

Jürg Nipkow, Zürich, Peter Graf, Zürich, Urs Steinemann, Wollerau

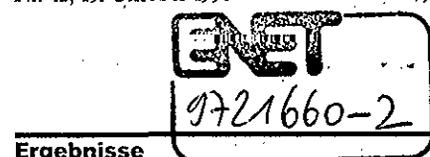
## Kleinventilatoren mit hohem Wirkungsgrad

**Der Elektrizitätsverbrauch von Kleinventilatoren (rund 1000 m<sup>3</sup>/h) in der Schweiz beträgt 0,5 bis 1% des Landesverbrauchs. Anhand von Katalogdaten wurde das Marktangebot bezüglich Wirkungsgrad untersucht. Resultat: Bei vielen Anwendungen könnte die Effizienz stark gesteigert werden.**

Der Wirkungsgrad von heute erhältlichen Kleinventilatoren liegt häufig unter 10%. Wenn ähnliche Verbesserungen wie bei Klein-Umwälzpumpen [2] realisierbar sind, so ergibt sich ein beachtliches Sparpotential. Sicher trifft dies zu bei Ventilatoren mit Spaltpol- und kleinen Asynchronmotoren sowie bei Radialventilatoren mit Trommelläufer (vorwärtsgekrümmte Schaufeln). Im vorliegenden Projekt [1] werden Anwendungsschwerpunkte und Technologien untersucht und Ansatzpunkte für Sparmassnahmen be-

schrieben. Neben einer Datenbasis zum Bereich Kleinventilatoren wurde eine Anzahl von Folgeprojekten evaluiert bzw. vorgeschlagen.

Die Arbeiten wurden vom engeren Projektteam (drei Autoren) im Kontakt mit einer breit abgestützten Begleitgruppe abgewickelt. In dieser sind neben dem Auftraggeber Bundesamt für Energie (BFE), vertreten durch M. Stettler und R. Brüniger, auch die interessierte Fachhochschule Zentralschweiz (ehem. Zentralschweizer Technikum Luzern ZTL) sowie die Industrie vertreten. Als unabhängig finanziertes, begleitendes Projekt konnte der Bau eines Prüfstandes für Kleinventilatoren an der Fachhochschule Zentralschweiz Luzern initiiert werden. Im Rahmen einer Semesterarbeit [3] wurde bereits ein Ventilator ausgemessen und die Messergebnisse mit Theorie und Datenblatt verglichen. Weitere Messprojekte, etwa zu Auswirkungen der Einbausituation, werden folgen.



Ergebnisse

### Elektrizitätsverbrauch von Kleinventilatoren nach Anwendung

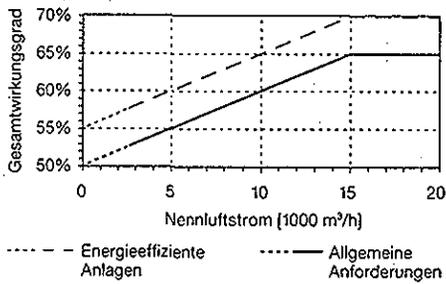
Die wichtigsten Anwendungen von Kleinventilatoren wurden mit den jeweiligen Basisannahmen in einer Tabelle (Bild 1) zusammengestellt und daraus der entsprechende gesamtschweizerische Elektrizitätsverbrauch hochgerechnet. Die Anwendungen sind nach «korrigiertem» Stromverbrauch sortiert, d.h. unter Berücksichtigung der Heizwirksamkeit bzw. der Kühllast der Abwärme von Ventilator und Motor (der massgebende Ventilatorstromverbrauch wird um den heizwirksamen Anteil vermindert).

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 im Projekt-

Datengrundlagen zu Kleinventilatoren-Anwendungen

Anwendungsbereiche	ca. Mio. Stück (CH)	P1 ca. W	ca. Std./a	kWh/a, Stk.	ca. GWh/a	Verbrauchsrelevanz*	ca. GWh/a korrigiert*
Gewerbl. Kühlung (Verdampfer, Verflüssiger, Verdichterkühlung)	0,5	20	4000	80	40	1,5	60
Raumventilatoren einzel, oder Kü/Bad/WC	0,8	100	600	60	48	1	48
Küchenabluft Wohnbauten, einzel	1,2	100	400	40	48	1	48
Schaltschränke u.ä., Apparatkühlung	1	10	4000	40	40	1	40
PC u.ä., Bürogeräte inkl. Drucker	4	5	2000	10	40	0,7	28
Klein-Absaugungen, gewerbl.	0,5	50	1000	50	25	1	25
Zentrale Abluft Bad/WC/Kü.	0,1	50	4000	200	20	1	20
Auto (Heizung, Kühlung, ohne Direktantrieb)	2	20	500	10	20	1	20
Prozessluft HH-Tumbler	0,5	250	500	125	62,5	0,3	19
Bad-/WC-Abluft u.ä., einzel	1,5	20	500	10	15	1	15
Raumklimageräte fest/mobil, P1 = 2							
Ventil	0,2	80	500	40	8	1,5	12
Verdampfer HH-Kühlgeräte	0,5	10	4000	40	20	0,5	10
Abgasventilatoren kl. Heizkessel	0,1	40	2000	80	8	1	8
Luftvorhänge Warenhäuser usw.	0,005	1000	2000	2000	10	0,8	8
Raumluftentfeuchter inklusive Wäschetrockner	0,1	150	1000	150	15	0,3	4,5
Kontrolle Wohnungslüftung	0,005	200	4000	800	4	0,5	2
Cheminéeventilatoren (33% aller EFH)	0,2	50	150	7,5	1,5	0,7	1
Absaugungen Geschirrspüler	0,2	10	500	5	1	0,5	0,5
Heizgeräte (El. Speicher/direkt, Händetrockner usw.)	3	40	500	20	60	0	0
Haartrockner, Heizlüfter	5	20	200	4	20	0	0
<b>Total bzw. Mittel</b>					<b>466</b>	<b>0,66</b>	<b>309</b>

\* Verbrauchsrelevanz: reduziert wenn Ventilatorenergie heizwirksam, erhöht wenn wegzukühlen.



2  
Wirkungsgradanforderungen nach der Empfehlung SIA V382/3

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

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 unbekannten Teil der Prozessluftventilator im Zuluftstrom angeordnet und damit heizwirksam ist.

### Auswertung des Marktangebotes

Aus den verfügbaren Katalogdaten wurde eine repräsentative Auswahl von Kompaktventilatoren verschiedener Typen und Bauformen ausgewertet. Die aus den Datenblättern ermittelten Wirkungsgrade sind in Bild 3 und 4 - zwecks Praxisnähe - in Funktion des Volumenstromes dargestellt. Für den Volumenstrom wurde ein logarithmischer Massstab gewählt, da sonst bei grösseren Bereichen die kleinen Werte stark zusammengedrängt werden.

Um energieeffiziente Lüftungsanlagen zu fördern, wurden in der Empfehlung SIA V382/3 [4] Anforderungen gemäss Bild 2 eingeführt und in einem später erstellten Merkblatt «Luftförderung mit kleinem Energiebedarf» des BFE [5] aufgenommen und erläutert. Diese Anforderungswerte beziehen sich vor allem auf Lüftungs- und Klimaanlage und damit auf grössere Volumenströme bzw. Ventilatoren. Deshalb sind die Kurven auch unterhalb 2500 m<sup>3</sup>/h punktiert. Informationshalber haben wir die Kurven in die Gesamtdarstellung der Kleinventilator-Wirkungsgrade aufgenommen, wobei die lineare Funktion unterhalb 15 000 m<sup>3</sup>/h in

der logarithmischen Darstellung gekrümmt erscheint.

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 [5] 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 Bildern 3 und 4 als Datenpunkte bzw. als Regressionslinie zur Orientierung eingetragen.

Im Bild 3 sind alle untersuchten Ventilatorgruppen sowie die BFE-Datenerhebung 1993 zur Übersicht und zum Vergleich mit den SIA-V382/3-Anforderungen zusammengefasst. Aus den Regressionslinien der neu erhobenen Gruppen lässt sich - mit zwei Ausnahmen - eine deutliche Wirkungsgradverbesserung gegenüber der Erhebung 1993 (x) ersuchen.

Bild 4 steht hier stellvertretend für vier weitere im Projektschlussbericht [1] dargestellte Kleinventilatorgruppen (Kanal-/Rohr-, Radial-, Axialventilatoren und Elektroniklüfter). In Bild 4 ist die Regressionslinie der Daten der obenerwähnten BFE-Erhebung bis zu 0% Wirkungsgrad verlängert, was natürlich in der Praxis nicht vorkommt, sich aber in der einfach logarithmischen Darstellung ergibt.

Es sind beträchtliche, über den Grösseeffekt (vgl. Regressionslinie) hinausgehende Unterschiede festzustellen. Die Daten der beiden ungünstigsten Typen

enthalten allerdings bereits Druckverluste von Luftfiltern und sind deshalb nicht direkt vergleichbar. Auffallend die guten Werte der Dachventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln (Rr).

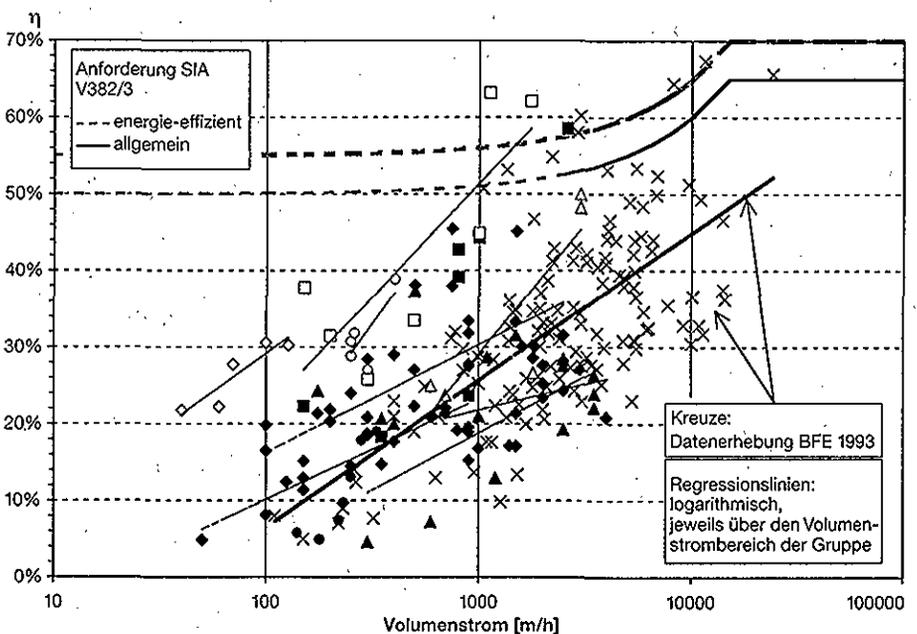
### Prüfstand für Kleinventilatoren an der Fachhochschule Zentralschweiz

Die Fachhochschule Zentralschweiz konnte mit eigenen Mitteln einen für Kleinventilatoren geeigneten Prüfstand erstellen und mit einer ersten Diplomarbeit (Ausmessen eines Elektroniklüfters) praktisch erproben. Der Diplomarbeitsbericht [3] kann am ZTL eingesehen werden, es finden sich darin auch die technischen Daten des Prüfstands und der Auswertungssoftware. Zurzeit sind weitere Arbeiten geplant, welche u.a. die im Projekt aufgeworfenen Fragen nach dem Einfluss von Einbausituationen von Ventilatoren ohne Gehäuse (Motorlaufräder) untersuchen sollen. Die Datenblattwerte dieser Räder werden nämlich mit strömungsgünstigen Gehäusen ermittelt, während die praktische Einbausituation oft weit ungünstigere Verhältnisse ergibt, worunter letztlich der Wirkungsgrad leidet.

### Effizienztechniken

Die folgenden Abschnitte zeigen die Bedeutung von energieeffizienten Kleinventilatoren im Rahmen von Gesamtsystemen und geben Hinweise auf Effizienztechniken. Erweiterungen und zur Umsetzung in Aus- und Weiterbildung geeignete Formen sollen im Rahmen eines Folgeprojektes (siehe weiter hinten) erarbeitet werden.

3  
Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt, in Funktion des Volumenstroms



### 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 (u.a. keine Wärmerückgewinnung möglich, höhere Investitionskosten, zusätzlicher Wärmeübergang bei anderen Medien).

### 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.

### 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)

### Leistungsverminderung der Fördertechnik

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

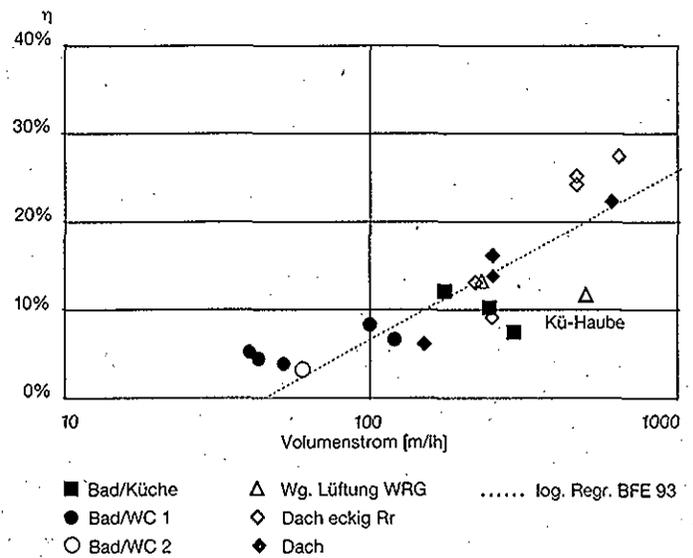
### Betriebsdauer

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

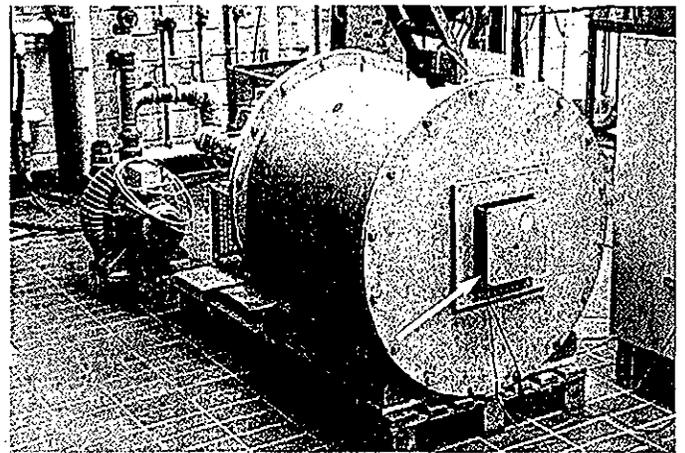
### Höherer Wirkungsgrad von Ventilator und Motor

Angesichts der tiefen Wirkungsgrade des heutigen Marktangebotes (Bild 3), der Verfügbarkeit der Effizienztechnik sowie der relativ günstigen Umsetzbarkeit (wenn einmal die Produkte kostengünstig über

4  
Wirkungsgrad von Kleinventilatoren im Bestpunkt: Abluft/WRG Wohnungen



5  
Prüfstand mit montiertem Radialkleinventilator

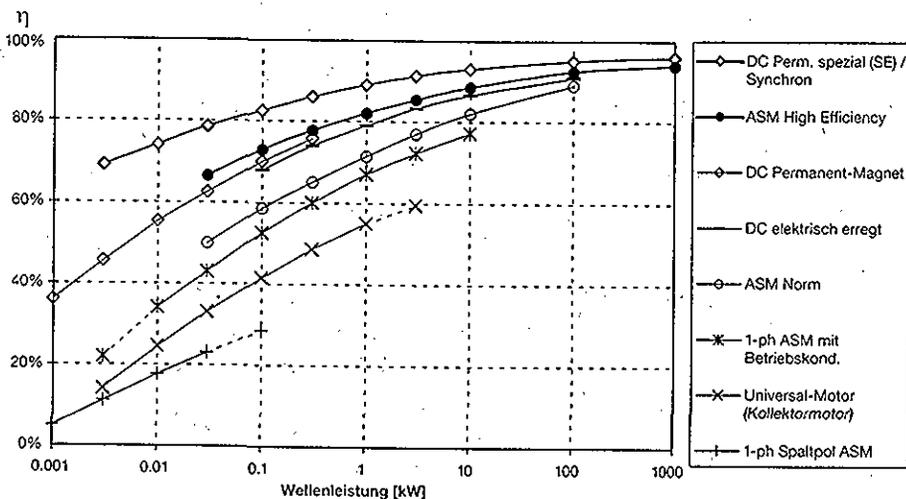


die richtigen Kanäle angeboten werden) hat der Ansatz «Wirkungsgrad» hohe Priorität. Nachstehend sind wichtige technische Eigenschaften energieeffizienter Kleinventilatoren zusammengefasst:

Bereits verfügbare Elektroniklüfter und grössere «EC»-Ventilatoren wie auch ein Forschungsprojekt im Bereich Klein-Umwälzpumpen zeigen, dass mit elektronisch kommutierten Permanentmagnetmotoren Wirkungsgrade erreichbar sind, die weit über den mit Asynchronmotoren (insbesondere Kondensator- oder gar Spaltpoltyp) möglichen Werten liegen (Bild 6). Ein zusätzlicher Wirkungsgradgewinn des Ventilators lässt sich unter Umständen 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.

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. Dank modernen Entwicklungs- und Fertigungstechniken können profilierte Schaufeln auch bei kostengünstigen Produkten eingesetzt werden.

Die Luftströmungsoptimierung 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.



6  
Motorwirkungsgrade in Funktion der Wellenleistung

## Literatur

- [1] Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte für Kleinventilatoren mit hohem Wirkungsgrad. Schlussbericht BFE-Forschungsprojekt, J. Nipkow et al., 1998. Bezug: Enet, Postfach 142, 3000 Bern 6
- [2] Klein-Umwälzpumpe mit hohem Wirkungsgrad. Schlussbericht BFE-Forschungsprojekt, J. Nipkow et al., 1994. Bezug: Enet, Postfach 142, 3000 Bern 6
- [3] Kleinventilator mit hohem Wirkungsgrad. Semesterarbeit von Daniel Meyer, Zentralschweizerisches Technikum Luzern/Horw, März 1998
- [4] Empfehlung SIA V382/3: Bedarfsermittlung für Lüftungstechnische Anlagen. SIA, 8039 Zürich, 1992
- [5] Luftförderung mit kleinem Energiebedarf. BFE-Merkblatt, EDMZ, 3000 Bern, Nr. 805.162d 2.97

## Folgeprojekte (Vorschläge)

### Anforderungen/Label

In der Projektarbeit hat sich gezeigt, dass die Wirkungsgradanforderungen nach SIA V382/3 für Volumenströme < 2500 m<sup>3</sup>/h (punktierter Bereich in Bild 3) überarbeitet bzw. ergänzt werden müssen. Die Marktuntersuchung hat auch bereits konkrete Anhaltspunkte für mögliche Anforderungen im kleinen Leistungsbereich geliefert (Kontaktperson: Urs Steinemann, Adresse unten).

Das BFE möchte ein Energiesparlabel (ähnlich wie das Energie-2000-Gerätelabel) für Kompaktventilatoren realisieren. Dafür sind technische und verfahrensmässige Grundlagen zu schaffen. Weitere Kriterien wie Geräusch, Kennlinienform, Anbietersupport usw. sind eventuell einzubeziehen (Kontaktpersonen: Martin Stettler, BFE, Jürg Nipkow).

### Informationsmaterialien, Aus- und Weiterbildung

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden bereits viele Erkenntnisse zu Kleinventilatoren zusammengetragen bzw. erarbeitet, die in der Aus- und Weiterbildung sinnvoll weitergegeben werden können. Diese sollen, zusammen mit neuen Erkenntnissen aus dem Projekt «Effizienztechniken» (siehe unten), in einer für Lehrkräfte, aber auch für Praktiker unmittelbar nützlichen Form zusammengestellt werden (Kontaktperson: Jürg Nipkow).

## Energieeffizienz bei Kleinventilatoren zur Kühlung von Schaltschränken und anderen Apparaten

Kenngrössen dieser Anwendungen sollen an typischen Bauten näher untersucht werden (z.B. Aufnahme der Art und Anzahl von Schaltschränken mit Kenndaten und Betriebsweise der eingesetzten Kleinventilatoren zur Kühlung in typischen Verwaltungsbauten). Mit Laborarbeiten sind Möglichkeiten und Wirksamkeit von Stromsparmassnahmen zu prüfen. Ergebnisse und Empfehlungen sollen in einem auch für die Aus- und Weiterbildung verwendbaren Bericht zusammengefasst werden. Anzustreben ist eine Zusammenarbeit zwischen einem Elektroplaner und einem Lüftungsplaner (Kontaktperson: Urs Steinemann).

## Effiziente Kleinventilatoren bei der kontrollierten Wohnungslüftung

Wegen ineffizienter Kleinventilatoren werden bei der kontrollierten Wohnungslüftung oft unbefriedigende Thermo-Elektro-Verstärkungsfaktoren erreicht. Basierend auf den einschlägigen Normen, den im Umfeld von Energie-2000-Öko-Bau verfügbaren Informationen sowie jenen aus Deutschland sind Definitionen, Kennzahlen, Messverfahren und Deklarationen festzulegen. Das Marktangebot an Kompaktapparaten zur kontrollierten Wohnungslüftung ist bezüglich Energieverbrauch und -rückgewinnung wie auch weiterer Parameter (z.B. Schall) zu untersuchen. Dafür wird voraussichtlich ein

produkteneutraler Prüfstand für Wohnungslüftungsunits am ZTL zu erstellen sein. Als Resultat werden Auswahlkriterien und allenfalls Planungshilfen sowie Messmethoden und weitere Hilfestellungen für die Inbetrieb- und Abnahme von Wohnungslüftungsanlagen erwartet (Kontaktpersonen: Prof. R. Furter/H. Huber, ZTL, P. Graf/Dr. W. Hässig, Basler & Hofmann).

## Kompetenzgruppe «Effizienz-techniken für Kleinventilatoren»

Das technische Rüstzeug und zum Teil sogar die Produkte sind vorhanden, Weiterentwicklung in Teilbereichen ist aber nötig, und insbesondere ist Energiebewusstsein bei Gesamtsystemen vonnöten. Eine Kompetenzgruppe «energieeffiziente Kleinventilatoren» soll an der Fachhochschule Zentralschweiz aufgebaut werden. Sie soll Produkteprüfungs-, Forschungs-, Aus- und Weiterbildungs- und Kommunikationsdienstleistungen erbringen und gegebenenfalls auch Entwicklungsarbeiten zusammen mit Industriepartnern ausführen. Mit dem neuen Prüfstand ist bereits ein erster Schritt getan (Kontaktperson: Prof. T. Staubli, ZTL).

### Adressen der Verfasser:

Jürg Nipkow, dipl. Ing. ETH/SIA, Arena, Schaffhauserstrasse 34, 8006 Zürich, Peter Graf, dipl. Masch.-Ing. ETH, Basler & Hofmann, Forchstrasse 395, 8029 Zürich, Urs Steinemann, Ing. HTL/SIA, Ingenieurbüro, Schwalbenbodenstr. 15, 8832 Wollerau