Ausgangslage

Eine erste Abschätzung ergibt, dass in der Schweiz ca. 1 Million Kleinventilatoren zur Kühlung von Schaltschränken und für ähnliche Apparatkühlungen eingesetzt werden. Der Elektrizitätsverbrauch dieser Kleinventilatoren beträgt mit rund 40 GWh/a etwa 13 % des Elektrizitätsverbrauches aller Kleinventilatoren.

Ziele/Produkte/Vorgehen

- Verifizierung der oben genannten Kenngrößen durch konkrete Untersuchungen an typischen Bauten (z.B. Aufnahme der Art und Anzahl von Schaltschränken mit Kenn-
daten und Betriebsweise der eingesetzten Kleinventilatoren zur Kühlung in zwei
bestehenden, typischen Verwaltungsbauten).
- Prüfung der Möglichkeit und Wirksamkeit von Massnahmen zur Reduktion des
Elektrizitätsverbrauchs der Kleinventilatoren unter Berücksichtigung der Angaben im
Kapitel 3.6 in einem der Untersuchungsobjekte oder bei zwei typischen
Schaltschränken im Labor.
- Verallgemeinerte Aussagen über die Verbesserungsmöglichkeiten und Sparpo-
tentiale. Aufzeigen von weiterhin bestehenden Wissenslücken.
- Zusammenfassung der Untersuchungen, Ergebnisse und Empfehlungen in einem
nachvollziehbaren Bericht, welcher auch für die Aus- und Weiterbildung verwendet
werden kann (vgl. 4.2).

Kontaktpersonen/Projektteam

Anzustreben ist eine Zusammenarbeit zwischen einem Elektroplaner und einem Lüftungsplaner. Evtl. könnte dieses Projekt auch als interdisziplinäre Arbeit von der Fachhochschule Zentralschweiz übernommen werden.

Kosten

Kostenrahmen ca. Fr. 40'000.—inkl. Nebenkosten, Spesen und Mehrwertsteuer.

Termine

Bearbeitungszeit ab Auftragserteilung ca. ein Jahr, detailliertere Angaben in der Offerte der Projektteams.

Nächste Schritte

- Bestimmen geeigneter Projektteams und Offertanfrage (z.B. durch U. Steinemann)
- Einreichung von Offerten durch die Projektteams mit detaillierten Angaben zu
Kosten, Terminen, Vorgehen, erwartete Resultate
- Vergabe, Projektabwicklung

4.4 Effiziente Kleinventilatoren bei der kontrollierten Wohnungslüftung

Ausgangslage

Der Stromverbrauch von Lüftungsventilatoren der kontrollierten Wohnungslüftung fällt beim Elektrizitätsverbrauch energetisch guter Bauten auffallend ins Gewicht. Wegen ineffizienter Kleinventilatoren werden oft unbefriedigende Thermo-Elektro-Verstärkungsfaktoren erreicht werden. In Deutschland wurden breit angelegte Feld- und

Labormessungen zu dieser Thematik ausgeführt, wobei jedoch andere als die bei uns gebräuchlichen Kennzahlen verwendet werden. Die Ergebnisse der Labormessungen sind noch nicht publiziert.

Ziele

1. Von den massgebenden Verbänden genehmigte Definitionen / Kennzahlen / Messverfahren / Deklarationen; soweit möglich und sinnvoll als Norm.
2. Analyse der heutigen Angebote und gebauter Anlagen inkl. messtechnischer Überprüfung der massgebenden Grössen. Dabei ist der Gesamtzusammenhang (elektro-thermischer Verstärkungsfaktor der ganzen Anlage) zu betrachten.
3. Prüfstand für Wohnungslüftungs-Units am ZTL für produkteneutrale Messungen; öffentliche Publikation der von den einzelnen Herstellern freigegebenen Resultate.
4. Methode zur Qualitätskontrolle gebauter Anlagen und weitere, praxistaugliche Handlungsanweisungen für Planer.
5. Stimulierung der Nachfrage nach guten Produkten und Systemen.

Vorgehen

1. Basierend auf den einschlägigen Normen, den im Umfeld von Energie2000 Öko-Bau verfügbaren Informationen sowie jene aus Deutschland sind Definitionen, Kennzahlen, Messverfahren und Deklarationen festzulegen. Diese sind mit den interessierten Verbänden zu vereinbaren und soweit möglich und sinnvoll als Norm zu publizieren. Diese Arbeiten bilden einerseits eine Grundlagen zu 2. und 3. Andererseits wird in 2. und 3. auch die Praxistauglichkeit von 1. überprüft.
2. Das Marktangebot an Kompaktapparaten zur kontrollierten Wohnungslüftung ist bezüglich Energieverbrauch und -rückgewinnung, wie auch weiterer Parameter (z.B. Schall) zu untersuchen. Soweit keine ausreichenden Daten vorliegen und zusätzlich als Stichproben sind die massgebenden Parameter mit Messungen im Labor (ZTL) und im Feld an Objekten zu erheben bzw. zu überprüfen. Diese Arbeit bildet insbesondere eine wichtige Grundlagen für 3. und 4. (siehe unten).
3. Für den Aufbau eines Prüfstandes für Wohnungslüftungs-Units am ZTL wird aus 1. und 2. abgeleitet, welches die für Gesamtsysteme relevanten Messgrössen und -zyklen sind. Der produkteneutrale Prüfstand entspricht den einschlägigen Normen. Er wird soweit als möglich auf kommerzieller Basis zu Gunsten der Hersteller betrieben.
4. Für die Qualitätskontrolle werden insbesondere die Erfahrungen aus 2. verwendet. Im Vordergrund steht das Austesten einfacher Messmethoden und weitere Hilfestellungen für die Inbetrieb- und Abnahme. Im weiteren werden Auswahlkriterien und allenfalls Planungshilfen erarbeitet. Besonderes Schwergewicht liegt auf der einfachen, leicht verständlichen Anwendung durch die Planer und allenfalls Unternehmer. Soweit notwendig wird via Verbände eine Schulung angeboten.
5. Die Stimulierung der Nachfrage erfolgt insbesondere mit Hilfe einer gezielten Information der Entscheidungsträger über die Resultate aus 1. bis 4. (z.B. Fachartikel, Prüfberichte, Schulung, Label).

Kontaktpersonen

H. Huber / R. Furter (ZTL), P. Graf / W. Hässig (B&H), J. Nipkow (Ventilatortechnik, Koordination mit weiteren Projekten) / T. Staubli (Dozent ZTL)

Termine, Nächste Schritte:

Projektvorschlag mit ZTL zu bereinigen (Sommer 1998), Start Herbst 1998

4.5 Kompetenzgruppe "Effizienz-Techniken für Kleinventilatoren"

Ausgangslage

Die Tatsache, dass effiziente Kleinventilatoren für gewisse Anwendungen bereits existieren, war einer der Gründe für die Projektdurchführung. Im Zuge des Projekts bestätigten sich die vermuteten tiefen Wirkungsgrade der meisten angebotenen Kleinventilatoren und einige Gründe dafür wurden ebenfalls klar (Asynchronmotoren kleiner Leistung, Trommelläufer...). Es bestätigte sich weiter, dass der Wirkungsgrad von Kleinventilatoren für viele Anbieter kein Thema ist und dass der Einsatz teurerer EC-Ventilatoren deshalb der grosse Ausnahmefall ist. Das technische Rüstzeug und z.T. sogar die Produkte sind vorhanden, Weiterentwicklung in Teilbereichen ist aber nötig und insbesondere ist Energiebewusstsein bei Gesamtsystemen vonnöten.

Ziele

Eine Kompetenzgruppe "energie-effiziente Kleinventilatoren" soll an der Fachhochschule Zentralschweiz aufgebaut werden. Sie soll Produkteprüfungs-, Forschungs-, Aus- und Weiterbildungs- und Kommunikations-Dienstleistungen erbringen und ggf. auch Entwicklungsarbeiten zusammen mit Industriepartnern ausführen. Mit dem neuen Prüfstand für Kleinventilatoren ist bereits ein erster Schritt getan.

Techniken (vgl. auch Kapitel 3.4)

Optimierung des Gesamtsystems bezüglich effektiv benötigter Luftleistung und lufttechnischer Anpassung v.a. an Druckverhältnisse vgl. auch Vorschläge 4.3 (Schaltschrank...) und 4.4 kontrollierte Wohnungslüftung.

Motor:

Permanentmagnetmotoren mit elektronischer Kommutierung. Diese sind bekannt, bewährt und werden kostengünstig in Grossserie hergestellt als Elektroniklüfter. Was bisher fehlt, ist das integrierte Low-cost / High-efficiency Netzteil (wird z.Zt. für Klein-Umwälzpumpen fertigerwickelt). Drehzahlsteuerung oder -Regelung kann zu geringsten Kosten integriert werden.

Ventilatorteil allgemein:

Minimale Luftleiteinrichtung wo möglich integrieren, z.B. Einlaufdüse bzw. -Radius. Luftspalte minimieren bzw. einfache Labyrinthformen integrieren, um Leckrate zu vermindern.

Strömungstechnisch günstig profilierte (Kunststoff-) statt Blechschaufeln.

Radial-Laufräder:

Rückwärtsgekrümmte Schaufeln statt Trommelläufer. Die ggf. erforderlichen höheren Drehzahlen sind mit Elektronikmotoren problemlos zu erreichen. Günstige Regeleigenschaften lassen sich durch stromsparende Drehzahlregelung erreichen. Geräuschprobleme bleiben evtl. ein Thema.

Vorgehen

Innerhalb der Fachhochschule Zentralschweiz sind organisatorische und finanzielle Aspekte zu diskutieren. Da im Rahmen weiterer Aktivitäten zum Thema Kleinventilatoren eine vermehrte Aufmerksamkeit der Anbieter und Nachfrager erwartet werden kann, dürften entsprechende Informationsangebote und Dienstleistungen nicht

nur bei interessierten Haustechnik-Fachleuten, sondern auch in der Industrie aufgenommen werden.

Kontaktpersonen

T. Staubli, H. Huber, weitere Fachleute der FH, A. Stoev (IDS AG, Zürich, Elektronik)

Kosten

Von der Fachhochschule Zentralschweiz wurden beim Bund folgende Kompetenzzentren beantragt:

- Gebäudetechnik
- Fluidmechanik und Hydromaschinen.

Das Projekt soll im Rahmen dieser Budgets der Fachhochschule Zentralschweiz geführt werden.

Weitere Schritte: Diskussion innerhalb der Fachhochschule Zentralschweiz

5. Literatur- und Internet-Hinweise

5.1 Referenzen sowie Luftförderung allgemein

- [1] Klein-Umwälzpumpe mit hohem Wirkungsgrad
Schlussbericht BFE-Forschungsprojekt, J. Nipkow et al., 1994,
Bezug ENET, PF 142, 3000 Bern 6
- [2] Jürgen Wiegand
Leitfaden für das Planen und Bauen mit Hilfe der Wertanalyse
Bauverlag, Wiesbaden, Berlin 1995
- [3] SIA Empfehlung V382/3: Bedarfsermittlung für Lüftungstechnische Anlagen
SIA, 8039 Zürich, 1992 (s. auch in 5.5 Normen)
- [4] Luftförderung mit kleinem Energiebedarf
BFE-Merkblatt, EDMZ 3000 Bern, Nr. 805.162d 2.97
4-seitiges Merkblatt mit Beschreibung und Beurteilung von Massnahmen zur Reduktion des Energiebedarfes für die Luftförderung mit elektrisch angetriebenen Ventilatoren
- [5] Semesterarbeit "Kleinventilator mit hohem Wirkungsgrad"
Daniel Meyer, Zentralschweizerisches Technikum Luzern/Horw, März 1998
- [6] Kühlmöbel und Kälteanlagen in Lebensmittelgeschäften
RAVEL-Dokument EDMZ-Nr. 724.350 d, Hrsg. Bundesamt für Konjunkturfragen,
3003 Bern, 1994
sowie ("Vorprojekt" dazu):

Kühlmöbel im Lebensmittelhandel
RAVEL-Material EDMZ-Nr. 724.397.21.52 d , 1992
beide zu beziehen bei: EDMZ, 3000 Bern

5.2 Strömungslehre und Ventilatoren

- Fritz Schlender, Günter Klingenberg
Ventilatoren im Einsatz – Anwendung in Geräten und Anlagen
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1996
ISBN 3-18-401293-X
- *400-seitiges Fachbuch über Ventilatoren und elektrische Antriebe. Es vermittelt Grundwissen, beschreibt Probleme aus der Praxis und behandelt wichtige Fachgebiete wie Akustik, Zuverlässigkeit, Festigkeit und Schwingungen usw. In einem kurzen Kapitel über Kleinventilatoren werden Beispiele mit Massnahmen zur Wirkungsgradverbesserung beschrieben.*

- Josef Lexis
Ventilatoren in der Praxis – Das Handbuch für Planer und Anlagenbauer
Gentner Verlag Stuttgart, 3. Auflage 1994
ISBN 3-87247-305-0
- *Praxisnahes 300-seitiges Handbuch, welches vor allem den planenden und ausführenden Lüftungsingenieuren zur Lösung von ventilatorischen Problemstellungen dienen will. Es enthält viele konkrete Beispiele, Gegenüberstellungen und Berechnungen zu den unterschiedlichen spezifischen Eigenschaften und Anwendungsgebieten von Radial-, Axial- und Querstromventilatoren.*
- Ernst Käppeli
Strömungslehre und Strömungsmaschinen
Selbstverlag Ernst Käppeli, 3. Auflage 1984
- *Ernst Käppeli ist em. Professor der Ingenieurschule Rapperswil. Sein 350-seitiges Fachbuch dient den Studenten des Maschinenbaus zum Gebrauch neben den Vorlesungen und den Ingenieuren in der Praxis zur Auffrischung ihrer strömungstechnischen Kenntnisse.*
- Bruno Eck
Ventilatoren
Springer-Verlag, 5. Auflage
ISBN 3-540-05600-9
- *600-seitiges Standardwerk über Ventilatoren*
- Bruno Eck
Technische Strömungslehre
Band 1: Grundlagen
Band 2: Anwendungen
Springer-Verlag
ISBN 3-540-18746-4, 3-540-10628-6
- *Der 250-seitige Band 1 vermittelt die Grundlagen der technischen Strömungslehre in einer den Technikern zugänglichen knappen Darstellung. Der 200-seitige Band 2 beschreibt typische Anwendungen der industriellen Strömungstechnik und enthält auch Widerstandsangaben für Einzelwiderstände und Armaturen.*

5.3 Anwendung in Lüftungstechnischen Anlagen

- Bundesamt für Konjunkturfragen – Impulsprogramm RAVEL
Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen
Form. 724.307 d 9.93 resp. f 5.94
- *140-seitige Dokumentation zum gleichnamigen 2-tägigen RAVEL-Kurs. Sie behandelt die wichtigsten Aspekte, welche in der Planung, im Betrieb und beim Unterhalt von Lüftungstechnischen Anlagen zu beachten sind, um die gestellten Anforderungen an das Raumklima mit möglichst kleinem Energieaufwand erreichen zu können.*

- Arbeitskreis der Dozenten für Klimatechnik
Lehrbuch der Klimatechnik
Band 1: Grundlagen
Band 2: Berechnung und Regelung
Band 3: Bauelemente
Verlag C.F. Müller Karlsruhe
ISBN 3-7880-7335-7, 3-7880-7324-1, 3-7880-7336-5
- *Sehr umfangreiches Handbuch mit insgesamt etwa 1'500 Seiten. Das Handbuch richtet sich nicht nur an Studenten, sondern ist auch für den Praktiker der Lüftungs- und Klimatechnik gut nutzbar. Ventilatoren werden in Band 3 behandelt.*

5.4 Kontrollierte Wohnungslüftung

Entwicklung

- Prof. Dr.-Ing. F. Steimle, Universität Essen
Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung
Homepage 1997, 3 Seiten
www.ibk.uni-essen.de/thermo/forschung/lueftungsanlagen/lueftungsanlagen.htm
- *Das Ziel des Forschungsprojektes liegt in der Ermittlung von Ansatzpunkten für Optimierungsmassnahmen, sowie in der Identifikation von Kopplungsvarianten, welche durch den geringsten Primärenergieaufwand und den daran gebundenen CO₂-Emissionen gekennzeichnet sind. Sowohl Aspekte der Qualität und des Zusammenspiels der einzelnen Komponenten eines Lüftungsgerätes, als auch die Anbindung an verschiedene Gebäudekonzeptionen, sollen dabei im Hinblick auf die zu erwartende CO₂-Einsparung untersucht werden.*
- VEW Energie AG
Gleichstromlüfter in Wohnungslüftungsgeräten
Homepage 1998, 1 Seite
Fehler! Textmarke nicht definiert. (interne Suchmaschine → Wohnungslüftung)
- *Die Prüfstelle für Wohnungslüftungsgeräte der VEW Energie AG hat in einem Versuch das Leistungsvermögen von Gleichstromlüftern mit herkömmlichen Wechselstromlüftern verglichen, um Einsparpotentiale und Möglichkeiten für die Wohnungslüftung aufzuzeigen. Das Ergebnis war beeindruckend.*
- VEW Energie AG
Weiterentwicklung der Steuer- und Regelstation Wohnungslüftung
Homepage 1998,1 Seite
Fehler! Textmarke nicht definiert. → Markt & Dienste → Privatkunden → Bauen und Wohnen

. Zum effizienten und damit energiesparenden Betrieb mechanischer Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung wurde von der VEW Energie AG in Zusammenarbeit mit der Industrie eine den besonderen Erfordernissen angepasste Steuer- und Regeleinheit entwickelt.

.

Felduntersuchung

- E2000 Öko-Bau, Klima-Suisse, INFEL
Kontrollierte Lüftung in der Praxis
Mai 1998, 24 Seiten
Vorstellung von acht ausgeführten Anlagen inkl. technische Daten; Anleitung und Hilfestellung für Planer, Architekten und Bauherrschaften
- VEW Energie
Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung; Endbericht Felduntersuchung an 60 Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung
Publikation 1995, 180 Seiten
Endbericht Felduntersuchung an 60 Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung: Untersuchungsablauf, Definition der Kennzahlen, Kurzbeschreibung der untersuchten Objekte, diverse Auswertungen.

Planung

- Mürmann Herbert, C.F. Müller Verlag
Wohnungslüftung; Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung: System – Planung – Ausführung
Publikation 1994, 205 Seiten, ISBN 3-7880-7467-1
Anzeige: www.huethig.de/fachverl/cfm/cfm7467.html
Vorstellung der einzelnen Systeme für Wohnungslüftung, Planungsgrundlagen und Information über alle Bauteile und Geräte für eine Lüftungsanlage in Ein- und Mehrfamilienhäusern, insbesondere für Lüftung mit Wärmerückgewinnung.
- VEW Energie AG Prof. Dr. Heinz Hullmann
Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung
Publikation 1995, 50 Seiten
Einführung und je drei Planungsbeispiele für Neubauten und Sanierungen.
- Klima-Suisse
Leitfaden Kontrollierte Wohnungslüftung
Publikation Mai 1998, Ordner ca. 100 Seiten, enthält auch die beiden untenstehenden Produkte (Infel..., VEW...)
Umfassende Planungshilfe.

Produkte

- Infel, Klima-Suisse, Energie 2000 Öko-Bau
Marktführer Schweiz „Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung“,
Publikation 1998, 56 Seiten, Artikel Nr. 725010
- *Einführung, Anlageprinzipien (15 Firmen à 2 Seiten),
Adressverzeichnis*

- VEW Energie AG
Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung: System- und Anbieterübersicht
Publikation 1995, 50 Seiten
- *Ueberblick über System und Anbieter, Produkte der Anbieter nicht erwähnt.*
-

Prüfung

- Banck Udo Peter, Uni Dortmund
Mess- und Prüfverfahren zur Bestimmung der Kennzahlen von Wohnungslüftungsanlagen
Elektrowärme International 54 (1996) März
Publikation 1996, 4 Seiten
- *Definition von Kennzahlen für energetisches Verhalten der Units (Rückwärmzahl, Wärmerückgewinnungsgrad, Wärmebereitstellungsgrad, elektrisches Wirkungsgradverhältnis, Primärenergie- und CO₂-Einsparung), Messpunkte für thermodynamische Prüfung.*
- Bruckmann Oliver, Dipl.-Ing., Uni Essen
Prüfstand für Wohnungslüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung
TAB 3/98
Publikation 1998, 5 Seiten
- *Die Prüfkriterien für Zulassungsprüfungen von Wohnungslüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung wurden, zumindest sofern es Geräte zur Wärmeübertragung an den Zuluftstrom betrifft (Luft/Luft), vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin verbindlich festgelegt. Der Artikel beschreibt die Anforderungen an Aufbau und Messtechnik am Beispiel des Prüfstandes des Instituts für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik an der Universität Essen.*
- VEW Energie AG
Veröffentlichung der Prüfergebnisse von Wohnungslüftungsgeräten
Homepage 1998, 1 Seite
Fehler! Textmarke nicht definiert. → Markt & Dienste → Privatkunden → Bauen und Wohnen
- *Die VEW Energie AG - Abteilung Anwendungstechnik – veröffentlicht die Prüfergebnisse von Wohnungslüftungsgeräten in einer Liste, die wesentliche Daten wie Einsatzgrenzen, Leckageraten, Wärmerückgewinnungsgrad, Strom-Wärmeverhältnis und möglich Primärenergieeinsparung beinhalten.*
-

5.5 Normen

- Empfehlung SIA V382/1
Technische Anforderungen an Lüftungstechnische Anlagen
SIA, Ausgabe 1992, 35 Seiten

- Empfehlung SIA V382/3
Bedarfsermittlung für Lüftungstechnische Anlagen
SIA, Ausgabe 1992, 35 Seiten

- DIN 44974
Elektrische Haushalt-Ventilatoren, Gebrauchseigenschaften
Teil 1: Begriffe, 2 Seiten
Teil 2: Prüfungen, 3 Seiten
Teil 3: Anforderungen, 1 Seite
- DIN 24163, Teil 3
Ventilatoren-Leistungsmessung an Kleinventilatoren, Normprüfstände,
20 Seiten

5.6 Ventilatoren-Kataloge (die berücksichtigt wurden)

- Anson AG, Friesenberstrasse 108 8055 Zürich
- Bonotec AG (Gebhardt), Niesenstrasse 6 3510 Konolfingen
- Helios Ventilatoren AG, Steinackerstrasse 36 8902 Urdorf
- Risch Lufttechnik AG, Steinhaldenstrasse 3 8954 Geroldswil
- Trivent AG, Rotenboden 621 9497 Triesenberg (FL)
- Ziehl-EBM AG, Wiesenstrasse 10 8952 Schlieren
(auch Papst Elektroniklüfter)

6.	Anhang	Seite
A1	Systematik der Kleinventilatoren	A1
A2	Marktangebot Detailauswertung	A4
A3	Kriterien und Bewertung Nutzwertanalyse	A10
A4	Diskussionsvorschlag für neue Wirkungsgrad-Anforderungen	A15
A5	Beispiel Wirtschaftlichkeitsbetrachtung DC/AC-Kleinlüfter	A17
A6	Adressliste von Kleinventilatoren-Anbietern	A19

6. Anhang

A1 Systematik der Kleinventilatoren

Systematische Uebersicht über Bauformen und Techniken (+ Energierelevanz)

Begriffe

Kleinventilatoren	Volumenstrom \leq ca. 1000 m ³ /h, el. Leistungsaufnahme \leq ca. 150 W (keine starre Grenze, aber nur Kompaktventilatoren)
Kompaktventilatoren	mit integriertem Motor (nicht Normmotor). Im Projekt werden nur Kompaktventilatoren betrachtet.
V. ohne Gehäuse	nur Laufrad mit Motor wird angeboten. Daten aber mit Gehäuse!
Axial / Radial	wird nach Laufradform unterschieden, nicht Einbaukonfiguration.
Leistungsaufnahme	elektrisch, da nur Kompaktventilatoren betrachtet
Lüfter	als Synonym für Klein-/Kleinstventilatoren gebraucht
(DC) brushless	bürstenlose Kleinventilatoren, vor allem als Lüfter für Elektronik, enthalten einen elektronisch kommutierten Permanentmagnetmotor.
EC	Electronic Commutation (= elektronisch kommutierter Permanentmagnetmotor)

Bauformen Einfluss auf den Wirkungsgrad ↓

Kurzbezeichnung ↓

Axial-Laufrad	ohne Gehäuse	Ao	--
	mit Gehäuse, keine Ein-/Auslauflaufdüsen	Ag	-
	mit Gehäuse, mind. Einlaufdüse \geq 10% des \varnothing angeformt	Aa	
	mit Gehäuse und Leitapparat (v= vor, n= nach Laufrad) (Leitschaufeln steuerbar)	Alv	+
		Alvs	
Radial-Laufrad	<i>(folgende Eigenschaften-Gruppen überlagern sich)</i>	R	
	ohne Gehäuse	o	--
	mit G., einseitig saugend	e	
	mit G., doppelseitig saugend	d	
	Rohrventilator (z.B. Zwiebel)	z	
	Kanalventilator (eckiger Querschnitt)	k	
	mit Hauben-Gehäuse als Dachventilator	h	
	Querstromlüfter	q	--
	mit saugseitigem Leitapparat (steuerbar = ls)	l	
	Motor im Luftstrom	(keine	Kennzeichnung)
	Motor ausserhalb Luftstrom	x	

Schutzarten, Werkstoffe etc. nicht berücksichtigt.

Technik Einfluss auf den Wirkungsgrad ↓

Axial-Laufrad	profilierte Schaufeln	p	+
	nicht profilierte "Blech"-Schaufeln	n	-
Radial-Laufrad	Schaufeln vorwärtsgekrümmt (Trommelläufer)	t	-
	Schaufeln rückwärtsgekrümmt	r	+
	Schaufeln gerade	g	
Motor	Asynchronmotor Kurzschlussläufer innen, 2-polig	Mi2	
	Asynchronmotor Kurzschluss-Aussenläufer, 4-polig	Ma4	
	Asynchronmotor Scheibenanker, 4-polig	Msch4	
	Spaltpol-Motor, 4-polig	Msp4	--
	Asynchronm. Sonderbauform, z.B. vielpolig (Decken-V.)	Mx	
	Elektronikmotor Permanentmagnet, Elektronik integriert	Mei	+
	Elektronikmotor PM, Elektronik separat (ev. einstellbar)	Mes	+
	Andere Typen bzw. Sondermotoren	Mz	
Stromversorgung	Netz 230 V AC 50 Hz	(keine	Kennzeichnung)
	Netz 400 V Drehstrom		AC400
	Gleichstrom (Zahl = Spannung V)		DC12
	Frequenzumrichter mitgeliefert, 230 V, mit Mi2		FMi2
	Phasenanschnitt-"Regler" mitgeliefert, 230 V, mit Mi2		PMi2 -

Druckerhöhung statisch, Klassen (evtl. dimensionslose Kennwerte?)

"Freiblasend"	bis 50 Pa	OD	
kleine DE	51...300	Pa	nD
grössere DE	301...1000	Pa	gD

Beispiele von Kurzbezeichnungen:

Radialventilator, einseitig saugend, Asynchronmotor Aussenläufer 2-polig, ausserhalb Luftstrom angebaut, Einsatzbereich bis 300 Pa: RexMa2nD

Axialventilator, ohne Gehäuse, EC-Motor externe Elektronik für 230 V, bis 50 Pa: AoMesOD

Zuordnung von Bauformen und Techniken zu den relevantesten Anwendungen (Entwurf)

Anwendung	wichtigste Bauform	wichtigste Technik	wichtigste Druck-erhöhungsklasse
Gewerbl. Kühlung (Verdampfer, Verflüssiger, Verdichterkühlung)	Aa/g	n, Ma2/4	OD
Raumventilatoren alle Bauten, o. Kü/Bad/WC	Aa	p, Ma2/4	OD
Küchenabluft Wohnbauten einzel	Ro, Rh	t, Ma2/4	nD
Schaltschränke u.ä. Apparatetechnik	Aa	n, Ma2	OD
PC u.ä. Bürogeräte inkl. Drucker...	Ag	p, MeiDC6/12	OD
Klein-Absaugungen gewerbl.	Ag?, Re/k/z	t, Ma2/4	nD
Zentrale Abluft Bad/WC/Kü.	Rh	t, r, PMa2/4	nD
Auto (Heizung, Kühlung, ohne Direktantrieb)	Aa	n, MzDC12	nD
Prozessluft HH-Tumbler	Re	t, Ma2	gD (nD)
Bad-/WC Abluft u.ä. einzel	Re	t, r, Ma2	nD
Raumklimageräte fest/mobil, P1 = 2 Venti	Aa	n, PMa2/4	OD
Verdampfer HH-Kühlgeräte	Aa/g (x)	? p, Ma2/Mei	OD
Abgasventilatoren kl. Heizkessel	Rex	t, Ma2/Msp2	nD
Luftvorhänge Warenhäuser etc.	Rq	t, Mi2/4	nD/OD
Raumluftentfeuchter inkl. Wäschetrockner	Ao/Rd	t?, Ma2	nD
Kontroll. Wohnungslüftung	Re	t, PMa2	nD
Cheminéeventilatoren (33% aller EFH)	Re	t, PMa2	OD
Absaugungen Geschirrspüler	? Ag/o (x)	p, Ma2	nD
Heizgeräte (El.Speicher/direkt, Händetrockner...)	Re	t, Ma2	nD
Haartrockner, Heizlüfter	Ag/o	p, Mz (DC)	nD

A2 Marktangebot Detailauswertung

Auf der folgenden Seite sind die Darstellungen der Wirkungsgrade in Funktion des Volumenstroms sowie der Förderleistung zusammen angeordnet.

Bild A2.1 Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt, in Funktion des Volumenstroms (= Bild 3.4 des Kapitels 3.2 im Bericht)

Bild A2.2 Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt, in Funktion der Förderleistung (Nutzleistung $P_N [W] = V [m^3/s] \cdot \Delta p [Pa]$)

Anschliessend folgen die Datendetails der in den Grafiken dargestellten Ventilatoren aus den Katalogen.

A3 Kriterien und Bewertung Nutzwertanalyse

A4 Diskussionsvorschlag für neue Wirkungsgrad-Anforderungen

Im Kapitel 3.2 des Schlussberichtes sind die Ergebnisse der Wirkungsgrad-Erhebungen sowie der Anforderungen nach SIA 382/3 dargestellt (Bilder 3.3/3.4). Im Volumenstrombereich unter 15'000 m³/h sind die Anforderungslinien vorläufig punktiert. Die vorliegende Arbeit hat nun Hinweise für einen möglichen realistischen Kurvenverlauf in diesem Bereich gebracht.

In Bild A4.1 ist ein erster Diskussionsvorschlag für neue Anforderungen eingetragen. Für die entsprechenden Linien im Bereich Kleinventilatoren werden logarithmische Funktionen vorgeschlagen, welche an die existierende Konstante bei 25'000 m³/h anschliessen. Würde an der bisherigen "Ecke" 15'000 m³/h angeschlossen, so ergäben sich im mittleren Volumenstrombereich sehr wenig "erfüllende" Ventilatoren. Der untere Festpunkt der Funktionen ist in Bild A4.1/2 willkürlich mit 5% bzw. 10% bei 20 m³/h gewählt, um eine ähnliche Steigung wie bei den Regressionslinien der ausgewerteten Ventilatoren zu erhalten. Für die Label-Anforderung müsste die Grenzlinie weiter nach rechts verschoben werden, damit zur Zeit eine angemessene Anzahl Ventilator prämiert werden könnte.

Bild A4.1 Diskussionsvorschlag neue Anforderungsfunktion (allgemein/ energie-effizient) in **logarithmischer** Darstellung mit Wirkungsgraden von Kleinventilatoren

Bild A4.2 (unten) zeigt dieselben Daten, aber den Ausschnitt Volumenstrom 0 – 3000 m³/h in **linearer** Darstellung (logarithmische-Funktionen werden Kurven).

Die Bilder sind zum besseren Vergleich zusammen auf der folgenden Seite angeordnet.

A5 Beispiel Wirtschaftlichkeitsbetrachtung DC/AC-Kleinlüfter

"Strom und Geld sparen mit effizienten Kleinventilatoren"

Kleinventilatoren, wie sie in grossen Stückzahlen etwa als Bad-WC-Abluftventilatoren oder Kühlgebläse in Apparaten eingebaut sind, erreichen oft nur Wirkungsgrade von wenigen Prozenten. Bei Anwendungen mit kurzen Laufzeiten ist dies insofern wenig problematisch, als die Stromkosten über die Lebensdauer kaum höher liegen Anschaffungskosten. Bei Dauerläufern sieht dies anders aus (Bild A5.1).

Beispiele Lebensdauerkosten eines Lüfters					
		Strompreis [Fr./kWh] 0.20			
Leistungs- aufnahme [W]	Anschaffungs- kosten [Fr.]	Stromkosten [Fr / 10 Jahre], <i>mit Betriebsstunden/Jahr:</i>			
		500	2000	8760	
5	55.00	5.00	20.00	87.60	
20	43.00	20.00	80.00	350.40	
80	100.00	80.00	320.00	1401.60	

Bild A5.1 Beispiele Lebensdauerkosten eines Kleinlüfters

Bereits gibt es auf dem Markt energie-effiziente Kleinventilatoren; allerdings lassen sich wirklich gute Wirkungsgrade nur mit Permanentmagnetmotoren erreichen. Diese sind als "Brushless DC" Ventilatoren durchaus mit hoher Lebensdauer erhältlich, bisher aber meist nur mit Gleichstrom-Speisung (12/24/48 V). Damit beschränkt sich das praktische Einsatzgebiet auf elektronische Geräte und Fahrzeuge. Mit moderner Elektronik könnte jedoch ein effizientes "Netzgerät" in die Steuerung solcher Lüfter integriert werden, ohne die Kosten stark zu erhöhen.

Bild A5.2 und Tab. A5.3 zeigen Paare von Loeinlüftern gleicher Abmessungen und etwa gleicher Luftleistung, jeweils mit 230 V AC-Motor und mit Brushless DC-Motor. Der Wirkungsgrad-Unterschied bzw. die Reduktion der Leistungsaufnahme ist eklatant; selbst wenn für ein Netzgerät nochmals ein Verlustzuschlag gemacht würde. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung (Tab. A5.4) zeigt, dass sich die Mehrkosten des DC-Typs, auch erhöht um die Netzgerät-Komponenten sich lohnen.

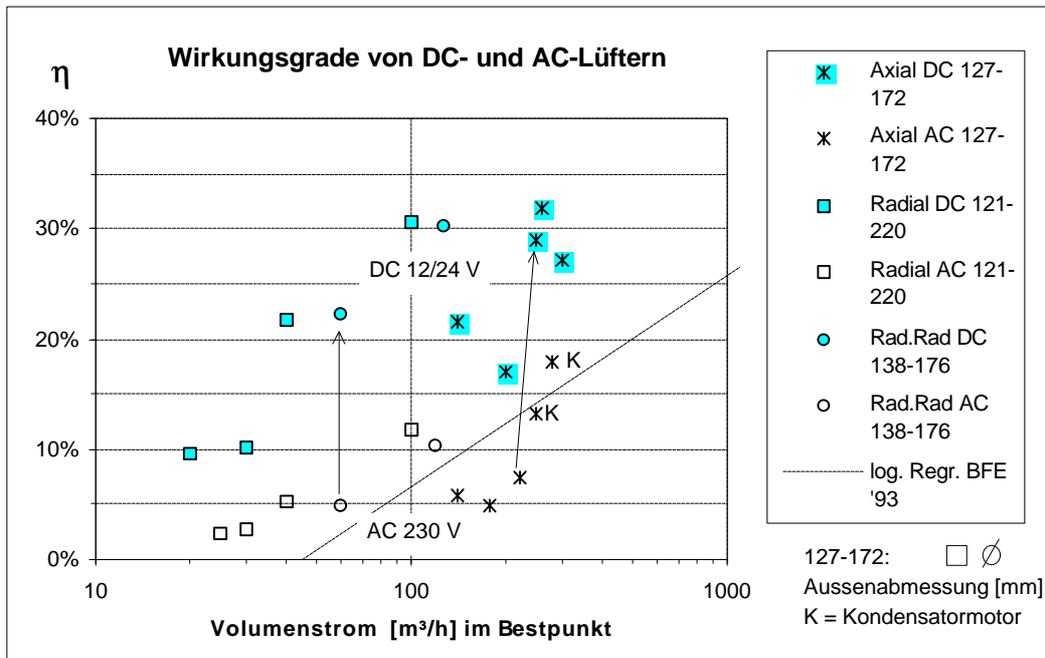


Bild A5.2

Wirkungsgrade von Klein-lüftern in Funktion des Volumenstroms

Lüfter:		Preis Fr.	Daten im Wirkungsgrad-Bestpunkt				
Art, Abmessungen			V' [m ³ /h]	Δp [Pa]	P nutz [W]	Pauf [W]	η %
Radial-Rad DC	D138x35	55.00	60	60	1.000	4.5	22.2%
Radial-Rad AC	D138x36	49.00	60	56	0.933	19	4.9%
Axial DC	D150x55	88.00	250	50	3.472	12	28.9%
Axial AC	D150x56	55.00	220	55	3.361	45	7.5%

Tab. A5.3 Vergleich von DC- und AC-Lüftern gleicher Luftleistung und Dimension

Wirtschaftlichkeit	Strompreis [Fr/kWh] 0.2			
	Differenz P auf [W]	Stromeinsparung über 20'000 h [kWh]	Stromkosten-Einsp. über 20'000 h [Fr.]	Mehrpreis DC statt AC [Fr.]
Radial-Rad D138: DC statt AC	14.5	290	58.00	6.00
Axial D150: DC statt AC	33	660	132.00	33.00

Tab. A5.4 Stromkosteneinsparung und Mehrpreis von DC- versus AC-Lüftern