



Fachtagung am 15. Mai 2002

# Raumluftechnische Anlagen: Energiesparende Planung und Betrieb

**Augsburg, 2002 – ISBN 3-936385-03-3**

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 90 71 - 0  
Fax: (0821) 90 71 - 55 56  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: <http://www.bayern.de/lfu>

Zitiervorschlag:

Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Veranst.):

Raumluftechnische Anlagen: Energiesparende Planung und Betrieb (Augsburg 15. Mai 2002). Augsburg, 2002

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU).

© Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2002

Gedruckt auf Recyclingpapier

BayLfU Fachtagung 2002

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Einleitung</b>	3
Dr. Gerold Hensler, LfU	
<b>Lüftung und Klimatisierung im Neubau des LfU</b>	4
Stefan Huber, LfU	
<b>Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung beim Einsatz raumluftechnischer Anlagen</b>	8
Dipl.-Ing. (FH) Manfred Eschbaumer, Ingenieurbüro für technische Ausrüstung und Energietechnik Dipl.-Ing. Gerhard Duschl, Rosenheim	
<b>Auslegung von RLT-Anlagen unter Berücksichtigung der Lebensdauerkosten</b>	19
Dipl.-Ing. (TU) Martin Zuckermaier, Ingenieurbüro für technische Ausrüstung und Energietechnik Dipl.-Ing. Gerhard Duschl, Rosenheim	
<b>Filtertechnik: Luftqualität kontra Energieeinsparung?</b>	22
Dipl.-Ing. Klaus Rabenstein, Fa. Herding GmbH Filtertechnik, Amberg	
<b>Ventilatoren in RLT-Anlagen – Beurteilungskriterien, Verbesserungspotenziale, Auswahl, Leistungsnachweis</b>	40
Dipl.-Ing. Heinz Wieland VDI, Sachverständiger für Ventilatortechnik, Waldenburg ehem. Gebhardt Ventilatoren GmbH & Co., Waldenburg	
<b>Solare Klimatisierung</b>	54
Dr. Hans-Martin Henning, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg	
<b>Aktuelle Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Lüftungs- und Klimatechnik</b>	64
Dipl.-Ing. Claus Händel, Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., Bietigheim-Bissingen	
<b>Referenten</b>	80

# Einleitung

## Dr. Gerold Hensler, LfU

Sehr geehrte Damen und Herren,  
zu der Fachtagung „Raumluftechnische Anlagen: Energiesparende Planung und Betrieb“ begrüße ich Sie sehr herzlich hier am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz (LfU) in Augsburg.

Diese Veranstaltung knüpft an die Fachtagungen an, die unter dem Titel „Rationelle Energienutzung in der Industrie“ im letzten und vorletzten Jahr in diesem Hause stattfanden. Auch diesmal besteht das Anliegen des LfU und des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) darin, die Bemühungen der bayerischen Wirtschaft zur Minderung von klimarelevanten Emissionen entsprechend dem Klimaschutzkonzept der bayerischen Staatsregierung zu unterstützen.

Im Jahr 1995 verpflichtete sich die Deutsche Wirtschaft erstmals, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Das Klimaschutzziel dieser freiwilligen Selbstverpflichtung wurde mehrfach aktualisiert und lautet nun folgendermaßen: Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen sollen bis 2005 um 28% (auf der Basis von 1990) und die Emissionen der sechs Treibhausgase des Kyoto-Protokolls („Kyoto-Gase“) um 35% bis 2012 gesenkt werden. Da CO<sub>2</sub> unter den Kyoto-Gasen den größten Anteil am Treibhauseffekt hat und der weit überwiegende Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Bereitstellung und Umwandlung fossiler Energieträger zurückzuführen ist, ist die Senkung des Energieverbrauchs nach wie vor der wichtigste Ansatz zum Klimaschutz.

In der Vergangenheit wurden bereits für mehrere besonders energieintensive Branchen Leitfäden zur rationellen Energienutzung erarbeitet. In Zukunft sollen verstärkt branchenübergreifende, speziell themenbezogene Leitfäden erarbeitet werden. Die große Bedeutung solcher Teilaspekte veranschaulichen die Daten der EU, nach denen im Jahr 1998 11% des industriellen Stromverbrauchs in der EU allein auf die Nutzung von Ventilatoren, die das Herzstück jeder RLT-Anlage bilden, zurückgehen. Das Teilprojekt „Raumluftechnische Anlagen“, dessen Ergebnisse im Rahmen der heutigen Fachtagung vorgestellt werden, nimmt eine Zwischenstellung ein, da sich sein Ablauf mit der Untersuchung eines Partnerbetriebes aus der Industrie – in diesem Fall aus der chemischen Industrie – und der Übertragung der gefundenen Potenziale auf andere Betriebe an dem Ablauf der Branchenprojekte orientierte. Auf der anderen Seite steht diesmal nicht die Branche im Vordergrund, sondern die Anlagen zur Bereitstellung von Prozessluft mit bestimmten Eigenschaften.

Auf der heutigen Veranstaltung werden die Energiesparpotenziale und damit auch die Möglichkeiten zur Kostenminimierung, die im Zusammenhang mit der Planung und dem Betrieb raumluftechnischer Anlagen stehen, vorgestellt. Nach einem Erfahrungsbericht aus dem eigenen Hause sollen zunächst die konkret in unserem Partnerbetrieb identifizierten Potenziale dargestellt werden. Der zweite Abschnitt zwischen Mittags- und Kaffeepause wird allgemeine Kostenminderungs- und Energiesparpotenziale bei der Auslegung von RLT-Anlagen sowie bei deren Hauptkomponenten „Filter“ und „Ventilatoren“ aufzeigen. Den Abschluss werden zwei Vorträge zu den in die Zukunft weisenden Themen „Solarunterstützte Klimatisierung“ und „Aktuelle Neuentwicklungen“ bilden.

Ich wünsche allen Teilnehmern auch im Namen unserer Projektgruppe einen interessanten Verlauf der Veranstaltung.

## Lüftung und Klimatisierung im Neubau des LfU

Stefan Huber, LfU

### Kurzfassung

Das LfU hat im September 1999 sein neues Dienstgebäude in Augsburg bezogen. Der Neubau wurde nach modernsten ökologischen Gesichtspunkten geplant. Das Konzept der Wärmeenergieversorgung beruht weitgehend auf der Nutzung regenerativer Energieträger. Die Erfahrungen der ersten zwei Jahre Betrieb haben jedoch die anfängliche Euphorie etwas eingedämmt.

Der beheizte Raum des gesamten Gebäudes beträgt ca. 100.000 m<sup>3</sup>. Etwa ein Drittel hiervon entfällt auf Laborräume. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt überwiegend über eine Lüftungsheizung. Zusätzlich werden im Labor zahlreiche Sonderlüftungsanlagen betrieben. Insgesamt sind 59 verschiedene Lüftungsanlagen mit einer maximalen Leistungsaufnahme von ca. 310 kW<sub>el</sub> installiert. Die Gesamtzuluft beträgt ca. 235.000 m<sup>3</sup>/h, die Gesamtabluft ca. 185.000 m<sup>3</sup>/h. Die Wärmerückgewinnung erfolgt über 20 Wärmetauscher verschiedener Bauarten.

### Bürogebäude

Der Standard-Bürraum wird ausschließlich durch kontrollierte Lüftung beheizt. Hierbei wird warme Luft an der Zimmerdecke auf der gegenüberliegenden Seite der Fassade eingeblasen und entweicht durch Überströmöffnungen an Boden in die Mittelzonen des Gebäudes. Von dort wird aus allen Stockwerken die Abluft zentral abgesaugt. Belüftet werden die Räume im Heizfall mit einem einfachen Luftwechsel. Akustische oder hygienische Probleme gibt es keine. Jedoch gab es anfangs Klagen über unzureichende Heizleistung und zu hohe Temperaturgradienten in den Büroräumen. Dies lag auch an der leichten Fassadenbauweise. Durch regelungstechnische Änderungen konnten diese Probleme weitgehend beseitigt werden. Nicht beseitigt werden konnte das Problem der zu trockenen Luft im Heizbetrieb. Der ständige Luftwechsel führt dazu, dass die relative Luftfeuchtigkeit in den kalten Monaten ständig unter 30 % liegt. Die Nachrüstung einer aktiven Befeuchtung wird gegenwärtig diskutiert, wobei der definitive Ausschluss hygienischer Probleme eine große Rolle spielt.

Im Sommer gibt es keine aktive Kühlung. Tagsüber stehen die Anlagen, die Lüftung erfolgt über die Fenster. Nachts wird das Gebäude mit kühler Außenluft gespült. Hierzu wird das selbe Kanalsystem wie im Heizfall verwendet. Die Luft wird mit einem dreifachen Luftwechsel eingeblasen und soll die Rohbetondecken als Speichermassen abkühlen. Die warme Abluft entweicht über geöffnete Dachfenster. Dieses System zeigt jedoch keine Wirkung.

### Laborgebäude

Im Laborgebäude gibt es zahlreiche Lüftungsanlagen mit unterschiedlichsten Anforderungen. Manche Labore müssen strengen Sicherheitsvorschriften entsprechen. Daher sind einige Lüftungsanlagen auch redundant ausgeführt. Auch sind teilweise sehr hohe Luftwechselraten vorgeschrieben. Die Ansaugung der Außenluft erfolgt bei sehr kalten oder sehr warmen Außentemperaturen über einen Erdkanal. Hierbei wird im Winter die Zuluft vorgewärmt, im Sommer

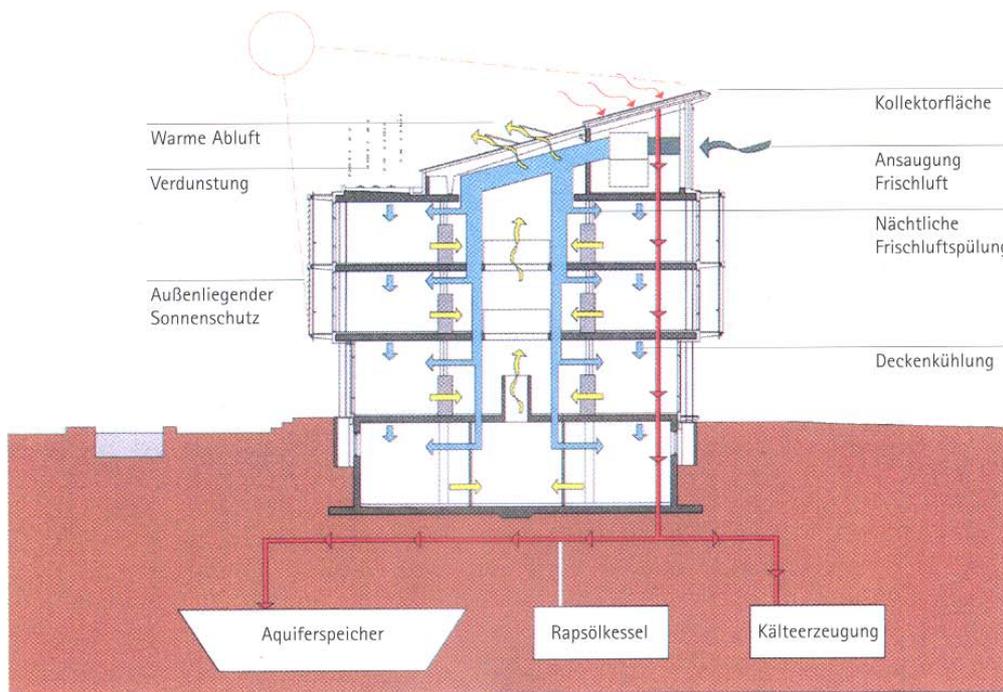
vorgekühlt. Die Abluft wird dezentral in den einzelnen Räumen über Lüftungskanäle abgesaugt. Diese Aufgabe übernehmen teilweise auch Digestorien. Da in den Lüftungszentralen des Labortraktes die Ab- und Zuluft keinen Kontakt zueinander haben dürfen, müssen Wärmetauscher mit schlechterem Wirkungsgrad eingesetzt werden.

## **Energieverbrauch**

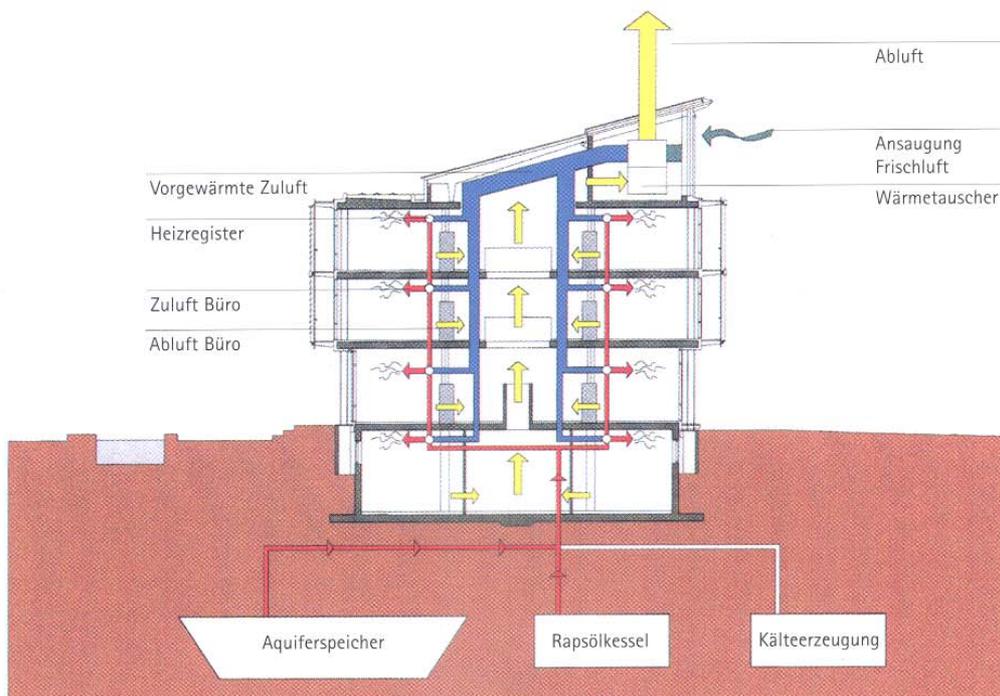
Kurz nach Bezug des Gebäudes stellte sich heraus, dass der Wärmeenergiebedarf um ein Mehrfaches über dem, der Prognose lag. Die anfängliche Beunruhigung über diese Tatsache wich später der Erkenntnis, dass der Energiebedarf für ein Gebäude dieser Art und Nutzung durchaus normal ist. Lediglich die Prognoserechnung wurde mit fehlerhaften und zum Teil vorschriftswidrigen Eingabeparametern erstellt. Ein wesentlicher Faktor waren hierbei die Lüftungsanlagen, insbesondere die, der Labore. Luftwechselraten wurden viel niedriger angesetzt, als es die gängigen Richtlinien vorschreiben. Wären während der Planungsphase die realen Energieverbräuche bekannt gewesen, hätte man durch bauliche Umplanungen der Lüftungsanlage durchaus noch ein weiteres Energiesparpotenzial erreichen können.

## **Zusammenfassung**

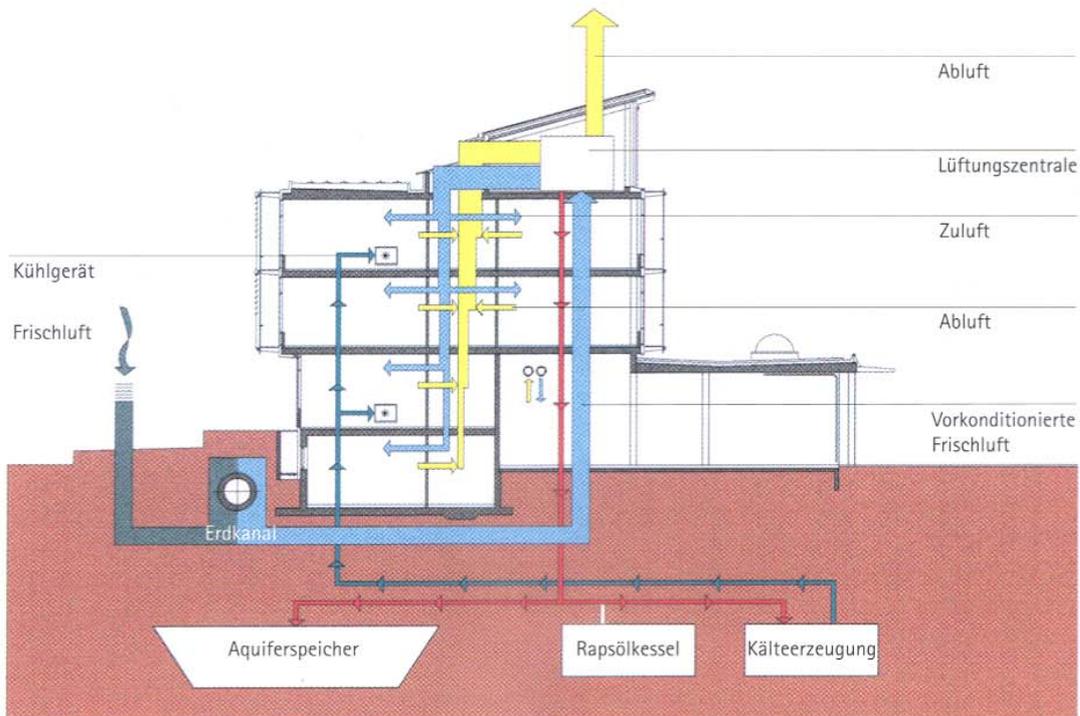
Bei den Lüftungsanlagen im LfU gab und gibt es teils erhebliche Probleme, die sich auf das Wohlbefinden der Belegschaft und den Betrieb der Labore ausgewirkt haben. Bei Anlagen dieser Komplexität ist dies aber zumindest in der Inbetriebnahmephase teilweise als üblich anzusehen. Bei stabilem Betrieb jedoch sind die Lüftungsanlagen leistungsfähig, flexibel und über eine zentrale Gebäudeleittechnik komfortabel zu bedienen.



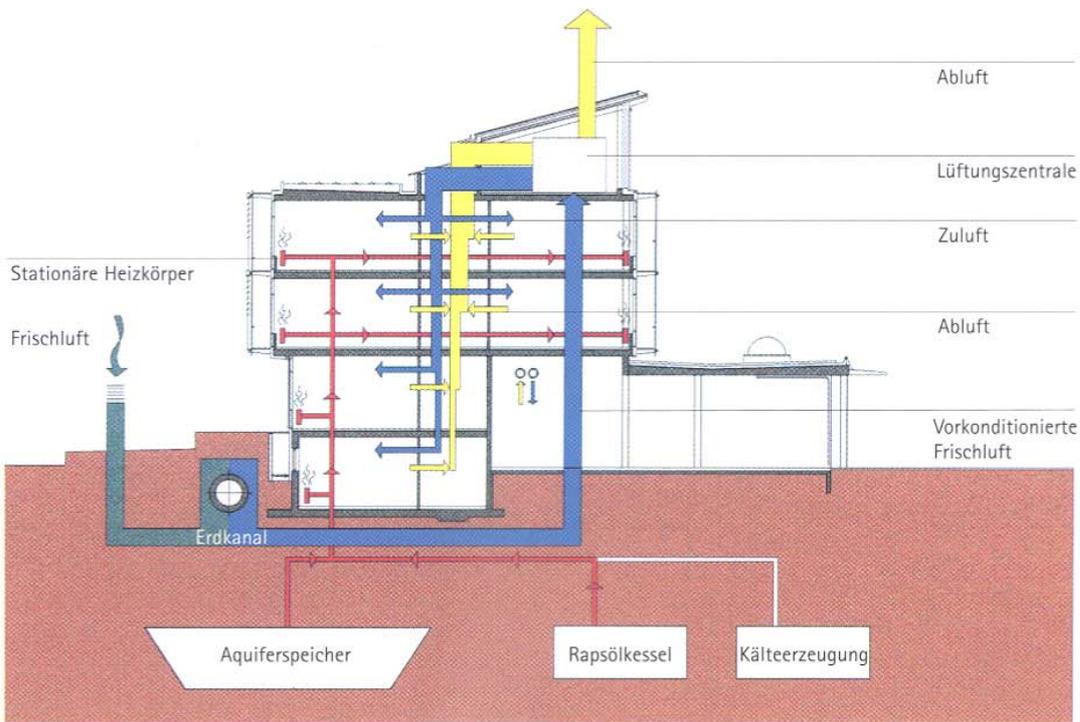
Verwaltungsgebäude Sommertag



Verwaltungsgebäude Wintertag



Laborgebäude  
Sommertag



Laborgebäude  
Wintertag

# Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung beim Einsatz raumluftechnischer Anlagen

Dipl.-Ing. (FH) Manfred Eschbaumer, Ingenieurbüro für technische Ausrüstung und Energietechnik  
Dipl.-Ing. Gerhard Duschl, Rosenheim

Folie 2

## Gliederung

### 1. Einleitung

- Projektziele
- Vorstellung des Partnerbetriebes

### 2. RLT-Anlagen am Standort Obernburg

- Betriebsgebäude und Produktionsprozess
- Aufbau der RLT-Anlagen

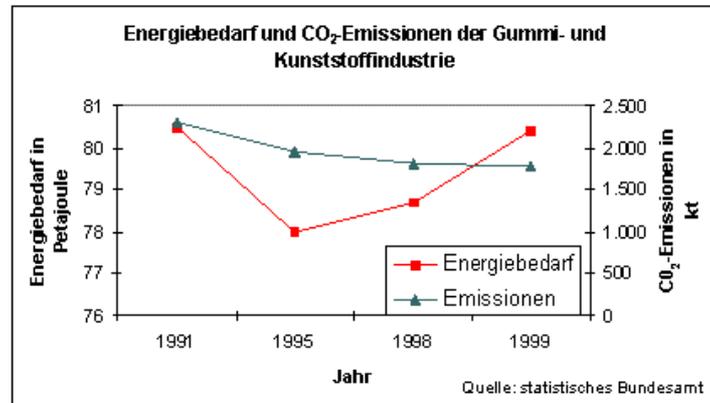
### 3. Ergebnisse

- Messergebnisse und Berechnungen
- Kennzahlen

### 4. Maßnahmenkatalog

- organisatorische Maßnahmen
- technische Maßnahmen
- Änderung des Anforderungsprofils

**DUSCHL**  
INGENIEURE



**Ziel:** Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Betrieb raumluftechnischer Anlagen in Betriebsgebäuden der Kunststoffindustrie

### Projektziele

Ziel der Studie ist es, Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Betrieb raumluftechnischer Anlagen aufzuzeigen. Der Trend, sinkende Emissionen bei steigendem Endenergiebedarf soll beibehalten bzw. verstärkt werden, um das Ziel, den Ausstoß an CO<sub>2</sub> von 92 Mio. Tonnen pro Jahr im Raum Bayern (Stand 1998) bis zum Jahr 2010 auf 80 Mio. Tonnen zu reduzieren, erreichen zu können. Die Maßnahmen und das damit verbundene CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial werden exemplarisch am Beispiel von ausgewählten RLT-Anlagen eines Partnerbetriebes aufgezeigt.

Der Partnerbetrieb: Fa. Acordis Industrial Fibers GmbH

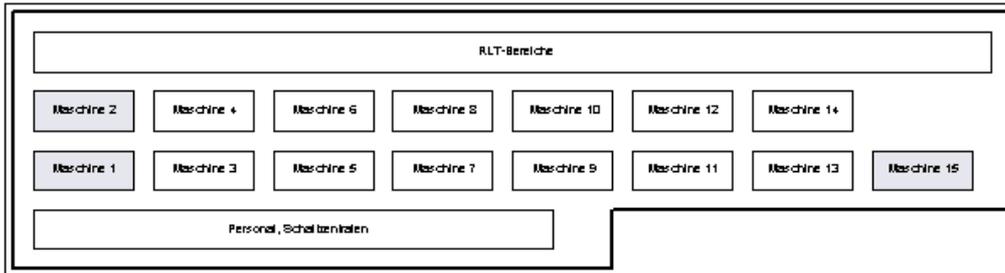
Mitarbeiter	ca. 3.300
Jahresproduktion	ca. 100.000 t Chemiefasern
Werksgelände	1,4 km <sup>2</sup>
Produkte (Beispiele)	Enka Nylon, Enkalon, Diolen, Cordenka
Stromverbrauch	ca. 350 GWh/a
Dampfverbrauch	ca. 1,7 Mio. t/a
Druckluftverbrauch	ca. 230 Mio. Nm <sup>3</sup> /a

### Vorstellung des Partnerbetriebs

Der Partnerbetrieb in Obernburg wurde 1924 gegründet und ist der größte Standort des Faserunternehmens Acordis. Am Standort Obernburg sind neun verschiedene Gesellschaften aus den Bereichen Produktion, Service, Energie, Verwaltung und Forschung ansässig. Produziert werden hauptsächlich Polyesterfasern und Viscosefasern für technische und textile Anwendungen, die größtenteils in nachgeschalteten Verfahren kundenspezifisch veredelt werden. In geringerem Umfang werden am Standort mikroporöse Produkte und Additive für die Kunststoffherstellung angefertigt.

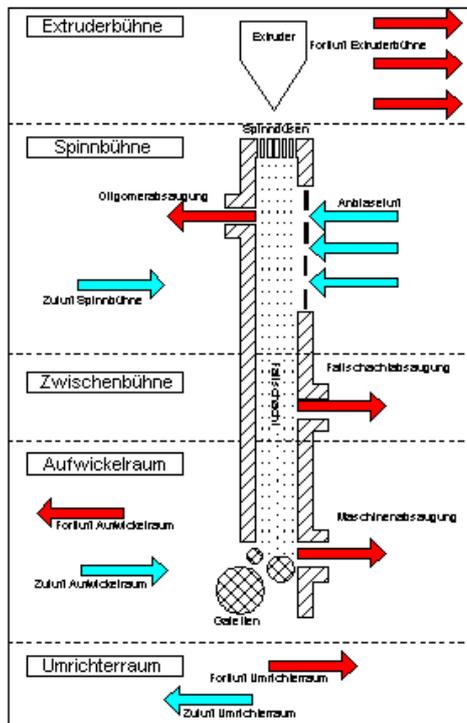
Wesentlichen Einfluss auf Energiekosten und Emissionen hat das am Standort ansässige KWK-Kraftwerk, bestehend aus einer 60 MW Gasturbine mit nachgeschalteten Abhitzeesseln zur Dampferzeugung. Sowohl Strom als auch Dampf werden für den Betrieb der RLT-Anlagen benötigt.

Folie 5



Schematischer Aufbau des Betriebsgebäudes am Standort Oberburg

Folie 6



**Aufgaben der RLT-Anlagen am Standort**

- Abtransport von festen und gasförmigen Schadstoffen
- Beibehaltung eines definierten Raumluftzustandes hinsichtlich Temperatur und Feuchte
- Konstanthaltung von Druckverhältnissen im Raum

### **Die untersuchten RLT-Anlagen am Standort und der Produktionsprozess**

Untersucht wurden die RLT-Anlagen der älteren Produktionsmaschinen 1+2 und der modernen Produktionsmaschine 15. Die Maschinen 1+2 und die Maschine 15 bzw. die zugehörigen Betriebsräume werden jeweils von den 3 RLT-Anlagen

- Anblaseluft
- Spinnbühne
- Aufwickelraum

bedient.

Insgesamt befinden sich 15 Produktionsmaschinen im Gebäude, wobei sich eine Maschine über mehrere Etagen des Gebäudes zieht. Die einzelnen Etagen sind teilweise nur durch Gitterrostböden voneinander getrennt. Beginnend von oben finden folgende Prozesse statt: Über elektrisch beheizte Extrusionsmaschinen werden durch eine Spinndüse Fäden ausgestoßen, die sich im sogenannten Fallschacht frei nach unten bewegen und dabei zur Auspolimerisation abgekühlt werden. Anschließend werden die Fäden erneut erhitzt, unter Zug gestreckt, wieder abgekühlt und auf Rollen aufgewickelt. Auf den zu betrachtenden Maschinen werden zwei verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Anforderungen an die Peripherie hergestellt. Die Maschinen laufen 24h täglich, inklusive Wochenende. Bei planmäßigem Betrieb kann mit ca. drei Stillständen jährlich gerechnet werden.

Über ein Messprogramm wurden Verbrauchsdaten der RLT-Anlagen ermittelt, die es ermöglichen

- Den Verbrauch zu quantifizieren
- Einen Vergleich der Anlagenkenngrößen mit Literaturwerten durchzuführen
- Kennzahlen abzuleiten
- Maßnahmen an den Bestandsanlagen hinsichtlich Kosten und CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial zu bewerten.

Gemessen wurden:

- Volumenströme
- Statische Druckdifferenzen von Apparaten
- Elektrische Größen und Drehzahlen der Ventilatoren
- Feuchte und Temperatur vor bzw. nach der Luftbehandlung.



Folie 8

Energiebedarf der RLT-Anlagen für die Produktionsmaschinen 1+2

RLT-Anlage	Strombedarf in MWh/a (Ventilatoren und Wäscher)	Wärme- bedarf in MWh/a	Kälte in MWh/a	Wasser- bedarf in m³/a (incl. Ab- schlammung)	CO <sub>2</sub> - Emission en in t/a
Anblaseluft M 1+2	270	360	95	4.600	245
Spinnbühne M 1+2	260	2.240	-	5.900	636
Aufwickelraum M 1+2	720	3.200	-	6.200	1.100
Gesamt	1.250	5.800	95	16.700	1.981

**DUSCHL**  
INGENIEURE

Volumenströme und Drücke der RLT-Anlagen für die Produktionsmaschinen 1+2

RLT-Anlage	bilanziert wurde	Zuluft in m³/h	stat. Druck in Pa (Zuluft)
Anblaseluft M 1+2	nur Zuluft	21.500	3.150
Spinnbühne M 1+2	Zu- und Abluft	58.600	120
Aufwickelraum M 1+2	Zu- und Abluft	129.500	850
Gesamt	-	209.600	-

DIPL.-ING. GERHARD DUSCHL INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE AUSRÜSTUNG UND ENERGIETECHNIK

2001

## Ergebnisse

Überblick über die Mess- und Berechnungsergebnisse für die RLT-Anlagen der Maschinen 1+2.

Folie 9

Um einen übergreifenden Vergleich zu ermöglichen, wurde der Energiebedarf für die Klimatisierung mit dem Durchsatz der Produktionsmaschinen ins Verhältnis gesetzt:

Kennzahlen	M 1+2	M 15 (+16)
Strom in MWh/t Produkt	0,15	0,18
Wärme in MWh/t Produkt	0,58	0,78
Kälte in MWh/t Produkt	0,01	0,01
Wasser in m <sup>3</sup> /t Produkt	1,87	2,30
t CO <sub>2</sub> /t Produkt (ohne Wasser)	0,21	0,27

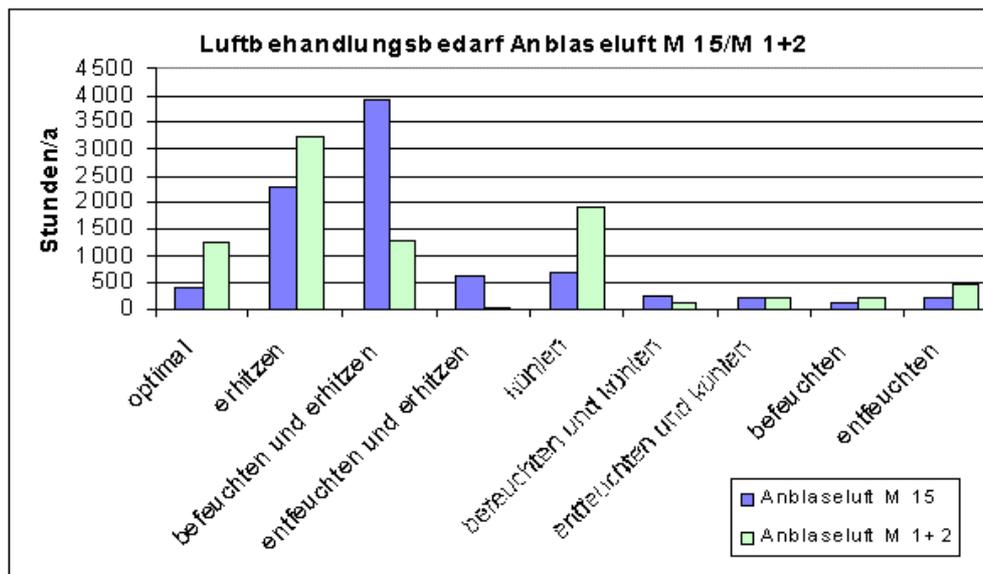
**DUSCHL**  
 INGENIEURE

DIPLOM-ING. GERHARD DUSCHL INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE AUSRÜSTUNG UND ENERGIETECHNIK

2001

Folie 10

Auswirkungen von unterschiedlichen Sollwertvorgaben auf den Luftbehandlungsbedarf:


**DUSCHL**  
 INGENIEURE

DIPLOM-ING. GERHARD DUSCHL INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE AUSRÜSTUNG UND ENERGIETECHNIK

2001

**Kennzahlen**

Die Kennzahlen können nicht ohne Interpretation stehen bleiben, da der Eindruck entsteht die moderneren RLT-Anlagen der Maschine 15 würde eine schlechtere Performance abgeben als die Anlagen der älteren Maschinen 1+2. Dies ist nicht so, da auf den Maschinen unterschiedliche Produkte gefahren werden, die Einfluss auf Temperatur- und Feuchtesollwerte haben und auch den Durchsatz der Produktionsmaschinen betreffen.

Folie 11

Maßnahmenkatalog:

Maßnahmenbereich	Maßnahme	CO <sub>2</sub> -Einsparung in % , relativ zur derzeitigen Gesamtemission	Umsetzung aus wirtschaftlicher Sicht empfehlenswert ?
organisatorische Maßnahmen	Bestandsdokumentation; Betriebskostenerfassung; Wartungsplan	-	-
technische Maßnahmen an Einzelkomponenten	Austausch der Luftfördereinheiten	2-3%	nein
	Filter	0,5-2%	nein
	Ersatz der Luftwäscher	5-15%	nein
	Wärmerückgewinnung	20-30%	nein
Änderung des Anforderungsprofils	Erweitern der Toleranzbereiche für Temperatur und Feuchte	10-15%	ja
	Reduktion des Luftwechsels bei veränderten Einblastemperaturen	15-30%	ja
	Kombination aus Erweiterung der Toleranzbereiche und Reduktion des Luftwechsels	30-40%	ja

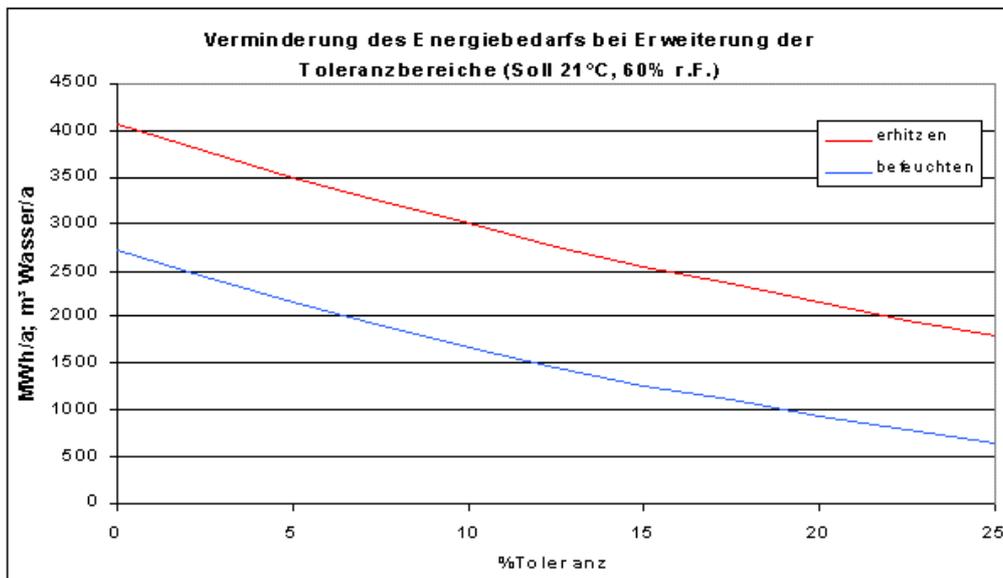


**Einsparpotenzial**

Folie 11 zeigt eine Zusammenfassung möglicher Maßnahmen am Standort. Das CO<sub>2</sub>-Einsparpotential ist relativ zum jährlichen Gesamtausstoß angegeben. Als Maßstab für die Empfehlung der Umsetzung einer Maßnahme aus wirtschaftlicher Sicht wurde eine statische Amortisationszeit von 3 Jahren zugrunde gelegt.

Maßnahmen an einzelnen Anlagenkomponenten sind bei Beibehaltung der Sollwerte und unter Berücksichtigung der Energie- und Medienpreise am Standort aus wirtschaftlicher Sicht nicht vertretbar. Grund sind die hohen Investitionskosten der Komponenten, die auf vergleichsweise geringe jährliche Betriebskosten treffen.

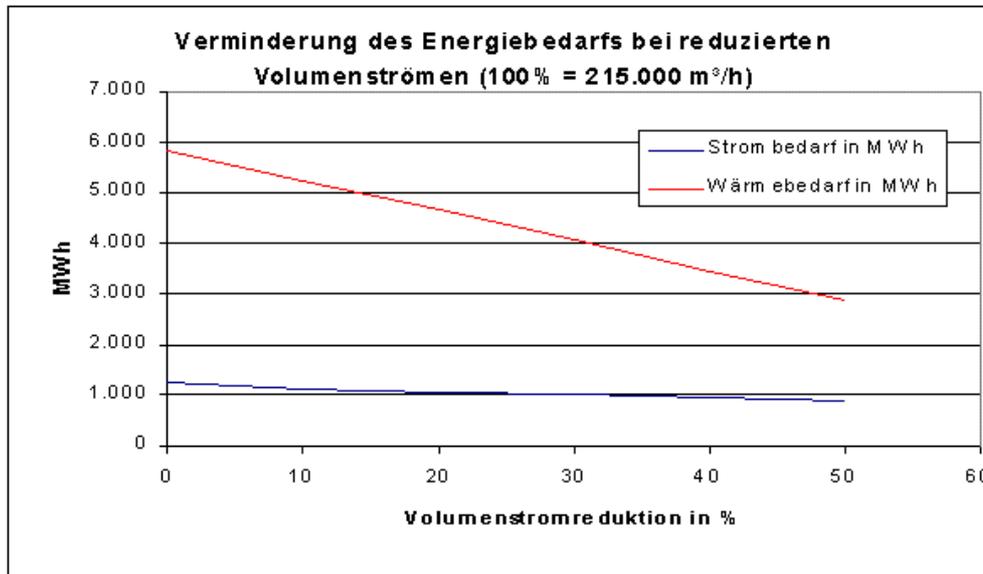
Hinterfragt wurden Sollwertvorgaben für Temperatur und Feuchte, sowie die Luftwechselraten. Änderungen hinsichtlich des Anforderungsprofils können ohne bzw. mit geringen Investitionen bewerkstelligt werden und sind entsprechend wirtschaftlich und energetisch interessant, haben aber unter Umständen Auswirkungen auf die Produktion.



### Erweitern der Toleranzbereiche

Nach oben werden die Sollwertvorgaben für die RLT-Anlagen in Abhängigkeit vom Zustand der Außenluft teilweise überschritten. Durch ein Erweitern der Toleranzbereiche nach oben und unten sinkt der Luftbehandlungsbedarf, entsprechend können Einsparungen ohne bzw. mit geringfügigen Änderungen an den Bestandsanlagen erreicht werden.

Einsparungen bei Volumenstromreduktion durch Absenkung der Einblastemperatur



### Reduktion der Volumenströme

Die relativ hohen Luftwechselraten im Gebäude dürften auf produktionsbedingte Kühllasten zurückzuführen sein. Insbesondere im Winterbetrieb können diese Kühllasten durch reduzierte Luftwechselraten bei Absenkung der Einblastemperaturen abgeführt werden. Einsparungen sind zu erreichen bei

- Elektrischen Antrieben
- Heizung
- Befeuchtung
- Filtration

# Auslegung von RLT-Anlagen unter Berücksichtigung der Lebensdauer- erkosten

Dipl.-Ing. (TU) Martin Zuckermaier, Ingenieurbüro für technische Ausrüstung und Energietechnik  
Dipl.-Ing. Gerhard Duschl, Rosenheim

---

## Gliederung

-Rückblick

-Beispiele für technisches FM

Ventilatoren und Antriebe

Wirkungsgradketten

Hocheffizienzsysteme

-Gedanken zum Änderungsmanagement

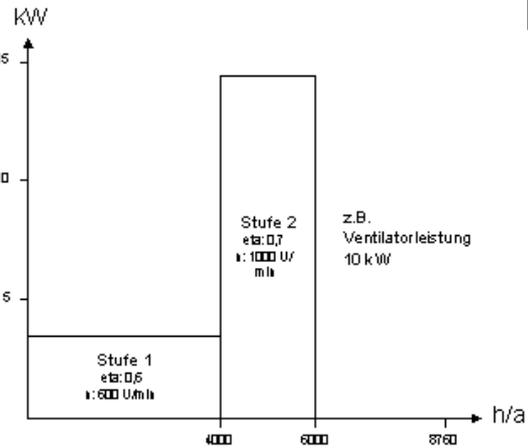
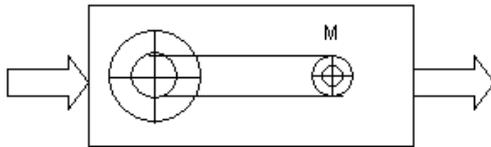
**DUSCHL**  
INGENIEURE

## Beispiel 1

### Hocheffiziente Antriebe von Ventilatoren

#### Wirkungsgradketten

#### Lebenszykluskosten

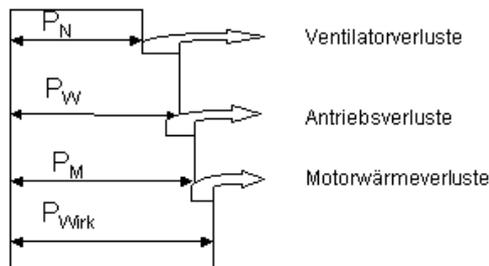


## Beispiel 1

### Zuschläge in Prozent

Leistung	Riemenantrieb	Direktantrieb
bis 3 kW	20 ... 25	10 ... 15
bis 10 kW	15 ... 20	8 ... 12
über 10 kW	10 ... 15	6 ... 10

Antriebe durch Kupplungen liegen etwa dazwischen



Quelle: Ihle Lüftung und Luftheizung 3

---

## **Beispiel 2**

Hocheffizienzsysteme

Kreislauf-Verbund-System mit Gegenstrom-Schicht-  
Wärmetauscher

---

## **Gedanken zum Änderungsmanagement**

### **- Optimierungsstrategien in Bestandsanlagen**

- Contracting
- abgeschlossene Optimierungsprojekte

### **- typische Randbedingungen:**

- Sicht von Verantwortlichen
- Damoklesschwert: Produktionsunterbrechung

## **Filtertechnik: Luftqualität kontra Energieeinsparung?**

**Dipl.-Ing. Klaus Rabenstein, Fa. Herding GmbH Filtertechnik**

### **Zusammenfassung**

Nach der Definition der Schadstoffe Staub und Gase wird im Vortrag auf die Unterscheidung der Luftgrenzwerte für die Raumluft mit MAK- / TRK-Werte und der Umluft mit den Grenzwerten der TA-Luft eingegangen.

In der Gefahrstoffverordnung wird das Thema mit einem Satz umrissen: „Das Einhalten von Luftgrenzwerten dient dem Schutz der Gesundheit von Arbeitnehmern vor einer Gefährdung durch das Einatmen von Stoffen“.

Für Filtertechnik werden die drei großen Bereiche Erfassung, Fortleitung und Abscheidung aufgezeigt und ihre Einflussgrößen auf die Energieeinsparung festgelegt.

Die Erfassung der Schadstoffe soll sicherstellen, das Mensch, Maschine und Umwelt nicht beeinträchtigt werden, ferner ist die Erfassung mit einer möglichst geringen Luftmenge zu realisieren. Hier besteht aber ein Interessenskonflikt, was die Position des Erfassungselements betrifft. Während der Anlagenbetreiber das Erfassungselement möglichst weit vom Arbeitsplatz entfernt positioniert, damit die Arbeit am Werkstück nicht behindert wird, ist zur Erfassung mit möglichst geringer Luftmenge ein geringe Distanz zwischen Staubquelle und Erfassungselement zu wählen.

Im Vortrag werden die wesentlichen Parameter für die Schadstoffeffassung aufgezeigt:

- Abmessung der Emissionsquelle
- Schadstoffeigenschaften
- Zugänglichkeit = Abstand Erfassungselement zu Staubquelle
- Eigendynamik des Staubes
  - Absaugung gleichgerichtet
  - Geschwindigkeit der Staubteilchen
- Querströmung, ausnutzen als unterstützende Strömung
- Einhausung der Emissionsquelle

Die Schadstoffeffassung in der Praxis zeigt, dass es nur für die wenigsten Anwendungsfälle Fertiglösungen gibt.

Bei der Fortleitung der Schadstoffe im Rohrleitungssystem ist die Luftgeschwindigkeit für den Staubtransport die wichtigste Größe. Um Staubablagerungen zu vermeiden muss eine Strömungsgeschwindigkeit zwischen 15 und 20 m/s gewählt werden. Die Rohrleitungsführung hat aufgrund der Druckverluste von sowohl geraden Rohrleitungsteilen als auch von Formstücken einen Einfluss auf die Energiebilanz. So wird an einem Beispiel aufgezeigt, dass Spiralschläuche nicht als Ersatz für die Rohrleitung zu verwenden sind, sondern dass Spiralschlauche lediglich als flexible Teile einzusetzen sind.

Neben dem großen Einfluss der Erfassung auf die Energiebilanz ist auch die Abscheidetechnik wesentlich an der Energieeinsparung beteiligt. Je nach Qualität des Abscheidesystem (Massenkraftabscheider, Elektroabscheider, Nassarbeitende Abscheider oder Filternde Abscheider) kann die gereinigte Luft in den Raum zurückgeführt werden oder muss als Abluft nach draußen geleitet werden.

Hier gilt der Grundsatz: „Wärmeverluste gering halten und entstehende Wärme nutzen“. Anhand der Gleichung für die Wärmemenge wird aufgezeigt, dass für die Luftmenge von 1 m<sup>3</sup>/h zur Erwärmung um 1 K (1 °C) eine Leistung von 0,33 W benötigt wird.

Die Möglichkeiten zur Wärmenutzung wie Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft mittels Wärmetauscher und die Reinaluftführung werden behandelt.

Abschließend werden die Maßnahmen Erfassung, Fortleitung, Abscheidung und Reinaluftführung unter dem Aspekt der Energieeinsparung bewertet.

## Schadstoffe:

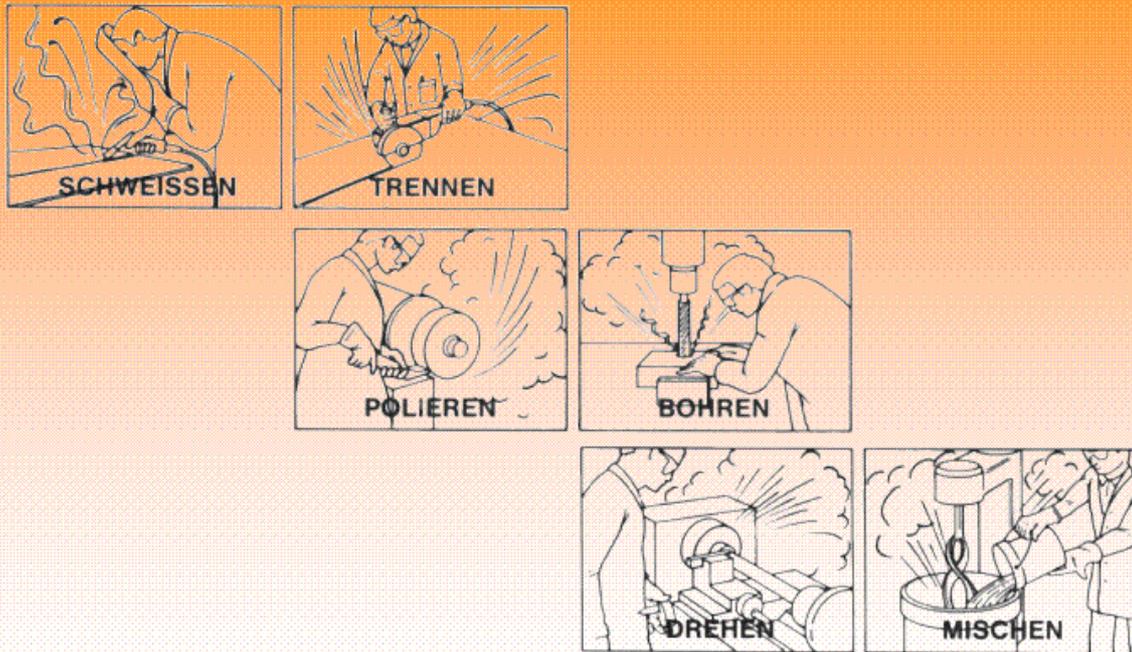
### Staub

- Partikel < 500 µm (< 0,5 mm)
- je nach Partikelgröße, Geometrie und Dichte liegt ein entsprechendes Sedimentationsverhalten vor
- Partikel < 1µm haben aerosolartigen Charakter („luftgetragene Teilchen“)

### Gase

- beim Prozess der Werkstoffbe- oder Weiterverarbeitung werden Gase zugegeben oder freigesetzt
- technische Gase wie CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> werden zugegeben
- Schadgase entstehen z.B. bei der thermische Umsetzung von organischen Stoffen (Öle, Fette, Lackreste)

## Verfahren bei denen Schadstoffe entstehen

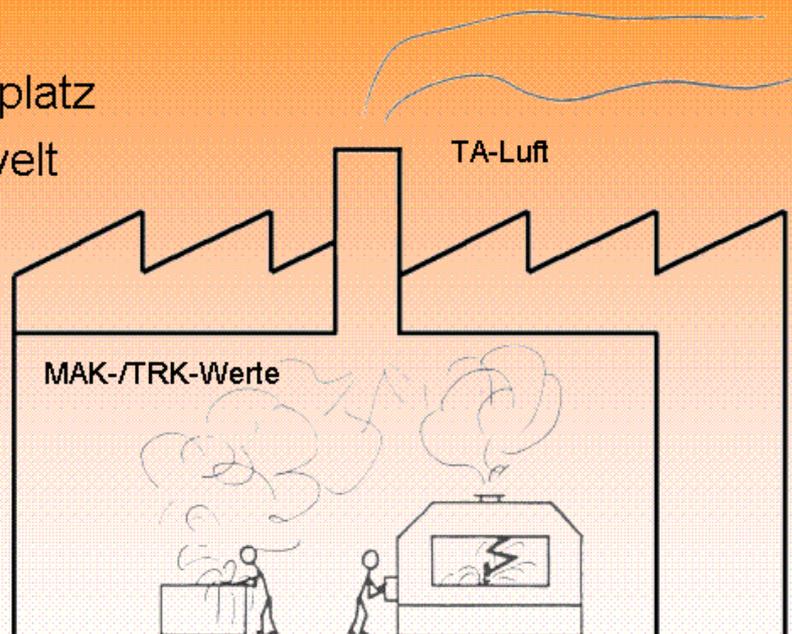


Schadstoff-Entstehung

**Herding**  
HERDING  
FILTEKNIK

## Luftgrenzwerte

- am Arbeitsplatz
- in der Umwelt



Luftgrenzwerte

**Herding**  
HERDING  
FILTEKNIK

## Luftgrenzwerte (Arbeitsplatz)

Grundlage ist die Gefahrstoffverordnung GefStoffV

### MAK

Maximale ArbeitsplatzKonzentration

### TRK

Technische RichtKonzentration

Luftgrenzwerte am Arbeitsplatz



## Grenzwerte für Gefahrstoffe

### BIA-Report 4/2001: Grenzwerteliste 2000



Internet  
[www.hvbg.de](http://www.hvbg.de)

<http://www.hvbg.de/d/bia/pub/rep/rep01/biar0401/kap1.pdf>

Luftgrenzwerte - Literaturhinweis



## Luftgrenzwerte (Umwelt)

Grundlage ist das Bundes-Immissionschutzgesetz BImSchG und die novellierte Technische Anleitung Luft TA-Luft

### TA-Luft

dient dem Schutz der Allgemeinheit und Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen

### Allgemeine Anforderung zur Emissionsbegrenzung

Einteilung in Gruppen und Klassifizierung nach Massenstrom (g/h) und -konzentration (mg/m<sup>3</sup>)

Luftgrenzwerte in der Umwelt



## Einhalten von Luftgrenzwerte

„Das Einhalten von Luftgrenzwerten dient dem Schutz der Gesundheit von Arbeitnehmern vor einer Gefährdung durch das Einatmen von Stoffen“

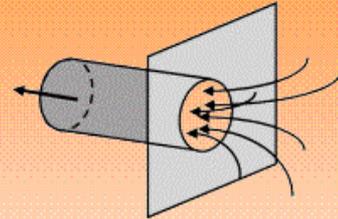
Auszug aus GefStoffV

Einhalten von Luftgrenzwerten - Grundlage



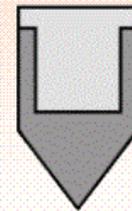
## Einhalten von Luftgrenzwerte

**Erfassen** der Schadstoffe, damit Mensch, Maschine und Umwelt nicht beeinträchtigt wird



**Fördern** der Schadstoffe im Rohrleitungssystem

**Abscheiden** der Schadstoffe aus der Luft

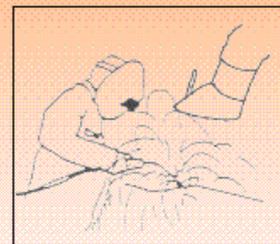


Einhalten von Luftgrenzwerten

**Herding**  
FILTECHNIK

## Interessenskonflikt

Anlagenbetreiber möchte das Erfassungselement möglichst weit vom Arbeitsplatz entfernt positionieren, damit die Arbeit am Werkstück nicht behindert wird



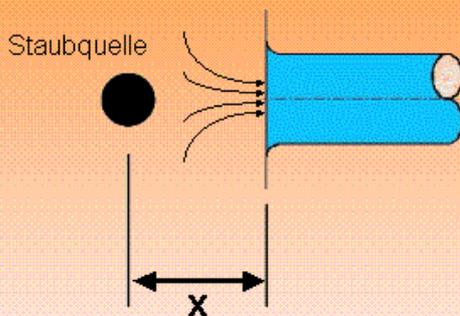
Für die Stauberfassung ist eine möglichst kleine Distanz zwischen Staubquelle und Absaugpunkt notwendig

Stauberfassung - Interessenskonflikt

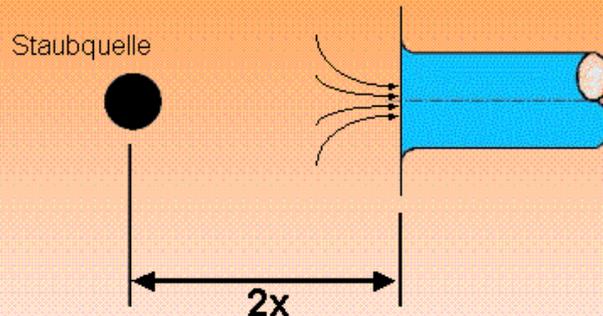
**Herding**  
FILTECHNIK

## Ermittlung der Luftmenge - Distanz

Beispiel



erforderliche  
Luftmenge  
1000 m<sup>3</sup>/h



erforderliche  
Luftmenge  
4000 m<sup>3</sup>/h

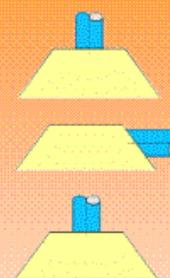
Staubfassung - Distanz zu Luftmenge -2-



## Ausführung der Erfassungselemente

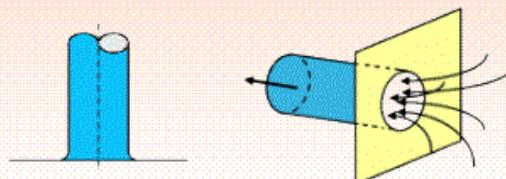
herkömmliche Erfassungselemente

- Haube - Anschluss oben
- Haube - Anschluss seitlich
- Haube - mit Randabsaugung



Weiterentwicklung

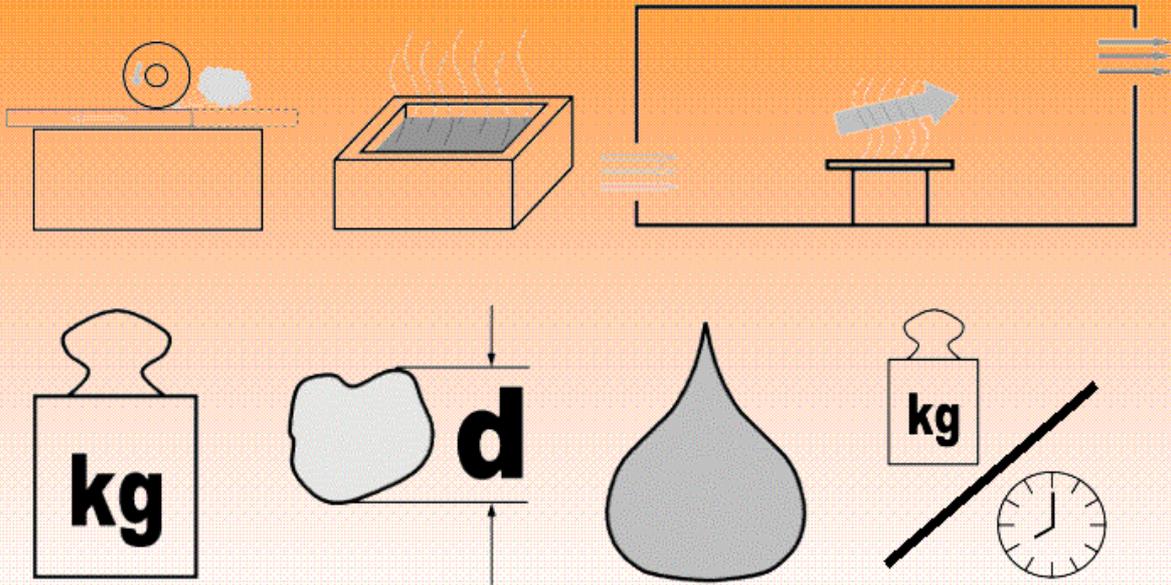
- Düsenplatte



Staubfassung - Erfassungselement



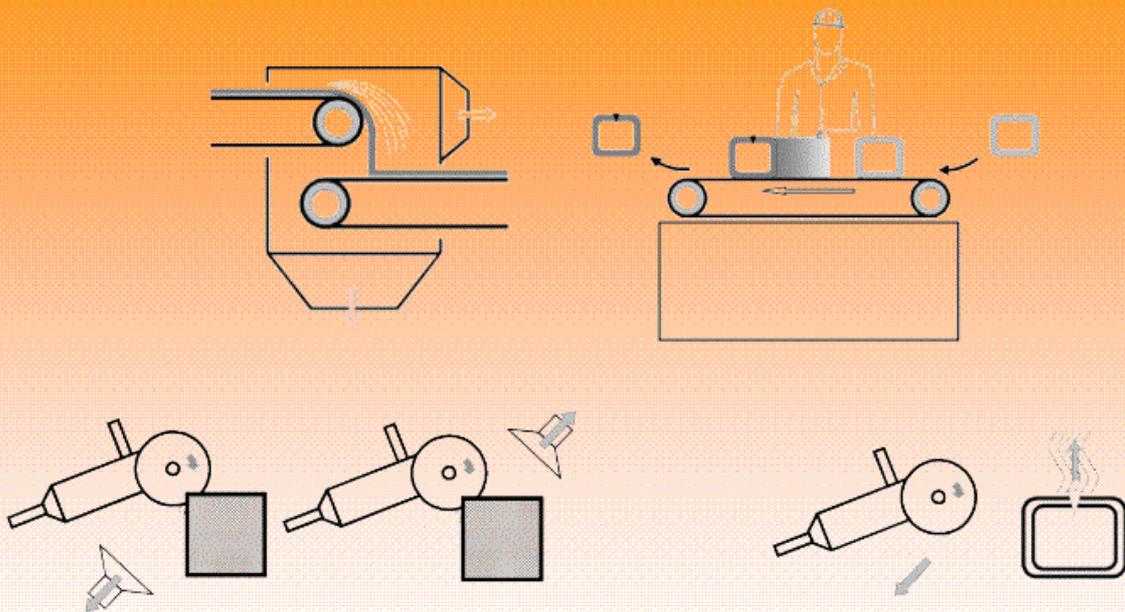
## Parameter der Schadstoff-Erfassung



Parameter der Stauberfassung -1-



## Schadstoffeigenschaften



Parameter der Stauberfassung -2-



## Schadstofffassung in der Praxis

„für die wenigsten Anwendungsfälle gibt es Fertiglösungen“

„für jedes Problem wird die passende Lösung gesucht“

„Lösung ist ein Kompromiss zwischen den Interessen:  
des Anlagenbetreibers:

- keine Einschränkung im Arbeitsablauf  
und dem Entstaubungsfachmann:

- Erfassung möglichst nahe am Entstehungsort“

UND „beide wollen mit möglichst wenig Luftmenge arbeiten“

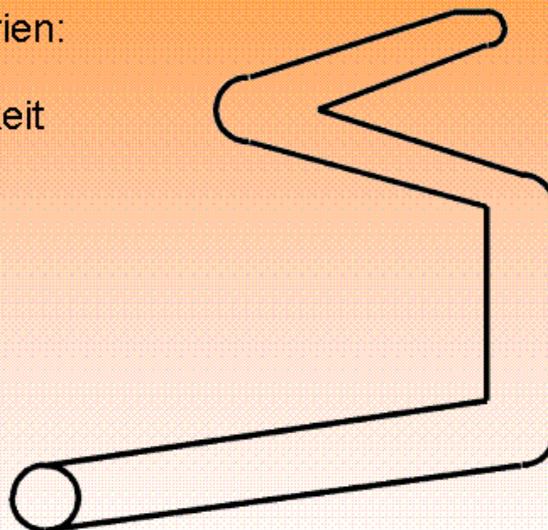
Schadstofffassung in der Praxis



## Dimensionierung der Rohrleitung

wichtigste Auslegungskriterien:

- Strömungsgeschwindigkeit
- Ausführung
- Rohrführung
- Formstücke



Staubfortleitung



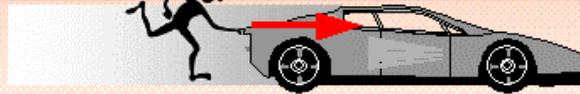
## Luftgeschwindigkeit - Staub

Strömungsgeschwindigkeit zwischen 15 und 20 m/s  
damit sich kein Staub ablagert

abgelagerten Staub aufwirbeln bedingt eine 3 bis 5 mal  
größeren Strömungsgeschwindigkeit



*anschieben*  
abgelagerter Staub aufwirbeln



*weiterschieben*  
aufgewirbelter Staub

Staubfortleitung - Strömungsgeschwindigkeit -1-

**Herding**  
FILTECHNIK

## Rohrleitung:

### Druckverlust gerade Rohrleitung

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

Parameter u. a. sind:

- Länge l
- Durchmesser d

### Einzelwiderstände (Krümmer, etc.)

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

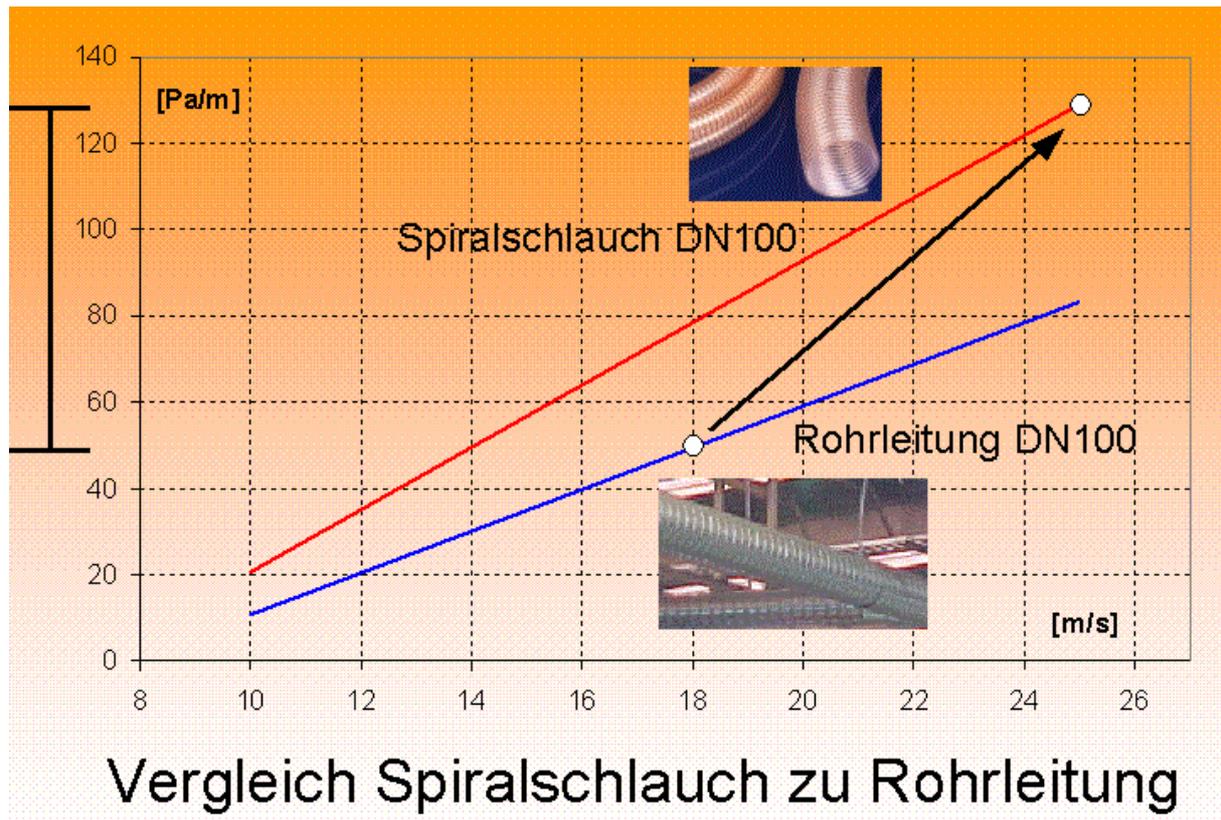
Parameter ist:

- Widerstandsbeiwert  $\zeta$

**Ergebnis**  $\Rightarrow$  **kurze** Rohrleitung mit **wenig** Richtungsänderung

Staubfortleitung - Druckverlust

**Herding**  
FILTECHNIK



Staubfortleitung - Rohrleitung - Spiralschlauch

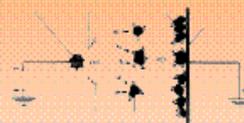


## Arten von Partikel-Abscheidern:

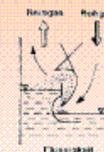
Massenkraftabscheider



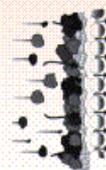
Elektroabscheider



Nassarbeitende Abscheider



Filternde Abscheider

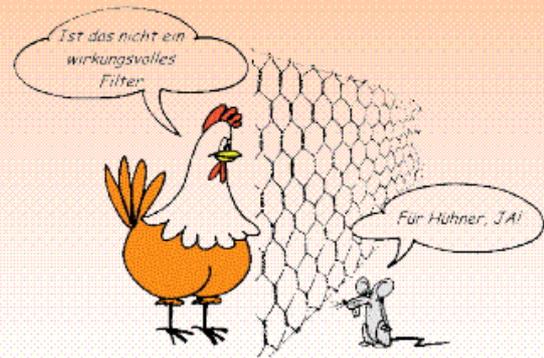


Abscheidung - Partikel-Abscheidern



## Wirkungsweise - Filternde Abscheider

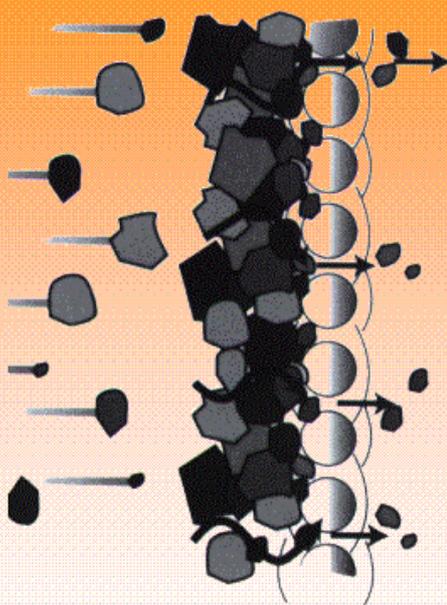
das zu reinigende Gas wird durch ein poröses Medium geleitet, in dem die dispergierten Feststoffteilchen aufgrund verschiedener Mechanismen zurückgehalten werden



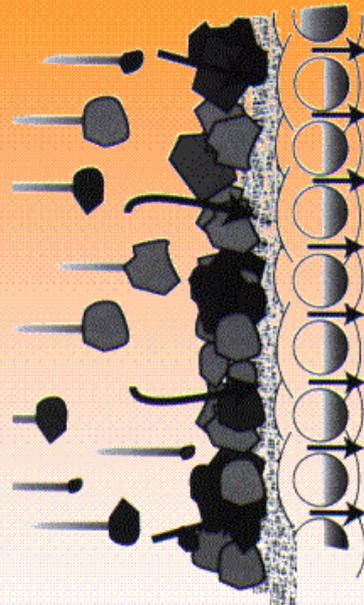
Abscheidung - Filternde Abscheider



## Wirkungsweise - Filternde Abscheider



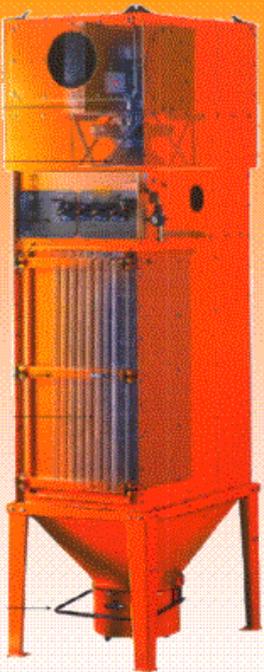
Tiefenfiltration



Oberflächenfiltration

Abscheidung - Filternde Abscheider





**Oberteil**  
Schalldämmhaube  
mit Ventilator

**Mittelteil  
(Gehäuse)**  
mit Abreinigung  
und Filterelemente

**Unterteil**  
Trichter mit  
Staubaustrag  
Behälter oder  
Zellenradschleuse

Abscheidung - Aufbau Filternder Abscheider



Grundsatz:

**„Wärmeverluste gering halten  
und entstehende Wärme nutzen“**

Wärmenutzung dient zur Einsparung von

- Betriebskosten
- Energieresourcen

Gleichung für die Wärmemenge  $Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$

⇒ spezifischer Wert von **0,33 W** pro  $1\text{m}^3/\text{h}$  bei  $\Delta T = 1\text{K}$

Reinluftführung - Grundsatz: Energieeinsparung



Möglichkeit der Wärmenutzung:

- **Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft mittels Wärmetauscher** (Kreuzstromwärmetauscher)
- **Reinluftrückführung**  
(Rückführung gereinigter Absaugluft)

Reinluftrückführung - Wärmenutzung



## Reinluftrückführung

Die Rückführung von Stoffen darf nicht dazu führen, dass die Gefahrstoffkonzentration am Arbeitsplatz unzulässig ansteigt.

Generell gilt:

- rückgeführte Gefahrstoffkonzentration begrenzen auf:  
technisch mögliches und wirtschaftlich vertretbares Maß
- Zuluft muss bestimmten Anteil an Außenluft enthalten
- lufttechnische Anlagen regelmäßig überprüft und warten

Reinluftrückführung - Reinluftrückführung - Grundlagen



## Gegenüberstellung

### Gefahrstoffe mit **MAK-Werte**

- max. Reststaubkonzentration in der Rückluft **< 1/5 MAK**
- Anteil der Rückluft in der Zuluft **< 70%**
- Gesamtanteil an Gefahrstoffen in der Reinluft  $< 1\text{mg}/\text{m}^3$

### Gefahrstoffe mit **TRK-Werte**

- max. Reststaubkonzentration in der Rückluft **< 1/10 TRK**
- Anteil der Rückluft in der Zuluft **< 50%**
- Gesamtanteil an Gefahrstoffen in der Reinluft  $< 1\text{mg}/\text{m}^3$

Reinluftführung - Reinlufrückführung - Gegenüberstellung MAK - TRK

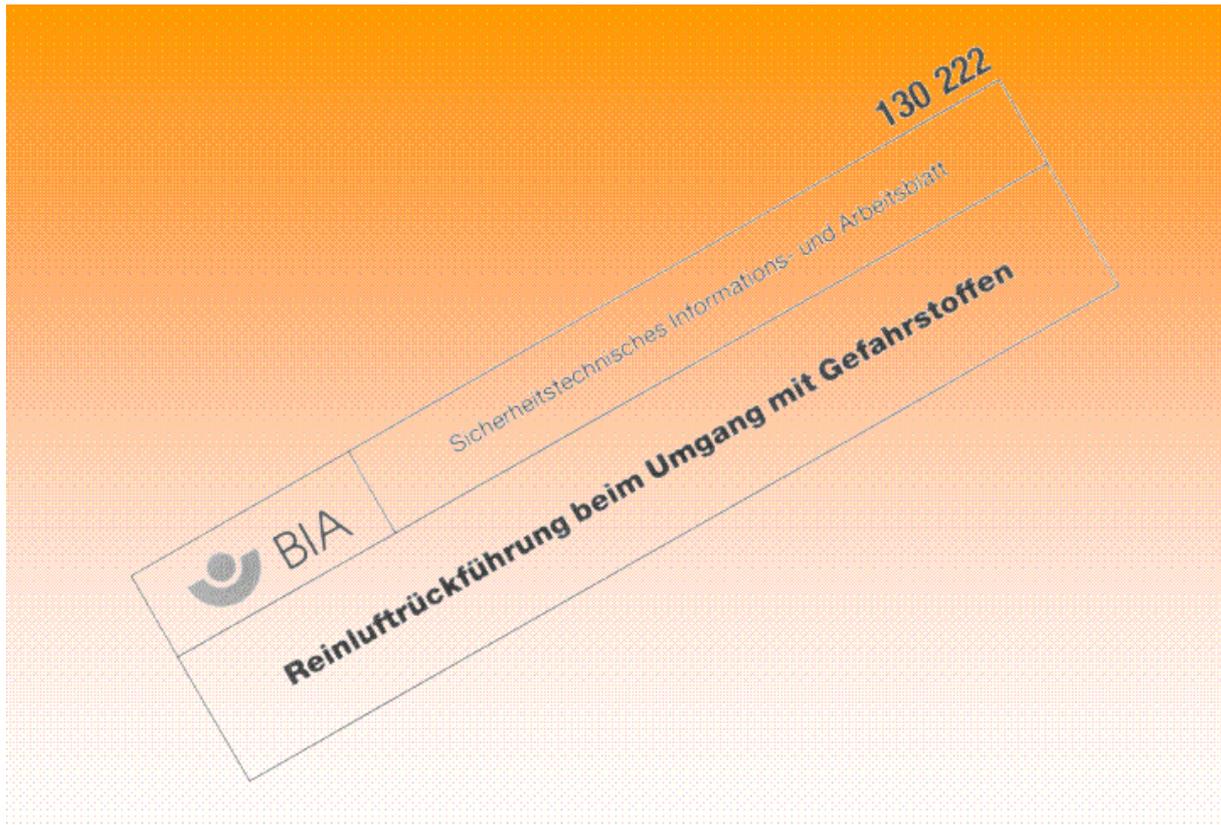


## Auflagen für die Reinlufrückführung bei Gefahrstoffen mit **MAK- und TRK-Werte**

- Die Reinlufrückführung ist nur NUR während der Heizperiode zulässig.
- Die Möglichkeit zur Umschaltung auf reinen Abluftbetrieb muss gegeben sein  
(Umschaltklappe für Umluft-/ Abluftbetrieb)

Reinluftführung - Reinlufrückführung - NUR während der Heizperiode





Reinluftführung - Literaturhinweis



## Luftreinhaltung und Energieeinsparung

Möglichkeiten der Energieeinsparung besteht bei:

- Schadstoffeffassung
- Schadstofffortleitung
- Abscheidesystem
- Reinluftführung

Energieeinsparung



## Energieeinsparung bei der Schadstofffassung

mit möglichst wenig **Luftmenge** arbeiten

- Schadstofffassung möglichst  
nahe an Schadstoffquelle
- Interessenskonflikt zwischen  
Anwender und Schadstofffassung
- Querströmung vermeiden  
bzw. als unterstützende Strömung verwenden
- Einhausung der Schadstoffquelle  
ohne Bewegungsabläufe zu behindern

Energieeinsparung - Schadstofffassung



## Energieeinsparung bei der Schadstofffortleitung

geringer **Druckverlust** und keine **Staubablagerungen**

- Kontinuitätsgleichung  $Q = A \cdot v$
- Nennweite  $NW \sim 1/v$  (Staubablagerung vermeiden)
- Druckverlust  $\Delta p \sim 1/NW$   
(„  $\Delta p \sim kW$ “)
- Druckverlust  $\Delta p \sim v^2$

Energieeinsparung - Schadstofffortleitung



## Energieeinsparung beim Abscheidesystem

geringer Druckverlust und Energie der Abreinigung

- Differenzdruck der Filterelemente gering halten  
durch geringe Filterflächenbelastung ( $Q/A_F$ )
- Energiebedarf für die Abreinigung optimieren  
Druckluftmenge und Druck
- installierte Motorleistung **kW**  $\sim \Delta p$

Energieeinsparung - Abscheidung



## Energieeinsparung durch Reinluftrückführung

Reinluftrückführung NUR mit qualitativ  
hochwertigem Abscheidesystem  
(hohe Investitionskosten)

- nur in der Heizperiode möglich
- bei Schadstoffen mit MAK-Werte möglich  
- nur bedingt bei Schadstoffe mit TRK-Werte
- aufwendige jährliche Wartungs- und  
Instandhaltungsarbeiten

Energieeinsparung - Reinluftrückführung



# Ventilatoren in RLT-Anlagen – Beurteilungskriterien, Verbesserungspotenziale, Auswahl, Leistungsnachweis

Dipl.-Ing. Heinz Wieland VDI, Sachverständiger für Ventilatortechnik, Waldenburg  
Ehem. Gebhardt Ventilatoren GmbH & Co., Waldenburg

## 1 Einleitung

Die Notwendigkeit Raumluftechnischer Anlagen (RLT-Anlagen) wird heute aus Energieverbrauchsgründen immer wieder in Frage gestellt und es werden Alternativen gesucht, die in DIN 1946 Teil 1 definierte primäre Aufgabe, ein angestrebtes Raumklima sicherzustellen, mit energieeffizienteren Maßnahmen zu erfüllen. Ein Beispiel dafür ist der „Hamburgische Klimaschutzgesetz-Entwurf vom 7. Januar 1997“.

Auf Bundesebene fehlt bisher eine technische Richtlinie, die die Umsetzung der Energieeinsparverordnung (EnEV) auch auf RLT-Anlagen möglich macht.

Aber selbst bei Anwendung innovativster bauphysikalischer Lösungen können RLT-Anlagen nicht verdrängt werden, denn viele Räume könnten ohne derartige Anlagen überhaupt nicht oder nur eingeschränkt genutzt werden. Dazu gehören z.B. Operationsräume, Intensivstationen, EDV-Räume, Küchen u.a..

Ziel der Planung und Erstellung von RLT-Anlagen muss es vielmehr sein, die klimatechnische Aufgabe so zu lösen, dass der Verbrauch von Energie und anderen Ressourcen über die gesamte Lebensdauer hinweg gering bleibt. Das bedeutet Auswahl von Komponenten mit hohen Wirkungsgraden, Vermeidung von unnötigen Lasten und Anwendung einer bedarfsorientierten Regelung.

## 2 Die Komponente Ventilator

Für die Bewegung der erforderlichen Volumenströme ist ein Ventilator erforderlich, der das Herz der RLT-Anlage bildet, also ein sehr wichtiges Bauteil darstellt.

Aufgabe des Ventilators ist es, einen bestimmten Volumenstrom durch die RLT-Anlage zu fördern und dabei eine Druckerhöhung zu erzeugen, die den Strömungswiderstand der Anlage überwindet. Diese Aufgabe soll mit dem geringsten Energieeinsatz, dem niedrigsten Geräusch und den geringsten Wartungs- und Instandhaltungskosten erfüllt werden.

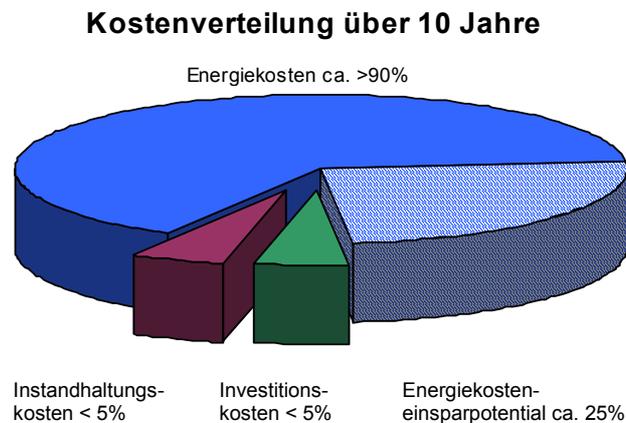
Die Betriebskosten für die Luftförderung werden auf ca. 30 bis 50% der gesamten Betriebskosten der RLT-Anlage geschätzt.

Interessant ist auch eine Betrachtung der Verteilung der Gesamtkosten eines Ventilators bezogen auf einen längeren Zeitraum.

Die Investitionskosten und auch die Instandhaltungskosten sind fast vernachlässigbar klein, wenn sie im Zusammenhang mit den Energiekosten über 10 Jahre betrachtet werden. Die Energiekosten, bzw. der Wirkungsgrad der Ventilatoren im Einbauzustand sind die entscheidenden Größen, nicht die oft überschätzten Investitionskosten. Bei Altanlagen und auch bei schlecht ausgeführten Neuanlagen könnte der Energieverbrauch und damit der Energiekostenanteil durch Optimierungsmaßnahmen um ca. 25% gesenkt werden.

Eine sehr konservative, von Fachleuten aus der Luft- und Klimatechnik im Jahr 1993 durchgeführte Schätzung hat ergeben, dass rund 3,75 Mio. MWh elektrische Arbeit, fast 500 Mio. € an Energiekosten und über 1,7 Mio. t CO<sub>2</sub> in Deutschland eingespart werden könnten, wenn alle älteren und nicht wirtschaftlich arbeitenden Ventilatoren gegen neue, energieeffiziente Ausführungen ausgetauscht würden.

Gegenüber 1993 hat sich die Situation nur unwesentlich verändert. Dazu haben vor allem die nach der Liberalisierung stark gesunkenen Strompreise ganz wesentlich beigetragen, weil die Amortisationszeiten für die Sanierungskosten zu lang geworden sind.



### 3 Ventilatorbauarten

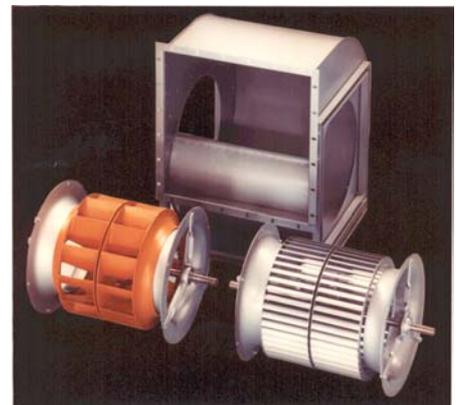
Für den Einsatz in RLT-Anlagen haben sich bestimmte Ventilatorbauarten besonders gut bewährt. Die Anforderungen für eine konkrete Aufgabe werden jedoch von den verschiedenen Ausführungen unterschiedlich erfüllt und deshalb ist die Kenntnis der Eigenschaften und Leistungsmerkmale bei der Planung von grundsätzlicher Bedeutung.

#### 3.1 Radialventilatoren mit Spiralgehäuse

Sie sind die in RLT-Anlagen am häufigsten verwendete Bauart, weil sie leistungsmäßig gut beherrschbar sind und von mehreren Herstellern in einer Vielzahl von Varianten für Volumenströme bis ca. 300.000 m<sup>3</sup>/h und Druckerhöhungen bis ca. 30.000 Pa in Katalogen angeboten werden.

Man unterscheidet hier verschiedene Bau- und Antriebsformen:

- Einseitig saugend vorwiegend bei Freiaufstellung für einfache Be- und Entlüftungsaufgaben oder bei sehr flachen Klimageräten
- Zweiseitig saugend für den Einbau in Kastengeräte
- Laufrad mit wenigen, rückwärts gekrümmten Schaufeln, hoher Wirkungsgrad, überlastungssichere Kennlinie, häufig mit stark hervortretendem Schaufelton (sehr unangenehm), der sich wegen der sehr niederen Frequenz nur mit großem Aufwand dämpfen lässt.
- Laufrad mit vielen, vorwärts gekrümmten Schaufeln (Trommelläufer), niedriger Wirkungsgrad, bei konstanter Drehzahl steigt die Antriebsleistung überproportional mit dem Volumenstrom an, deshalb Überlastungsgefahr für den Antriebsmotor, das Geräusch ist angenehm breitbandig Einsatzempfehlung nur für kleinere Leistungen.



- Riemenantrieb über Flachriemen, der einen Wirkungsgrad von ca. 97 bis 98% hat, verschleißarm, langlebig, wartungs- und schwingungsarm ist.
- Riemenantrieb über Keilriemen, mit Wirkungsgraden zwischen 90 bis 95%, hoher Riemenverschleiß, mit Filterverschmutzung als Folge, hoher Wartungsaufwand, jedoch handelsüblich erhältlich



- Direktantrieb über Normmotor, das Laufrad ist mit seiner Nabe direkt (fliegend) auf der Motorwelle befestigt oder mittels Kupplung mit dieser verbunden, keine Übertragungsverluste, keine Filterverschmutzung, wartungsfreier Betrieb, Ventilatorrehzahl ist an die Nenndrehzahl des Elektromotors gebunden, deshalb vorzugsweise zusammen mit Frequenzumrichter verwendet.



- Direktantrieb über Außenläufermotor, das Laufrad ist unmittelbar auf dem außenliegenden Rotor des Motors befestigt, der gleichzeitig die Laufradnabe bildet, kompakte Bauform, anschlussfertig, wartungsfrei, der Motor wird hervorragend durch den Förderstrom gekühlt, eingeschränkter Leistungsbereich, die sehr flache Drehzahl-Drehmomenten-Charakteristik des Motors ist für eine spannungsabhängige Schlupfregelung besonders geeignet.



### 3.2 Radialventilatoren ohne Spiralgehäuse (freilaufende Räder)

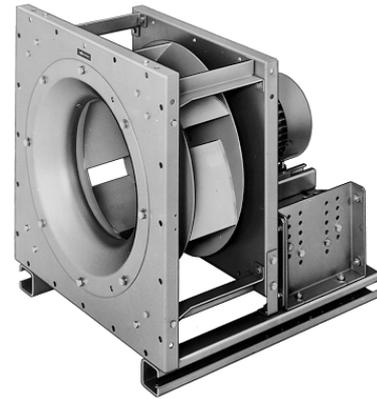
Seit einigen Jahren werden immer häufiger spiralgehäuselose Radialventilatoren in RLT-Geräten eingebaut, weil sie sich besser in eine enge Umgebung integrieren lassen, weil die Abströmrichtung nicht durch das Spiralgehäuse vorgegeben ist und weil die Austrittsgeschwindigkeiten bezogen auf die Austrittsfläche des Laufrades relativ gering ist.

Weil solche Ventilatoren aber bei jedem Anwendungsfall anderen äußeren Randbedingungen ausgesetzt sind, können die im Labor gemessenen Leistungsdaten nur annähernd gültig sein. Zum anderen stören diese Randbedingungen die Umwandlung der dynamischen Energie in nutzbare Energie und die Drallströmung am Laufradaustritt erhöht die Verluste an nachfolgenden Komponenten.

Eigene Untersuchungen an RLT-Anlagen mit eingebauten spiralgehäuselosen Ventilatoren haben gezeigt, dass der allseits erwartete hohe Wirkungsgrad nur durch längeres Optimieren erreichbar ist, was bei konventionellen RLT-Anlagen in der Regel nicht möglich ist.

Die gemessenen Wirkungsgrade im Einbauzustand lagen deshalb meistens unter den mit Spiralgehäuseventilatoren erreichbaren.

Der Antrieb erfolgt üblicherweise über Normmotor oder Außenläufermotor in Verbindung mit Frequenzumformer zur Leistungsanpassung.

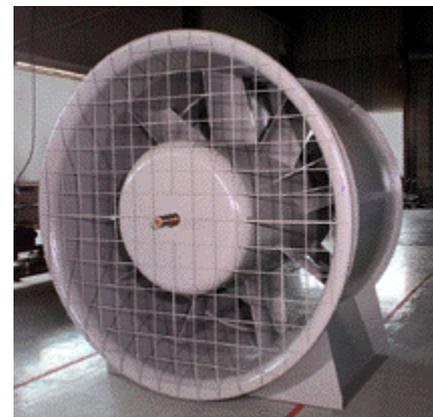


### 3.3 Axialventilatoren

Besonders in angelsächsischen Ländern findet man häufig Axialventilatoren in RLT-Anlagen. In Deutschland, aber auch in der Schweiz und in Österreich werden Axialventilatoren nur in besonderen Fällen eingesetzt, z.B. als Schubventilator.

Sie werden leitradlos, alternativ mit Vor- oder Nachleitrad angeboten.

Für RLT-Anlagen kommen auch Axialventilatoren mit im Lauf verstellbaren Schaufeln zum Einsatz, die sehr gute Wirkungsgrade aufweisen.



Probleme beim Einsatz von Axialventilatoren:

- Verzögerung der hohen Strömungsgeschwindigkeit im Schaufel-Ringquerschnitt erfordert einen Diffusor größerer Länge
- Der Bereich besten Wirkungsgrades liegt in der Nähe des Abrisspunktes. Fehler bei der Bestimmung des Betriebspunktes führen zu großen Problemen (Rotating Stall).
- Das Geräuschverhalten ist sehr ungünstig

### 3.4 Dachventilatoren

Für einfache Raumentlüftungen sind am besten so genannte Dachventilatoren geeignet. Sie besitzen ein Radiallaufrad, selten ein Axiallaufrad, das von einem Normmotor oder Außenläufermotor angetrieben wird.

Die Gehäuse- oder Haubenform ist so gestaltet, dass die Luft entweder horizontal oder vertikal austritt. Bei der Ausführung mit Axiallaufrad ist auch eine umgekehrte Förderichtung möglich.

Die Dachventilatoren sitzen auf einem Sockel außerhalb des Daches und der Laufradeintritt ist über eine Öffnung im Dach mit dem zu entlüftenden Raum verbunden.



Für den Einsatz im Brandfall zur Rauchfreihaltung von Rettungswegen gibt es geprüfte Ausführungen mit Zertifikat nach DIN 18232, Teil 6 bzw. EN 12101-3.

Volumenströme bis ca. 35.000 m<sup>3</sup>/h.

Über die Energieeffizienz sagen die Kataloge meistens wenig aus, so dass im Einzelfall für einen bestimmten Betriebspunkt beim Hersteller nachgefragt werden muss.



#### 4 Kenngrößen und Kennlinien

Die Leistungsdaten von Ventilatoren werden üblicherweise in Form von Kennlinien oder Kennfeldern angegeben. Es handelt sich dabei um so genannte Norm-Kennlinien, die auf Normprüfständen nach DIN 24163 bei definierten, d.h. ungestörten saug- und druckseitigen Anschlussbedingungen ermittelt worden sind.

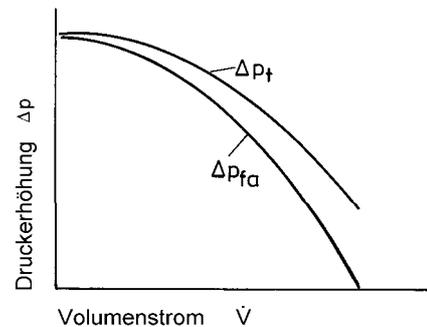
Normkennlinien sind demnach Ideal-Kennlinien, die nichts darüber aussagen, wie sich die betreffenden Ventilatoren unter Praxisbedingungen verhalten.

Man unterscheidet zwei Arten von Normkennlinien:

Die Kennlinie  $\Delta p_{fa} = f(\dot{V}_1)$  gilt für alle Fälle, in denen der dynamische Druck  $p_{d2}$  am Ventilatoraustritt als nicht nutzbar zu betrachten ist.

Die Kennlinie  $\Delta p_t = f(\dot{V}_1)$  gilt für alle Fälle, in denen der dynamische Druck  $p_{d2}$  am Ventilatoraustritt durch die Art des Einbaus genutzt werden kann.

Sie liegt über der Kennlinie  $\Delta p_{fa} = f(\dot{V}_1)$



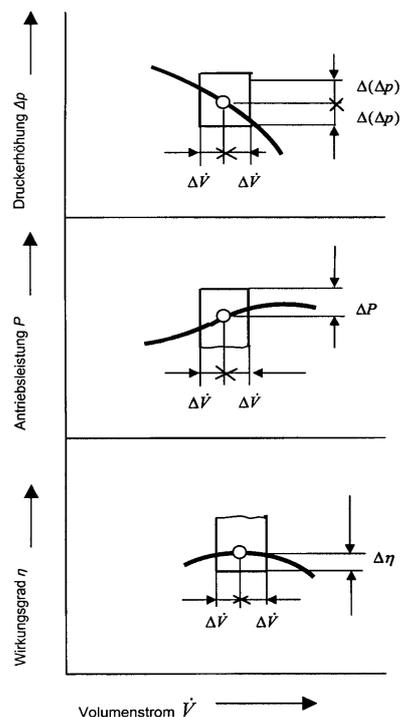
Die genormte Bezugsebene für den Volumenstrom und die Dichte ist die Ventilatoreintrittsseite.

Für Normkennlinien, sowie für die Kennlinien aus Katalogen der Ventilatorhersteller sind Grenzabweichungen zulässig, wie sie in DIN 24166 und VDI 2044 beschrieben sind.

Die Abweichungen richten sich nach der Genauigkeitsklasse, die vom Hersteller anzugeben ist.

Eine große zulässige Abweichung der zugesicherten Betriebswerte ist nachteilig für die Qualität der RLT-Anlage, weil zusammen mit der Messunsicherheit der Abstand zwischen Soll und Ist sehr groß werden darf. Deshalb sollten nur Ventilatoren mit einer hohen Genauigkeit gewählt werden.

Bei der Verwendung von Katalogkennlinien für die Auslegung von Ventilatoren ist es wichtig, diesen Zusammenhang zu kennen und entsprechend zu berücksichtigen.



Betriebswerte	Grenzabweichung $t$ in Genauigkeitsklasse				Bemerkung
	0	1	2	3	
Volumenstrom $V$	$\pm 1 \%$	$\pm 2,5 \%$	$\pm 5 \%$	$\pm 10 \%$	$\Delta V = t_V * V$
Druckerhöhung $\Delta p$	$\pm 1 \%$	$\pm 2,5 \%$	$\pm 5 \%$	$\pm 10 \%$	$\Delta(\Delta p) = t_{\Delta p} * \Delta p$
Antriebsleistung $P$	+ 2%	+ 3%	+ 8%	+ 16%	$\Delta P = t_P * P$ Negative Abweichungen sind zulässig
Wirkungsgrad $\eta$	- 1%	- 2%	- 5%	--	$\Delta \eta = t_\eta$ Positive Abweichungen sind zulässig

Bei riemengetriebenen Ventilatoren gelten die Katalog-Kennfelder für konstante Drehzahlen und konstante Luftdichte  $\rho_1 = 1,2 \text{ kg/m}^2$  am Ventilatoreintritt.

Sie sind nach den Gesetzen der Ähnlichkeitsmechanik aus Prüfstandsdaten berechnet.

$$\text{Volumenstrom: } \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{Druckerhöhung: } \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\text{Antriebsleistung: } \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Bei direktgetriebenen Ventilatoren ist die Drehzahl abhängig von der Drehzahl des Antriebsmotors, die sich wiederum belastungsabhängig durch Schlupf verändert. Auch durch Dichteänderung wird die Motorbelastung beeinflusst. Die Ähnlichkeitsgesetze können deshalb nicht ohne Kenntnis der Drehmomenten-Drehzahl-Charakteristik des Antriebsmotors angewendet werden.

Normkennlinien haben für einen in eine Anlage oder in ein Gerät integrierten Ventilator nur dann Gültigkeit, wenn die Zu- und Abströmbedingungen denen auf dem Prüfstand entsprechen. In der Regel wird das bei gemessenen Gerätekennlinien erfüllt. Die Ventilator-Kennlinien im Einbauzustand weichen von den Normkennlinien ab und sie müssen deshalb durch Abschätzung der Störeinflüsse und Leistungsverluste aufgrund von Erfahrungswerten ermittelt werden.

Die Einflüsse von Einbaustörungen werden mit Hilfe von Verlustbeiwerten, bezogen auf einen dynamischen Druck, z.B. am Ventilatoraustritt rechnerisch bestimmt.

$$\Delta p_{\zeta,x} = \zeta_x \cdot p_{d2}$$

$$\Delta p_v = \sum \zeta_x \cdot p_{d2}$$

⇒ Einfluss der Ventilator-Riemen-scheibe auf der Eintritts-seite:

$$\zeta_R \approx 0,5 \dots 1$$

⇒ Einfluss von Berüh-rungsschutz-gittern:

$$\zeta_G \approx 0,2 \dots 0,5$$

⇒ Einfluss der Ventilator-kammer, je nach Kammergröße:

$$\zeta_K \approx 0,1 \dots 1,2$$

⇒ Einfluss eines Stausiebes nach dem Austritt:

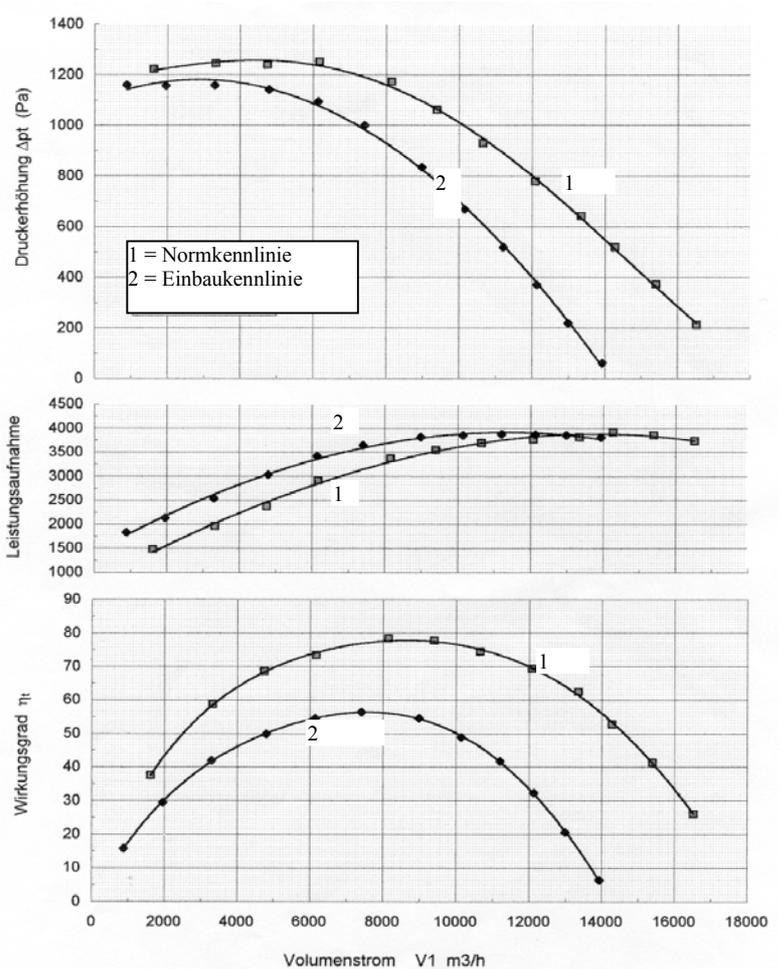
$$\zeta_{St} \approx 0,25$$

⇒ Einfluss eines Bogens unmittelbar nach dem Ventilator:

$$\zeta_B \approx 0,8 \dots 3,8$$

Andere Einflussfaktoren sind Drall am Ein- oder Austritt oder zu geringe Strömungsquerschnitte.

**Beachte:** Die aufzubringende Strömungsenergie  $p_d$  und die Strömungswiderstände ( $\zeta \cdot p_d$ ) wachsen mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit!



Sind alle Voraussetzungen für einen optimalen, verlustarmen Ventilatoreinbau geschaffen und die Druckerhöhung um die Einbauverluste angehoben, soll der Ventilator so ausgewählt werden, dass der Betriebspunkt beim besten Wirkungsgrad oder in unmittelbarer Nähe davon liegt.

Außerdem ist zu beachten, dass der katalogmäßige Volumenstrom auf eine definierte Dichte am Ventilatoreintritt bezogen ist.

$$\dot{V}_1 = f(\rho_1)$$

Bei anderen Luftdichten muss der Volumenstrom entsprechend umgerechnet werden.

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Bei riemengetriebenen Ventilatoren kann man dem Katalog-Kennfeld auch die Antriebsleistung Eingang Welle ( $P_w$ ) entnehmen.

Diese Leistung muss um die mechanischen und elektrischen Verlustleistungen erhöht werden.

- ⇒ Verlustleistung  $\Delta P_M$  des Elektromotors, ausgedrückt durch  $\eta_M$
- ⇒ Verlustleistung  $P_{FU}$  des Frequenzumrichters, ausgedrückt durch  $\eta_{FU}$
- ⇒ Verlustleistung  $P_R$  des Riementriebes, ausgedrückt durch  $\eta_R$

Die zu erwartende elektrische Wirkleistung (Antriebsleistung Eingang Motor) kann dann nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$P_{M+FU} = \frac{P_W}{\eta_M \cdot \eta_{FU} \cdot \eta_R}$$

Die Systemeffizienz des gewählten Ventilatorkonzeptes wird mit dem Einbauwirkungsgrad  $\eta_E$  beschrieben. Er ist das Verhältnis der von der RLT-Anlage verbrauchten Förderleistung zur dem Netz entnommenen elektrischen Wirkleistung (Antriebsleistung Eingang Motor).

$$\eta_{fa,M,E} = \frac{\dot{V}_1 \cdot \Delta p_{fa}}{P_{M+FU}} \cdot 100 \quad \text{in \%}$$

mit  $\Delta p_{fa}$  als Summe aus Anlagenwiderstand, Geräteverlusten und Störeinflüssen durch die Einbaubedingungen.

Der optimale Einbauwirkungsgrad  $\eta_{fa,M,E}$  soll je nach Ventilatorgröße Werte zwischen 50 und 70 % betragen.

Bei direktgetriebenen Ventilatoren kann man dem Katalog meistens bereits  $P_M$  entnehmen, so dass nur noch der Leistungsverlust eines eventl. verwendeten Frequenzumrichters berücksichtigt werden muss.

## 5 Planung und Ventilatorauswahl

Die Auswahl eines optimalen Ventilatorsystems und die Beurteilung der Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall setzt ein hohes Maß an Fachkenntnis und praktischer Erfahrung voraus.

- Der Fachplaner/das Ingenieurbüro legt das Konzept der RLT-Anlage fest, bestimmt die Anlagenkomponenten, die Volumenströme und die „externe“ Druckerhöhung der Anlage.
- Der Hersteller des RLT-Gerätes wählt den optimalen Ventilator unter Berücksichtigung der im Gerät entstehenden „internen“ Druckerhöhung und eventl. erforderlicher Schalldämpfer aus. Er greift dabei im Regelfall auf vorhandene Geräte kennlinien zurück und verwendet nicht die Katalogkennlinien des Ventilatorherstellers.
- Der Ventilatorhersteller wird beauftragt, nach Vorgabe von Geräteabmessungen und externer/ interner Druckerhöhung, sowie von sonstigen Anschlussbedingungen den richtigen Ventilator auszuwählen.

In jedem Fall muss nach der Festschreibung der RLT-Anlage und seiner Komponenten die Antriebsleistung  $P_M$ , bzw. der Einbauwirkungsgrad  $\eta_{faM}$  und der Betriebspunkt bekannt sein und die Einhaltung zugesichert werden.

Schwierigkeiten sind allerdings immer dann zu erwarten, wenn der Informationsaustausch zwischen den Beteiligten unzureichend oder aus besonderen Gründen nicht möglich ist.

## 6 Leistungsnachweis

Die Einhaltung der zugesicherten Eigenschaften ist nur durch eine Abnahmemessung im Einbauzustand nachweisbar. Dafür gibt es genormte Verfahrensregeln, z.B. in DIN EN 12599 oder VDI 2044.

Besonders wichtig ist die Wahl der Messorte, der Messgeräte und der Messverfahren.

Der eingestellte Lastzustand darf sich während der gesamten Messdauer nicht ändern, d.h. die automatische Regelung muss abgeschaltet sein, Verbraucher dürfen sich nicht unkontrolliert zu- oder wegsschalten können und auch der Luftzustand (Temperatur) soll weitgehend konstant bleiben.

Sämtliche Messdaten, auch Schwankungen der Anzeige, sind zu protokollieren und dann nach den genormten Regeln auszuwerten.

Die Messunsicherheit ist anschließend über eine Fehlerrechnung zu bestimmen.

Legt man nun um die zugesicherten Betriebswerte für Volumenstrom, Druckerhöhung, Elektrische Wirkleistung und Einbauwirkungsgrad die zulässigen Grenzabweichungen entsprechend der gewählten Genauigkeitsklasse und um die gemessenen Betriebspunkte die errechneten Messunsicherheiten, dann sind die Betriebswerte erreicht, wenn sich die Flächen in den drei Kennfeldern mindestens berühren.

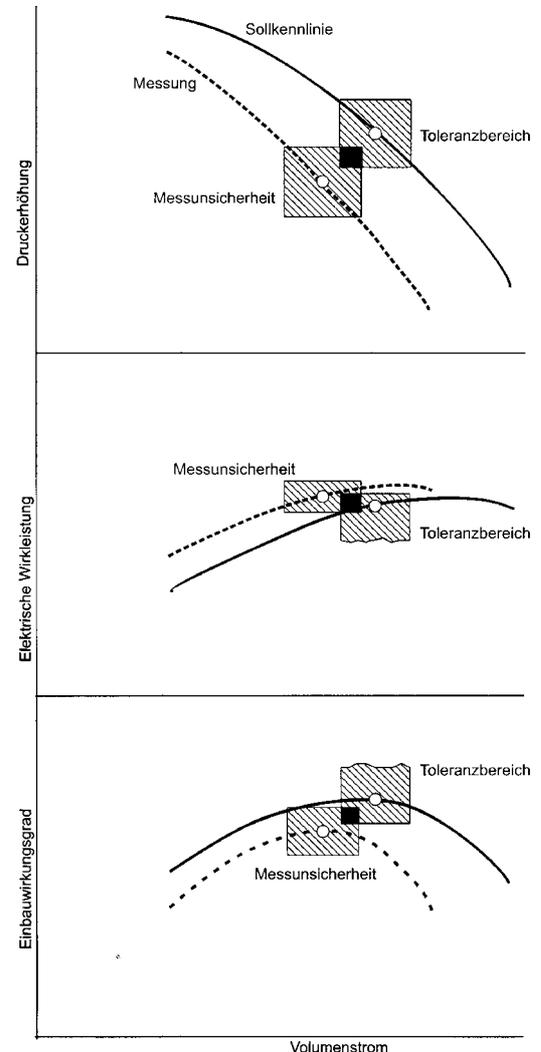
Daraus folgt, dass eine hohe Genauigkeitsklasse und eine hohe Messgenauigkeit zu den kleinsten Abweichungen führt.

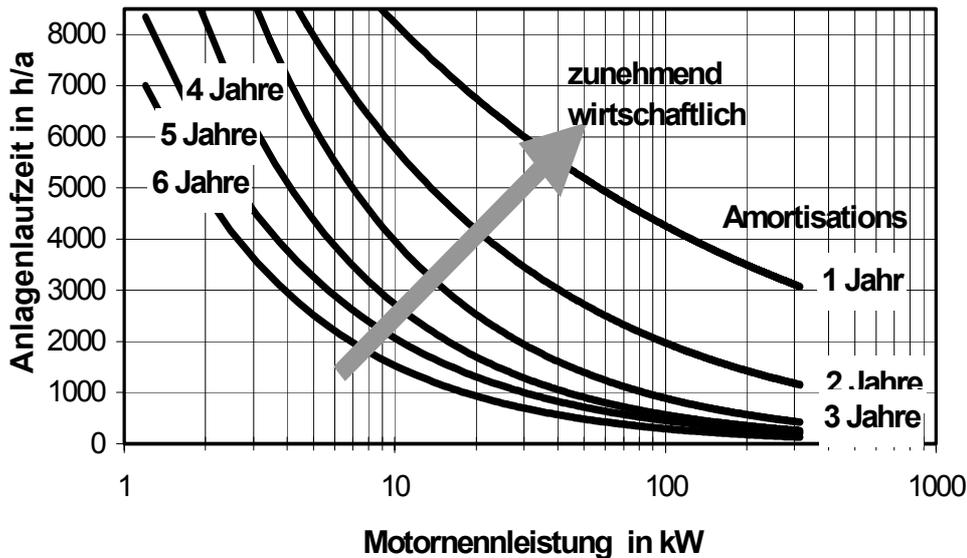
Deshalb sind Leistungsmessungen nur von qualifizierten Fachleuten mit praktischer Erfahrung durchzuführen.

## 7 Verbesserungspotenziale in Altanlagen

Wie bereits in Abschnitt 2 ausgesagt, ist das energetische Verbesserungspotential bei Altanlagen sehr groß und es ist mit relativ geringem technischem Aufwand und geringen Kosten erschließbar.

Eine Grobabschätzung, ob sich eine Sanierung innerhalb kurzer Zeit amortisieren wird, zeigt in sehr vereinfachender Weise das Diagramm.





Je höher die Anlagenlaufzeit und die Motornennleistung ist um so kleiner wird die Amortisationszeit für das eingesetzte Kapital sein.

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass ein Austausch der Ventilatoren und der Ventilatorenantriebe den größten Erfolg bringt. Alle zusätzlichen Veränderungen oder auch Leistungserhöhungen sind unter dem Gesichtspunkt der Refinanzierung durch die Energiekosten-Einsparung eher als unwirtschaftlich einzuordnen.

Selbstverständlich muss vor einer Sanierung eine genaue Erfassung des Istzustandes stehen, in gleicher Weise wie bei Abnahmemessungen. Auf dieser Basis kann dann die Auswahl und Bestimmung eines neuen energieeffizienteren Ventilators erfolgen

Der Ablauf und die einzelnen Entscheidungsebenen sind in dem nachfolgenden Flussdiagramm dargestellt.

Die notwendigen Sanierungsmaßnahmen sind nachfolgend kurz zusammengefasst:

- Einsatz energetisch und akustisch verbesserter Ventilatoren
- Verwendung optimal angepasster Antriebe
- Verbesserung der Einbaubedingungen, soweit mit geringem Aufwand möglich
- Vermeidung unnötiger Anlagenwiderstände z.B. Schalldämpfer, falsch angeordnete Krümmmer, Schutzgitter
- Anpassen des Volumenstroms an den Bedarf
- Verbesserung von Wärmerückgewinnungs- und Filtersystemen

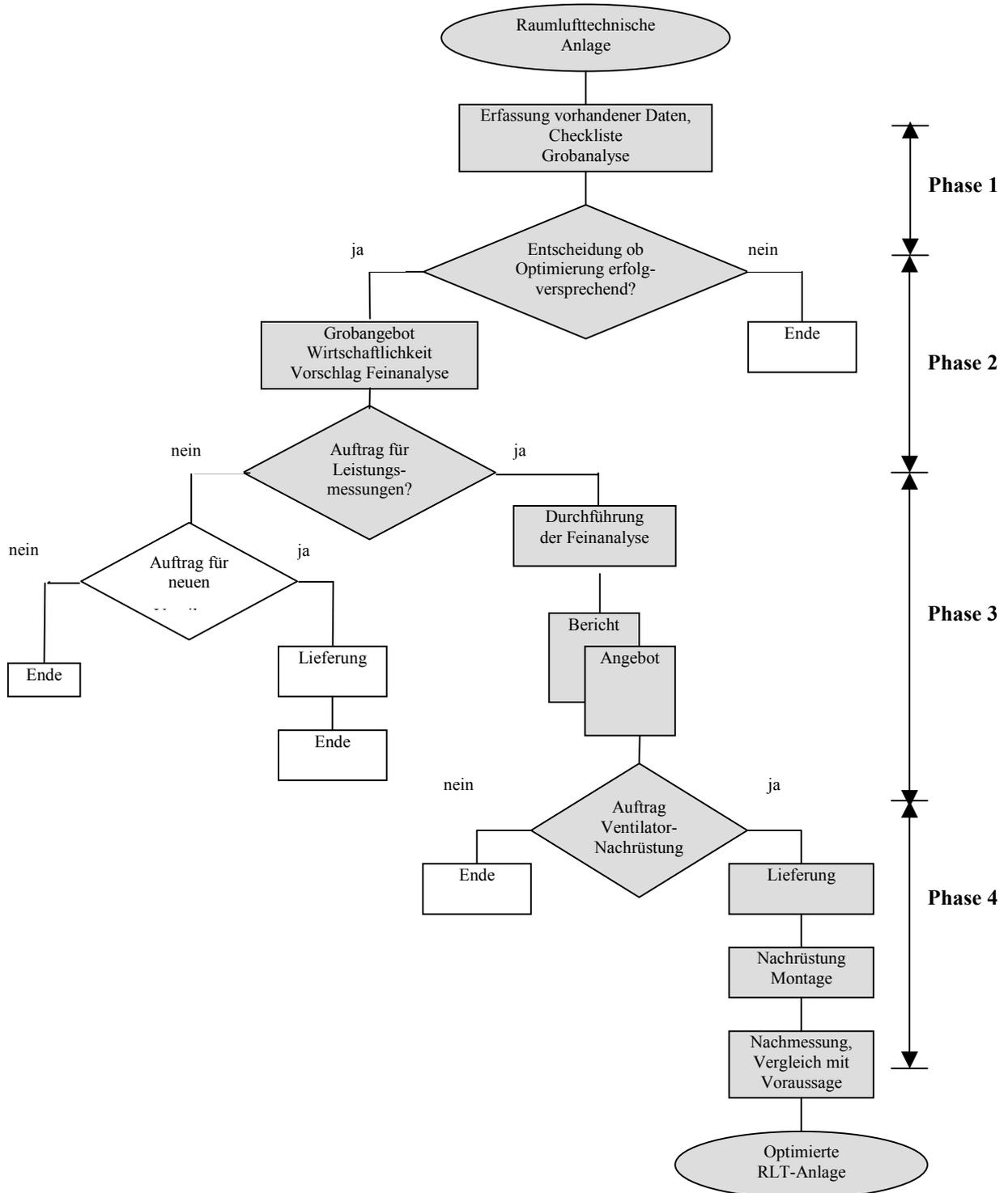
Eine Vielzahl von Praxisbeispielen, z.B. in Krankenhäusern, Verwaltungsgebäuden, Produktionshallen, Schulen usw. beweist, dass sich richtig durchgeführte und auf das Wesentliche beschränkte Optimierungsmaßnahmen wirtschaftlich darstellen und ein Nutzen für den Anlagenbetreiber und für die Umwelt sind.

Warum ist es aber so schwierig und oft mit sehr hohem Zeitaufwand verbunden, Betreiber von RLT-Anlagen von den Vorteilen einer Anlagenoptimierung zu überzeugen?

Nach den Erfahrungen der letzten Jahre spielen hier viele Faktoren eine Rolle.

- Wer entscheidet über Sanierungsmaßnahmen?
- Wurde ausreichend und vor allem seriös aufgeklärt?
- Gibt es nachprüfbar Referenzobjekte?
- Es fehlen die finanziellen Mittel im Haushalt.

Diese negativ wirkenden Faktoren verhindern, dass beim Anlagenbetreiber Kosten reduziert werden, dass die Umwelt von unnötiger CO<sub>2</sub>-Emission entlastet wird und dass bei Anlagenbauern und Dienstleistern Arbeitsplätze geschaffen und erhalten werden.



## 8 Praxisbeispiele:

Aus der Vielzahl durchgeführter Optimierungsmaßnahmen werden hier nur einige genannt, die nachprüfbar sind und hinterfragt werden können.

### 8.1 Messehalle 8, Messe Frankfurt GmbH

Anlage:	Zuluftanlage der Messehalle 8, bestehend aus 20 Zuluftventilatoren	
Ausführende Firma:	Ulrich Müller GmbH, Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	Austausch der Ventilatoren. Einbau optimierter Radialventilatoren mit Spiralgehäuse, angepasste Antriebsmotoren und Flachriementriebe, Sollvolumenstrom reduziert. Andere defekte Anlagenteile erneuert, Anlage gereinigt und abgedichtet	
Wann?	2000	
Ergebnisse:	<u>vor Umbau</u>	<u>nach Umbau</u>
Volumenströme:	935.455 m <sup>3</sup> /h	852.808 m <sup>3</sup> /h
Antriebsleistung ges.:	680 kW	224kW
Einsparung:	<b>456kW , das entspricht 67%.</b> Bei einer jährlichen Laufzeit von 1000 Stunden und Energiekosten von 6,65 Cent/kWh ergibt das eine Kosteneinsparung von <b>30.324 €/a.</b> Hinzu kommen noch eingesparte Wartungskosten.	
Investitionen:	<b>158.500,-- €</b>	
Amortisationszeit:	<b>5,2 Jahre</b>	
Allgemeine Beurteilung:	Nach dem Umbau und der Sanierung wurden deutlich niedrigere Lauf- und Strömungsgeräusche festgestellt.	

### 8.2 ÖVA-Versicherung Mannheim

Anlage:	Zu-/Abluftanlage Baujahr 1976 für das ÖVA-Haus, bestehend aus 10 Klimageräten mit Zu- und Abluftventilatoren	
Ausführende Firma:	eigene Haustechnik, gemeinsam mit Service-Technikern von Gebhardt Ventilatoren GmbH, Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	Austausch aller Ventilatoren gegen neue energieoptimierte Ventilatoren mit neuen Antrieben.	
Wann?	1996	
Ergebnisse:	<u>vor Umbau</u>	<u>nach Umbau</u>
Volumenströme:	425.300 m <sup>3</sup> /h	434.735 m <sup>3</sup> /h
Antriebsleistung ges.:	348 kW	233 kW
Einsparung:	115 kW, das entspricht 33% Bei einer jährlichen Laufzeit von 3125 Stunden und Energiekosten von 0,117 €/kWh ergibt sich eine Kosteneinsparung von <b>41.900,-- €/a.</b> Hinzu kommen die eingesparten Kosten für Wartung und Instandhaltung.	
Investitionen:	für die kompletten Austauschventilatoren, für Demontage und Montage, sowie für Leistungsmessungen wurden <b>71.455,-- €</b> aufgewendet.	
Amortisationszeit:	1,7 Jahre	

### 8.3 Ganerben-Gymnasium, Künzelsau

Anlage:	Zu-/Abluftanlage für die Turnhalle, Baujahr 1980 bestehend aus einem Lüftungsgerät mit zwei Radialventilatoren	
Ausführende Firma:	Gebhardt Ventilatoren GmbH & Co., Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	Austausch der Altventilatoren gegen neue, energieoptimierte Radialventilatoren mit rückwärtsgekrümmten und profilierten Schaufeln, einschließlich neuer Antriebsmotoren und Flachriementriebe. Einbau eines Stromzählers.	
Wann?	1998	
Ergebnisse:	<u>vor Umbau</u>	<u>nach Umbau</u>
Volumenströme:	15.950 m <sup>3</sup> /h	16.500 m <sup>3</sup> /h
Antriebsleistung ges.:	10,6 kW	6,3 kW
Einsparung:	4,3 kW, das entspricht 41 % Die eingesparten Energiekosten betragen ca. <b>2.100,-€/a</b> und der Ersatz für einen defekten Antriebsmotor hat sich damit ebenfalls erübrigt.	
Investition:	<b>5.015,-€</b>	
Amortisationszeit:	2,4 Jahre	

### 8.4 Kreiskrankenhaus Alsfeld

Anlage:	verschiedene Zu- und Abluftanlagen, Baujahr 1979/1980
Ausführende Firma	Trüschler & Geiling, gemeinsam mit der krankenhauseigenen Technischen Abteilung
Durchgeführte Maßnahmen:	Altventilatoren durch neue, energieeffiziente und optimal angepasste Radialventilatoren ersetzt, Leistung der Antriebsmotoren reduziert, Einbau von Flachriementrieben. Frequenzumrichter und Druckregelung installiert. Schalldämpfer entfernt, Luftleitbleche eingebaut.
Wann?	1998
Einsparung:	Nach Angaben der Haustechnischen Abteilung des Kreiskrankenhauses werden jährlich <b>64.000,- €</b> Betriebskosten für die Lüftung und <b>6.400,- €</b> für Heizen und Kühlen eingespart.
Investition:	Für die Sanierung wurden insgesamt <b>42.950 €</b> aufgewendet.
Amortisation:	0,6 Jahre

## 8.5 Kreisberufsschulzentrum Schwäbisch Gmünd

Anlage:	Zu-/Abluftanlagen für die Gebäude des Kreisberufsschulzentrums mit insgesamt 14 Radialventilatoren, Baujahr 1974	
Ausführende Firma:	Kreipl + Mannert OHG, Feuchtwangen, gemeinsam mit Servicetechnikern von Gebhardt Ventilatoren GmbH & Co., Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	Austausch von 11 Altventilatoren gegen neue, energieeffiziente und leistungsangepasste Radialventilatoren mit Flachriementrieb. Einsatz mit Frequenzumformer. Kanalanschlüsse optimiert, teilweise Kühlregister entfernt	
Wann?	2000	
Ergebnisse:	<u>vor Umbau</u>	<u>nach Umbau</u>
Volumenströme:	287.990 m <sup>3</sup> /h	281.470 m <sup>3</sup> /h
Antriebsleistung ges.:	134 kW	70, kW
Einsparung:	64 kW, das entspricht 48% Die jährlich eingesparten Energiekosten betragen ca. <b>17.800,-- €</b> . Zusätzlich sind die eingesparten Wartungs- und Instandhaltungskosten zu berücksichtigen.	
Investitionen:	Nach Angaben des Landratsamtes Ostalbkreis wurden in die Sanierungsmaßnahme ca. <b>178.000,-- €</b> investiert.  In diesem hohen Betrag sind aber auch die Kosten für die Verbesserung der Regelung enthalten, die vor allem der Komforterhöhung dient. Die energetische Verbesserung der Lüftungsanlagen hat einen Anteil von ca. 50%.	
Amortisationszeit:	5 Jahre	

# Solare Klimatisierung

Dr. Hans-Martin Henning, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

## Kurzfassung

Solar unterstützte Klimatisierung stellt eine vielversprechende Nutzung der Solarenergie in Gebäuden – insbesondere im Nicht-Wohnungsbau – dar. Im vorliegenden Beitrag wird insbesondere auf das Potenzial der Energieeinsparung eingegangen und es werden verschiedene Wege dargestellt, mit denen es gelingt, deutliche primärenergetische Vorteile im Vergleich zu konventionellen Anlagen zu erreichen.

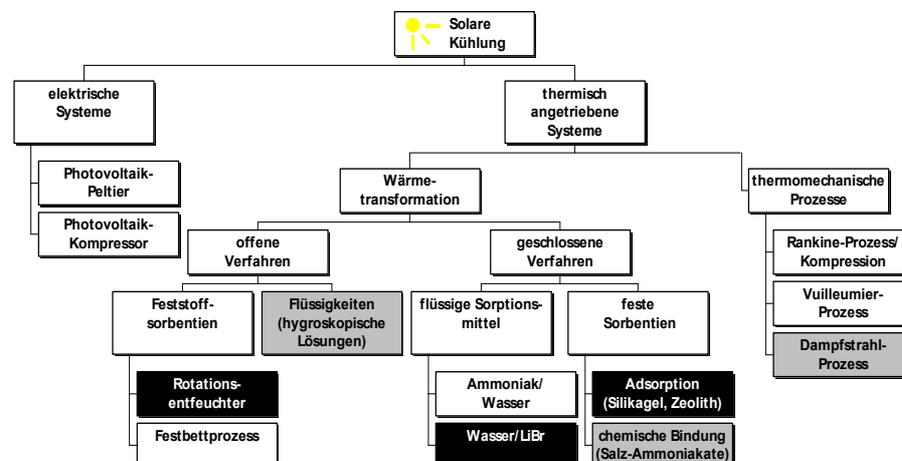
## Abstract

Solar assisted air conditioning presents a promising application of solar energy use in buildings, mainly in non-residential houses. In this overview in particular the potential of energy savings is highlighted and different approaches are presented which enable that remarkable primary energy savings in comparison to conventional air conditioning techniques are achieved.

## 1. Verfahrensübersicht

Sommerliche Gebäudeklimatisierung hat zwei Hauptaufgaben zu erfüllen: die Kontrolle der Raumlufttemperatur durch die angepaßte Abfuhr von sensiblen Wärmelasten und die Kontrolle der Raumluftfeuchte durch die angepasste Abfuhr von latenten Lasten; zugleich ist immer eine ausreichende Zufuhr von Frischluft zu gewährleisten. Während die Temperaturkontrolle sowohl durch den Austausch von Luft als auch über entsprechend gekühlte Flächen wie z.B. Kühldecken erfolgen kann, ist die Abfuhr von Feuchtelasten generell nur durch die Luftbehandlung möglich. Eine weitere Beschreibung der Verfahren enthält z.B. [1].

Beide genannten Anforderungen können durch Kältemaschinen in Verbindung mit entsprechender Klima-Anlagen-Technik erfüllt werden. Insofern ist ein möglicher Weg zur solaren Gebäudeklimatisierung der Betrieb von thermisch angetriebenen Kältemaschinen mit Solarwärme. Alternativ sind aber auch thermisch angetriebene Verfahren möglich, die über offene sorptive Prozesse direkt eine Luftbehandlung erlauben. Diese Verfahren werden als sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK) bezeichnet.



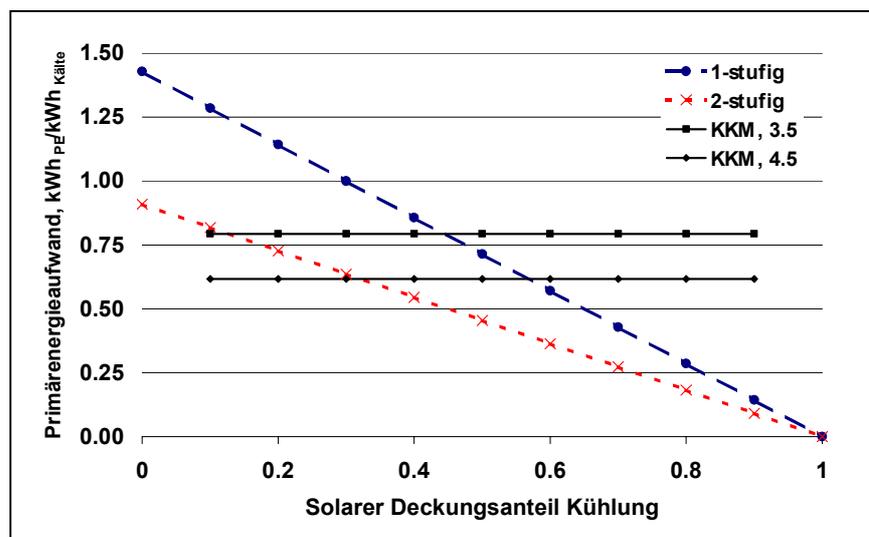
**Abb. 1:** Übersicht über mögliche Verfahren zur Umwandlung von Solarstrahlung in Kälte bzw. zur Luftkonditionierung.

Hervorhebung: **Marktverfügbar + für solare Klimatisierung geeignet**  
**In Entwicklung + aussichtsreich für solare Klimatisierung**

## 2. Primärenergetische Betrachtung

Das Hauptziel des Einsatzes von Solarenergie zur Gebäudeklimatisierung ist es, im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren Energie einzusparen, ohne eine inakzeptable Verschlechterung des Raumkomforts zu bewirken. Eine einfache Betrachtung zeigt die Möglichkeiten und Grenzen der Primärenergieeinsparung durch den Einsatz solarer Klimatisierung, wobei im weiteren nur die thermischen Verfahren betrachtet werden. In die Betrachtung gehen lediglich die Arbeitszahlen bzw. Wärmeverhältnisse der verglichenen Kälteerzeugungsverfahren sowie der Umwandlungsfaktor von Primärenergie in elektrische Energie ein. Für eine 1-stufige thermisch angetriebene Kälteerzeugung wurde als Wärmeverhältnis (englisch Coefficient of Performance, COP) ein Wert von 0.7 angenommen, wie es sowohl für einstufige Absorptionskältemaschinen als auch für übliche SGK-Verfahren mit Rotationsentfeuchtern typisch ist; für zweistufige, thermische Verfahren wurde ein COP von 1.1 angesetzt. Als primärenergetischer Gesamtwirkungsgrad für die Stromerzeugung wurde 0.36 kWh Strom pro kWh Primärenergie angesetzt.

Der Darstellung in Abb. 2 ist zu entnehmen, dass alle dargestellten Verfahren bei Betrieb mit Primärenergie (z.B. Erdgasbefeuerung) primärenergetisch schlechter abschneiden als konventionelle Kälteerzeugung mit modernen Kompressionskältemaschinen (dargestellte Arbeitszahl 3.5 bzw. 4.5). Je nach Vergleichssystem und eingesetzter thermischer Kältetechnik müssen bei den thermisch angetriebenen Verfahren zwischen 10 % und 55 % der Antriebswärme von der Solaranlage geliefert werden, um primärenergetisch gleich zu ziehen. Nur bei solaren Deckungsanteilen darüber, ist eine Primärenergieersparnis erzielbar.



**Abb. 2:** Primärenergetischer Vergleich zwischen konventioneller Kälteerzeugung und solar unterstützter thermisch angetriebener Kälteerzeugung

## 3. Wege zu einer sinnvollen Solarenergienutzung für die Klimatisierung

Aus der oben dargestellten primärenergetischen Betrachtung ergibt sich, dass es vor dem Einsatz von Solarenergie zur Gebäudeklimatisierung einer behutsamen Konzipierung unter Berücksichtigung der Energiebilanz bedarf, um das Ziel einer Energieeinsparung tatsächlich zu erreichen. Hier sind unterschiedliche Ansätze bzw. Konzepte möglich:

- thermisch solarautarke Systemlösung
- Kompressionskältemaschine als Backup an Stelle eines thermischen Backup-Systems

- Systemauslegung, die hohen solaren Deckungsanteil sicherstellt
- Einsatz 2-stufiger thermisch angetriebener Kältetechnik mit hocheffizienten Solar-  
kollektoren

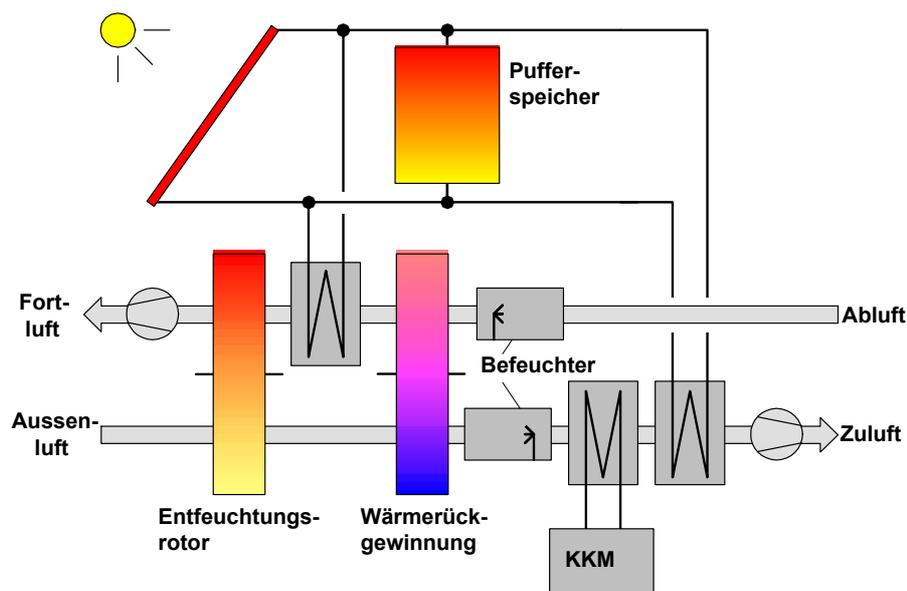
Auf alle genannten Konzepte wird im Folgenden kurz eingegangen. Zusätzlich sollten bei einer Planung generell weitere Wärmeverbraucher wie Heizung und Warmwasser in das Versorgungskonzept einbezogen werden, um eine möglichst hohe Ausnutzung der Solaranlage und somit zusätzliche Einspareffekte zu gewährleisten.

### 3.1 Thermisch solarautarke Systemlösung

Bei einem solchen Ansatz wird auf jegliches Backup zur Klimatisierung verzichtet. Die Devise ist ‚Take, what you get‘, d.h. es wird immer soviel Klimatisierung bereit gestellt, wie mit der aktuell vorherrschenden Einstrahlung möglich ist, wobei natürlich durch Integration eines Speichers ein gewisser zeitlicher Ausgleich zwischen Kühllasten und Solargewinnen möglich ist. Ein solcher Ansatz ist umso erfolversprechender, je stärker die Raumlasten durch solare Einstrahlung bedingt sind, also z.B. bei großflächig verglasten Räumen. Eine Bewertung bzw. Auslegung des Systems kann nicht über eine Energiebilanz oder den solaren Deckungsanteil erfolgen, sondern anhand einer statistischen Analyse der erwarteten Raumluftzustände. Die Entscheidung über die Akzeptanz eines solchen Konzepts kann beispielsweise auf der Basis einer Simulation des Gesamtsystems Solaranlage – Klimatisierungsanlage – Gebäude erfolgen, bei der eine Ermittlung derjenigen Stunden durchgeführt wird, die ausserhalb des Komfortbereichs liegen, d.h. die die erwünschte Raumlufttemperatur und –feuchte übersteigen.

Ein Beispiel für eine Anlage, die nach diesem Konzept erstellt ist, ist die mit einem Solarluftkollektor betriebene SGK-Anlage zur Klimatisierung des Seminarraums der Industrie- und Handelskammer Südlicher Oberrhein in Freiburg. Auf diese Anlage wird in einem eigenen Beitrag dieses Tagungsbands eingegangen [2].

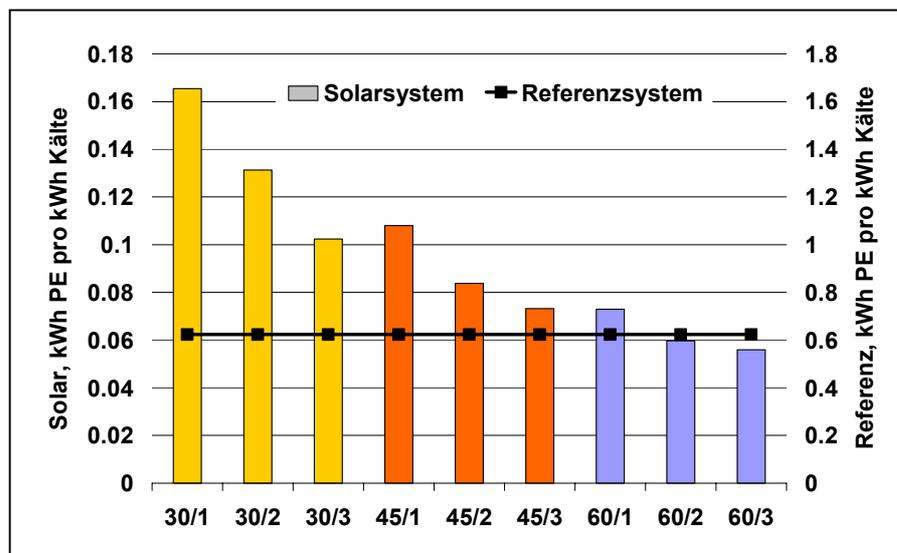
### 3.2 System mit Kompressionskältemaschine als Backup



**Abb. 3:** Schema einer solar betriebenen SGK-Anlage mit nachgeschaltetem Kühler, der mit Kaltwasser einer Kompressionskältemaschine (KKM) versorgt wird

Wird eine Kompressionskältemaschine anstelle eines thermischen Backup-Systems gewählt, so ist sicher gestellt, dass nur zu den Zeiten die thermisch angetriebene Kältetechnik verwendet wird, wenn ein Betrieb mit Solarwärme möglich ist. Damit wird die primärenergetisch ungünstige Verwendung von fossilen Brennstoffen zur thermisch angetriebenen Klimatisierung vermieden. Ein solches Verfahren wurde beispielsweise im Rahmen einer Anlagenplanung für ein Bürogebäude in Sizilien untersucht. Dabei wird entsprechend Abb. 3 eine solar betriebene SGK-Anlage um einen nachgeschalteten Luftkühler ergänzt, der in Fällen unzureichender Temperaturabsenkung bzw. Luftentfeuchtung die Erreichung des erfordernten Zuluftzustands sicherstellt.

In Abb. 4 ist das Ergebnis einer Vergleichsrechnung für ein konkretes Bürogebäude, eine SGK-Lüftungsanlage mit einem festen Volumenstrom von  $1500 \text{ m}^3/\text{h}$  und unterschiedliche Auslegungsvarianten des Solarsystems dargestellt. Es zeigt sich, dass bei einem solchen Konzept für alle untersuchten Solarvarianten eine deutliche Einsparung an Primärenergie im Vergleich zu einem konventionellen Referenzsystem (Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, adiabater Kühlung und Kompressionskältemaschine) möglich ist. Zugleich wird die Bedeutung der Integration eines Pufferspeichers deutlich, insbesondere bei kleinen Kollektorflächen. Bei einer Kollektorfläche von  $30 \text{ m}^2$  bewirkt eine Verdoppelung des Speichervolumens von  $1.5 \text{ m}^3$  auf  $3 \text{ m}^3$  eine Reduktion im Primärenergieverbrauch um fast 40 %.

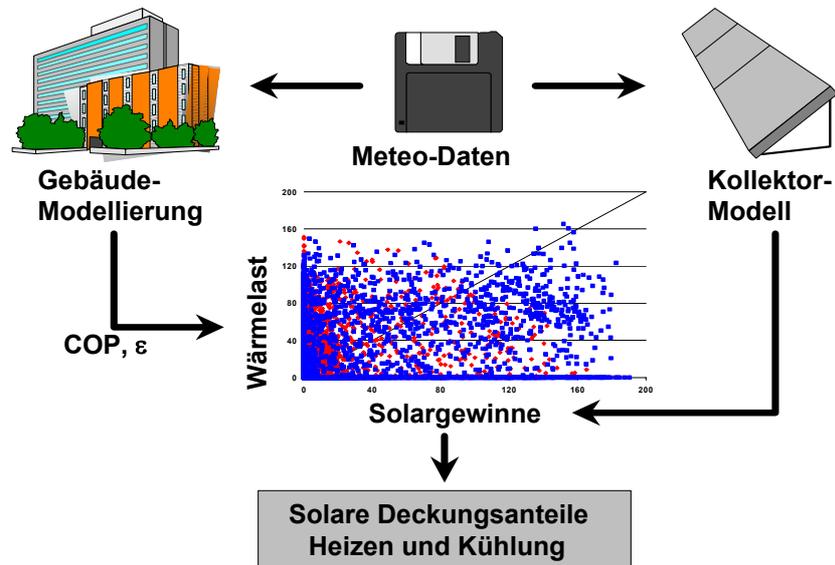


**Abb. 4:** Ergebnis der Auslegung eines SGK-Systems mit Backup-Kältemaschine für ein Bürogebäude in Sizilien (Wetterdaten Catania). Die y-Achsen stellen den Primärenergieaufwand pro kWh bereit gestellter Luftkonditionierung dar (linke Achse: Solarsystem, rechte Achse: Referenzsystem). Die jeweils erste Zahl an der x-Achse bezeichnet die Kollektorfläche in  $\text{m}^2$ , die zweite die SpeichergroÙe ( $1 \cong 50 \text{ l}$  Pufferspeicher pro  $\text{m}^2$  Kollektorfläche;  $2 \cong 75 \text{ l/m}^2$ ;  $3 \cong 100 \text{ l/m}^2$ )

### 3.3 Auslegung von Systemen mit hohem solaren Deckungsanteil

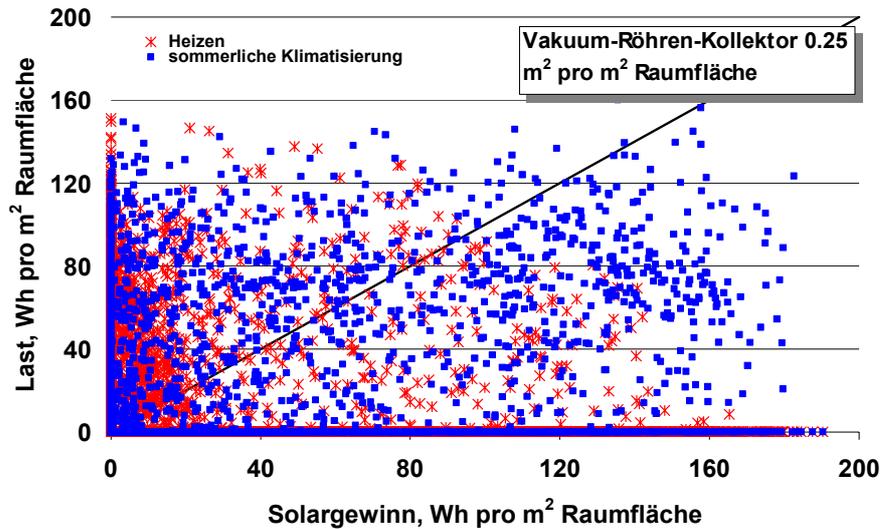
Ein wesentlicher Vorteil der Nutzung von Solarenergie für die Klimatisierung im Vergleich zu anderen Anwendungen im Gebäude wie z.B. Heizung ist eine Zeitgleichheit von Lasten und Solargewinnen – zumindest im saisonalen Maßstab. Welcher solare Deckungsanteil allerdings im Einzelfall erzielbar ist, hängt entscheidend von der zeitlichen Übersteinstimmung von Kühl-lasten und Solargewinnen im kleineren Zeitmaßstab ab. Eine exakte Auskunft über den solaren Deckungsanteil kann im Rahmen einer Anlagenplanung nur durch eine aufwändige Simulation des Gesamtsystems bestehend aus Gebäude, Klimatisierungssystem und Solaranlage gewonnen werden. Ein entsprechendes Auslegungsprogramm wird derzeit z.B. im Rahmen von

Task 25 ‚Solar Assisted Air Conditioning of Buildings‘ des IEA Solar Heating & Cooling Programmes entwickelt [4]. Ein vereinfachtes Verfahren, das ebenfalls im Zusammenhang von Task 25 entstanden ist, benötigt lediglich eine Gebäudesimulation sowie eine Berechnung des Solarertrags für eine angenommene Solaranlage basierend auf einem erweiterten Brutto-Wärmeertragsverfahren; das generelle Vorgehen ist in Abb. 5 veranschaulicht.



**Abb. 5:** Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des solaren Deckungsanteils für ein gegebenes Klima und eine gegebene Gebäudelast

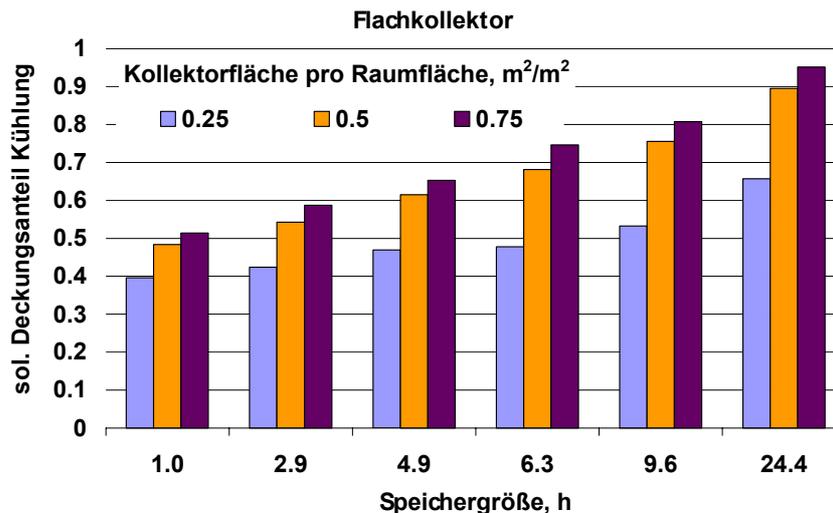
Bei Anwendung des Verfahrens wird für eine gegebene Kollektorfläche und eine gegebene Kollektormitteltemperatur für jede Stunde des Jahres der mögliche Wärmegewinn errechnet, wobei die Kollektortemperatur je nach Anforderung unterschiedlich ist (z.B. Kollektormitteltemperatur im Heizfall 40°C, im Kühlfall 70°C bei SGK-Technik). Diese verfügbare Solarwärme wird der zur Raumklimatisierung benötigten Wärme gegenüber gestellt. Für jede Jahresstunde ergibt sich die benötigte Wärme beispielsweise aus einer einfachen thermischen Gebäudesimulation mit idealer Kühlung/Heizung, d.h. einer Kühlung/Heizung, die sicher stellt, dass in jeder Stunde der aktuelle geforderte Raumlufzustand eingehalten wird (z.B. entsprechend DIN 1946 Teil 2). Wird die für jede Stunde resultierende benötigte Wärme- bzw. Kältemenge mit einem entsprechenden Konversionsfaktor, der den globalen Wirkungsgrad der Anlagentechnik (Heiznetz, Kälte-/Klimaanlage) beschreibt, multipliziert, so resultiert die in jeder Stunde benötigte Wärmeleistung. Als globale Wirkungsgrade wurden 0.95 für den Winterfall und 0.65 für die sommerliche Klimatisierung angesetzt. Aus der Gegenüberstellung von Solargewinnen und Wärmelast (benötigter Wärmeleistung für Heizung bzw. sommerliche Klimatisierung) resultiert bei Auftragung aller Werte eines Jahres eine Punkteschar entsprechend Abb. 6. Diese Abbildung wurde mit Lastdaten eines Versammlungsraumes mit einer Nutzfläche von 216 m<sup>2</sup> in Freiburg ermittelt; der Raum dient als eines von drei Referenzgebäuden in Task 25. Die Sterne (rot) charakterisieren Stunden der Heizsaison und die Vierecke (blau) Stunden der Kühlsaison. Die Kollektorleistung wurde mit Daten eines Vakuum-Röhrenkollektors ermittelt. Die spezifische, auf die Raumfläche bezogene Kollektorfläche beträgt in dem Beispiel 0.25 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> Raumfläche.



**Abb. 6:** Gegenüberstellung von Solargewinnen und Wärmelast für die Klimatisierung eines Versammlungsraumes in Freiburg. Jeder Punkt gilt für eine Stunde. Die Solargewinne ergeben sich aus der Errechnung des stündlichen Wärme-Ertrags eines Vakuum-Röhren-Kollektors

Das Diagramm in Abb. 6 kann folgendermaßen interpretiert werden: für Punkte auf der Winkelhalbierenden gilt, dass die solar bereit gestellte Wärmemenge genau der in dieser Stunde benötigten Wärme entspricht. Bei unterhalb der Winkelhalbierenden liegenden Punkten ist die solar bereit gestellte Wärme größer als die benötigte Wärme. Wenn kein Speicher implementiert ist, geht dieser Überschuss verloren. Bei oberhalb der Winkelhalbierenden liegenden Punkten reicht die solare Wärme nicht zur Deckung aus, es ist zusätzliche Wärme zur Lastdeckung erforderlich. Aus einer einfachen Aufsummierung aller Wärmemengen für die Dauer eines Jahres läßt sich ohne viel Aufwand der solare Deckungsanteil errechnen, wobei eine Unterscheidung für Winter- und Sommerbetrieb möglich ist.

Das Verfahren kann erweitert werden, um den Einfluss der Integration eines Speichers zu untersuchen. Dazu werden nicht mehr stündliche Werte bilanziert sondern Summenwerte mehrerer Stunden. Nähere Einzelheiten hierzu können [5] entnommen werden. Ein Ergebnis einer Parameterstudie, die mit dem beschriebenen Verfahren durchgeführt wurde, zeigt Abb. 7. Um einen solaren Deckungsanteil für die Kühlung von  $> 70\%$  zu erreichen, könnte demnach beispielsweise ein Flachkollektor mit einer spezifischen Kollektorfläche von  $0.75 \text{ m}^2$  pro  $\text{m}^2$  Raumfläche und einer effektiven Speicherkapazität von rund 6 h installiert werden, d.h. ein Speicher, mit dem die maximale Last rund 6 h gedeckt werden kann. Umgerechnet auf die Größe eines Warmwasserpufferspeichers entspricht dies einem Speichervolumen von rund 50 Liter pro  $\text{m}^2$  Raumfläche.



**Abb. 7:** Solarer Deckungsanteil als Funktion von spezifischer Kollektorfläche (Absorber pro  $m^2$  Raumfläche) und effektiver Speichergröße (definiert als Zeit einer vollständigen Deckung der maximalen Wärmelast)

### 3.4 Systeme mit zweistufiger Kältetechnik und hocheffizienten Kollektoren

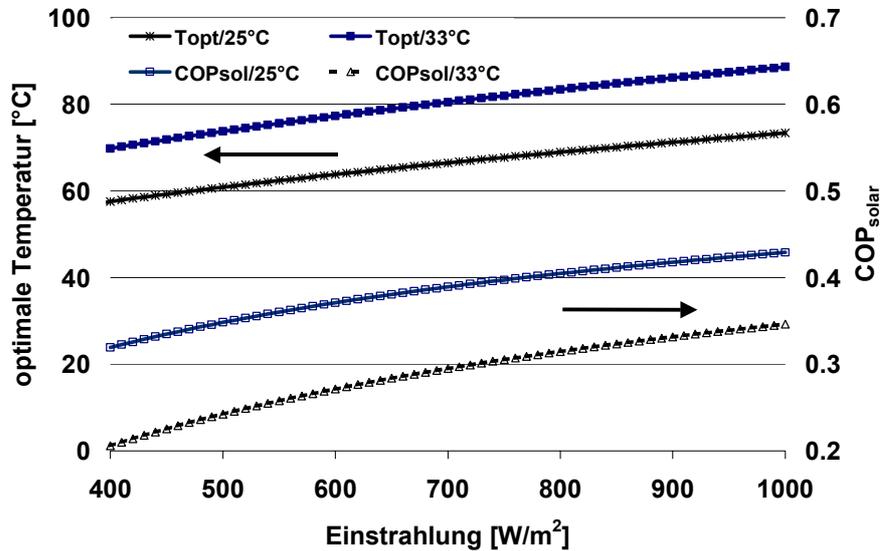
Wie Abb. 2 zeigt, kann bei Anwendung von 2-stufiger Kältetechnik mit entsprechend höherem COP auch schon bei niedrigen solaren Deckungsanteilen eine Primärenergieeinsparung realisiert werden. Entsprechende Absorptionskältemaschinen mit einem COP im Bereich 1.1 bis 1.2 sind marktverfügbar. Allerdings gibt es keine Geräte im kleinen Leistungsbereich bis 200 kW Kälteleistung und es werden generell deutlich höhere Antriebstemperaturen oberhalb von  $150^\circ\text{C}$  benötigt. Insofern kommen für solche Anlagen zur Wärmebereitstellung nur hocheffiziente Solarkollektoren in Frage. Eine interessante Möglichkeit ergibt sich beispielsweise in Verbindung mit vergleichsweise preisgünstigen, einachsigen konzentrierenden Parabolrinnenkollektoren, für die im Bereich von Temperaturen für solare Prozesswärme relativ günstige Wärmegegostehungskosten möglich sind (siehe z.B. [6]). Solche Systeme bieten sich insbesondere in strahlungsreichen Regionen mit hohem Direktstrahlungsanteil an.

## 4 Erfahrungen mit realisierten Anlagen

Bislang realisierte Anlagen der solar unterstützten Gebäudeklimatisierung sind ganz überwiegend im Rahmen von öffentlich geförderten F+E-Projekten oder als Demonstrationsanlagen entstanden. In Deutschland sind insgesamt rund 25 Anlagen installiert [7],[8]. Aus den vielen Erfahrungen, die hier gesammelt wurden, lassen sich einige generelle Aussagen ableiten:

- Viele Anlagen der solaren Klimatisierung oder Kälteerzeugung arbeiten unterhalb ihrer Möglichkeiten, d.h. mögliche Solargewinne werden nicht ausreichend genutzt. Ein Grund ist, dass die hydraulischen Schemata vielfach sehr komplex sind. Dies bedingt eine aufwändige, anfällige Regelungstechnik mit vielen unterschiedlichen Betriebsstufen. Ziel zukünftiger Anlagenplanung muss es sein, hydraulisch einfache, robuste Anlagenkonzepte zu entwickeln.
- Eine optimale Anlagenregelung, die eine Maximierung von Solargewinnen bei gleichzeitig sicher gestellter Befriedigung der Lastanforderung gewährleistet, ist noch nicht entwickelt. Die Regelung ist nicht einfach, da bei allen Verfahren sowohl die Kälteleistung als auch die Wirkungsgrade von Solaranlage und Kältemaschine stark temperaturabhängig sind. Als Bei-

spiel ist in Abb. 8 die Kopplung einer Adsorptionskältemaschine mit einem Flachkollektor dargestellt. Aus dem Produkt der Wirkungsgrade der Einzelkomponenten (Solaranlage, Kältemaschine) ergibt sich je nach aktueller Einstrahlung eine Betriebstemperatur, bei der der Gesamtwirkungsgrad, der sich aus dem Produkt des Kollektorwirkungsgrad und des COP ergibt, maximal wird.



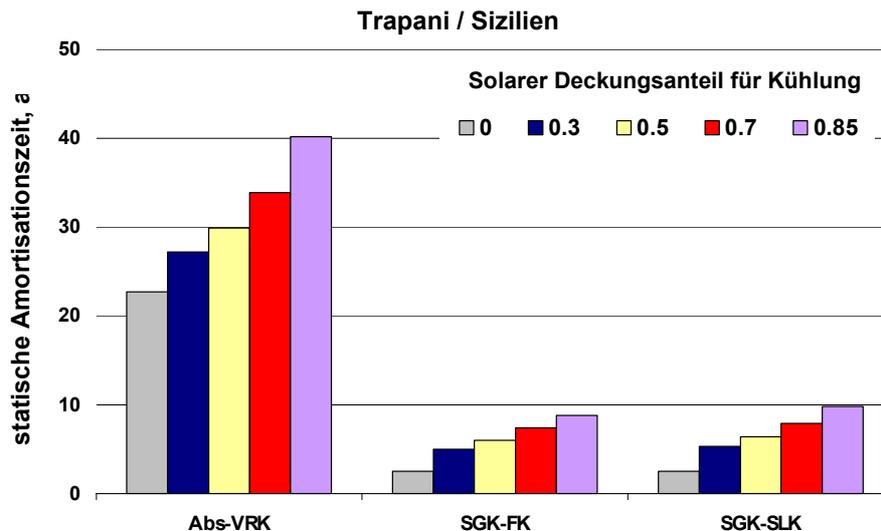
**Abb. 8:** Optimale Regenerationstemperatur und erreichbarer  $COP_{\text{solar}}$  als Funktion der Einstrahlung (Adsorptionskältemaschine + Flachkollektor)

- Bezüglich weiterer zukünftiger Entwicklungen sind insbesondere Konzepte, die eine effektive Speicherung und somit einen hohen solaren Deckungsanteil ermöglichen gefordert sowie generell thermisch angetriebene Klimatisierungsverfahren mit möglichst hohem COP, insbesondere auch im Teillastbetrieb.
- Für die zuverlässige Anlagendimensionierung sind handhabbare, überprüfte Auslegungswerkzeuge unabdingbar. Ansonsten besteht die Gefahr, dass Anlagen gebaut werden, die letztlich zu keinen bzw. keinen nennenswerten Energieeinsparungen führen.

## 5 Wirtschaftlichkeit

Generell sind bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von solar unterstützter Klimatisierung mit thermischen Verfahren zwei Punkte maßgeblich:

- Die konventionelle, in der Regel elektrisch betriebene Kältetechnik, wird durch ein thermisches Verfahren ersetzt: die Wirtschaftlichkeit hängt dann einerseits von den Wärmekosten und andererseits von der eingesparten elektrischen Leistung und deren monetärer Bewertung ab.
- Wird die Wärme zum Antrieb der Kältetechnik/Klimatisierung ganz oder teilweise von einer Solaranlage geliefert, so entstehen Mehrkosten durch die Investitionskosten für die Solaranlage. Dafür können Betriebskosten durch reduzierte Energiekosten gut geschrieben werden. Als Anhaltspunkt für Wärmegestehungskosten der Solarthermie können Erfahrungswerte aus dem Solarthermie 2000 – Programm dienen [9], die für große Solaranlagen gelten, wie sie in der Regel auch für die solar unterstützte Klimatisierung Anwendung finden.



**Abb. 9:** Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeitsermittlung von unterschiedlichen Systemen der solar unterstützten Klimatisierung für unterschiedliche Werte des solaren Deckungsanteils für die Kühlung. Es bedeuten:

Abs-VRK: Absorptionskältemaschine + Vakuum-Röhren-Kollektor

SGK-FK: Sorptionsgestützte Klimatisierung + Flachkollektor mit elektrischer Kältemaschine als Backup

SGK-SLK: Sorptionsgestützte Klimatisierung + Solarluftkollektor mit elektrischer Kältemaschine als Backup

Ein Beispiel für die statische Amortisationszeit unterschiedlicher Systeme zur Klimatisierung eines Bürogebäudes mit einer Lüftungsanlage ist in Abb. 9 gezeigt; detaillierte Informationen zu den untersuchten Systemen und den gemachten Annahmen können der Studie entnommen werden [10]. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die günstigsten Ergebnisse für eine Kopplung von SGK-Technik mit elektrischer Kältemaschine als Backup entsprechend Abschnitt 3.2 erzielt; hier lag die statische Amortisationszeit generell unterhalb von 10 Jahren.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Bei entsprechender Auslegung bzw. Konzeption von Anlagen der solaren Klimatisierung können merkliche Energieeinsparungen erzielt werden. Allerdings ist bei Systemen mit einer Kopplung aus Solarkollektor und fossil befeuerter zweiter Wärmequelle zum Antrieb der Systeme ein hoher solarer Deckungsanteil notwendig, um Primärenergie einzusparen. Hier ist eine detaillierte Analyse der zeitlichen Übereinstimmung von Kühllasten und Solargewinnen erforderlich, da hierdurch wesentlich der erzielbare solare Deckungsanteil beeinflusst wird. Zusammenfassend scheinen insbesondere Systemlösungen interessant, bei denen mit einer konventionellen, elektrisch angetriebenen Kälteerzeugung gearbeitet wird, wenn nicht solar gekühlt werden kann. Insbesondere im Verbund mit offener Sorptionstechnik (SGK) ergeben sich hier sowohl hinsichtlich der Energiebilanz als auch der Wirtschaftlichkeit aussichtsreiche Konzepte.

Für die Weiterentwicklung der Systemtechnik kommt es insbesondere darauf an, hydraulisch einfache, robuste Verschaltungen einzusetzen, die regelungstechnisch gut beherrscht werden. Zugleich sind regelungstechnische Verfahren zu entwickeln, die zu jedem Zeitpunkt eine optimale Ausnutzung der verfügbaren Solarenergie sicherstellen und damit eine Minimierung des Primärenergieeinsatzes bewirken.

## Literatur

- [1] Hans-Martin Henning, Aktive solarthermische Systeme für die Gebäudeklimatisierung. in: Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden (Hrsg. Marko/Braun), Springer-Verlag 1997
- [2] Carsten Hindenburg, Mario Motta, Sascha Backes, Christian Bichler: Erste thermisch solar autarke Klimaanlage in Deutschland – Betriebserfahrungen und ökonomische Gesichtspunkte. 12. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 2002
- [3] Mario Motta: Thermodynamic design and optimisation of solar assisted desiccant cooling cycles for Italian climates. PhD-Thesis Universita di Genova, 2002. Produced in cooperation with Fraunhofer ISE, Freiburg
- [4] siehe z.B. webpage <http://www.iea-shc-task25.org/>
- [5] Hans-Martin Henning, Heino Wolkenhauer, Uwe Franzke: Auslegung von Anlagen der solaren Klimatisierung. HLH Bd. 53 (2002), Nr. 1, S. 42-49
- [6] Solar Heat for Industrial Processes. POSHIP-Broschüre. European Commission, DG TREN, veröffentlicht 2002 (<http://www.aiguasol.com/poship.htm>)
- [7] Hans-Martin Henning, Uwe Franzke, Peter Lamp: Solare Gebäudeklimatisierung - Ziele, Inhalte und erste Ergebnisse der neuen Task 25 der Internationalen Energie-Agentur (IEA). 10. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 2000
- [8] Heino Wolkenhauer, Jan Albers: Systemlösungen und Regelungskonzepte von solarunterstützten Klimatisierungssystemen. HLH Bd. 52 (2001) Nr. 12. S. 41ff
- [9] siehe z.B. webpage <http://www.solarthermie2000.de/projekt2/projekt2.htm>
- [10] Hans-Martin Henning, Carsten Hindenburg: Economic study of solar assisted cooling systems. BMBF-Abschlussbericht TOS1-HMH-9905-E01

## **Aktuelle Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Lüftungs- und Klimatechnik**

**Dipl.-Ing. Claus Händel, Technischer Referent – Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.**

### **Energieeinsparung und Reduzierung der Instandhaltungskosten bei Raumluftechnischen Geräten**

Die Realisierung energieökonomischer Konzepte nimmt heute eine zentrale Aufgabe im Bausehen ein. Entscheidend ist dabei, dass bei der Auswahl technischer, energieverbrauchender Systeme das Augenmerk nicht nur die Investitions-, sondern mit mindestens derselben Intensität auch auf die Betriebskosten gelegt wird. Diese Anforderung gilt in hohem Maße auch für klima- und lüftungstechnische Systeme und, ganz besonders, für das Raumluftechnische (RLT-)Gerät bzw. das Klima-Zentralgerät. Sie bilden das Herzstück der Klima- und Lüftungsanlagen und bestimmen neben der sorgfältigen Planung und Ausführung der Gesamtanlage wesentlich den Energieverbrauch und die Wartungs- und Instandsetzungskosten. Deshalb lohnt es sich, bei der Auswahl von Gerät und Komponenten ein besonderes Augenmerk auch auf die Details und die einzelnen Bauteile zu richten. Dies beginnt beispielsweise schon beim Schalldämpfer: Dieser begrenzt die vom Ventilator emittierten Geräusche auf die vom Nutzer und der Umgebung festgelegten Grenzwerte. Neben den klassischen Kulissen aus Mineralwolle gibt es auch faserfreie Werkstoffe und Konstruktionen. In bestimmten Einsatzfällen sind aktive Systeme, die quasi einen „Gegenschall“ produzieren, wirksame Komponenten. Viele Detaillösungen führen so zu deutlich niedrigeren Druckverlusten als in der Vergangenheit üblich. Und auch die Auswahl der Luftfilter hat einen Einfluss auf die Energieeffizienz und die Instandhaltungskosten. Die Luftfilter haben die Aufgabe, den in der Umgebungsluft enthaltenen Staub und organische Materialien herauszufiltern und erfüllen somit eine wesentliche Aufgabe bei den Raumluftechnischen Anlagen. Neben dem Schutz der Anlage vor Verschmutzung, fühlt sich jeder Pollenallergiker in Gebäuden mit gut gefilterter Luft deutlich besser. Durch die ständige Aufnahme von Partikeln steigt der Druckverlust der Filterstufen mit der Zeit an, so dass bei Erreichung des zulässigen Enddruckes oder der aus hygienischen Gründen erlaubten Nutzungszeit, die Filter getauscht werden müssen. Neuartige Filtermedien erreichen nahezu die doppelte Standzeit bis zum Erreichen des zulässigen Enddruckes, beziehungsweise haben am Ende der zulässigen Standzeit nur etwa den halben Druckverlust. Das spart Geld für den Ventilatorstrom und Wartungskosten für den Filtertausch.

Eine effiziente Wärmerückgewinnung gehört heute zum Standard von Klima- und Lüftungsanlagen. Hierbei tritt im kommerziellen Bereich zunehmend die Feuchterückgewinnung in den Vordergrund, denn in vielen Gebäuden klagen die Nutzer über trockene Raumlufte und in Verbindung mit einer Feuchterückgewinnung bleiben die zusätzlichen Kosten für die Befeuchtung über Dampf oder Luftwäscher moderat. Luftwäscher übernehmen neben der Befeuchtungsfunktion eine zusätzliche Luftreinigungswirkung insbesondere für wasserlösliche Gase wie Schwefeldioxid. Neuartige Bauarten wie Hochdruckbefeuchter oder Kontaktbefeuchter arbeiten ausschließlich mit Frischwasser und haben hygienische Vorteile. Ebenso wird der klassische Luftwäscher durch Zusatzausstattungen wie UV-Desinfektion, konstruktive Details und regelungstechnische Parameter zum leistungsfähigen und hygienisch problemlosen Befeuchter. Wichtig für die Instandhaltung sind durchdachte Lösungen, um die Wärmeaustauscher für Heizen und Kühlen leicht auszubauen und zu reinigen. Besonders die Luftkühler sind als Feuchtbereich

konstruktiv den hygienischen Forderungen angepasst worden. Zunehmende Bedeutung erhalten direktbefeuerte Systeme. In vielen Fällen sind sie als Dachzentralen wirtschaftlich besonders attraktiv. Auch Systeme mit integrierter Kältemaschine erleichtern in vielen Fällen die Installation und die Abwicklung von Bauprojekten. Hier erhält der Bauherr ein steckerfertiges Gerät, bei dem auch die Regelung schon integriert ist und nur noch Strom, Gas und Luft angeschlossen werden müssen. Das zentrale Bauteil des RLT-Gerätes ist der Ventilator, wobei sich das freilaufende Rad im mittleren Druckbereich als energiesparende Komponente durchgesetzt hat. Im kleineren Leistungsbereich bis ca. 5 bis 7 kW sind durch elektronisch kommutierte Motoren Energieeinsparungen um etwa 20 Prozent möglich geworden.

Allgemein werden RLT-Geräte, insbesondere dann, wenn mehrere oder komplexere thermodynamische Funktionen ausgeführt werden, komplett mit der dazugehörigen Regelung ausgestattet und über standardisierte und offene Schnittstellen mit der Gebäudeleittechnik verbunden. Dies gibt Sicherheit für ein funktionierendes Bauteil. Manchmal entstehen aber gerade an diesen Schnittstellen bei nicht klar definierten Funktionen und Parametern Probleme zum Beispiel mit dem übergeordneten Energiemanagement. Die in diesem Jahr neu im Entwurf erschienene VDI Richtlinie 3803 „Raumluftechnische Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen“ gibt wichtige Hinweise auf die Gesamtheit dieser Thematik und Details für die einzelnen Komponenten. Begrüßenswert ist, dass die beiden Richtlinien VDI 3803 und VDI 6022 Teile 1 und 3 (Lufthygiene) in wesentlichen Teilen abgestimmt sind und hierdurch keine widersprüchlichen Aussagen entstehen.

## **Hygiene in der Raumluftechnik - Technische Lösungen, Betrieb und Instandhaltung**

Mit der VDI 6022 (Blatt 1 für Komfort und Blatt 3 für Produktionsbetriebe) steht der Öffentlichkeit erstmals eine umfassende Richtlinie zur Verfügung, in der die häufigsten Fragestellungen zur hygienischen Planung, Installation, dem Betrieb und der Instandhaltung in raumluftechnischen Anlagen behandelt werden. Diese Richtlinien haben zwar keine unmittelbare rechtliche Wirkung, dokumentieren aber den Stand der Technik und werden bei rechtlichen Auseinandersetzungen in vielen Fällen rechtlich relevant. Einige Aufsichtsämter haben diese Richtlinie schon zur Grundlage für ihre Entscheidungen gemacht.

Während die hygienischen Forderungen in der Planung und der Installation erst in ein bis zwei Jahren Ergebnisse zeigen können, ist eine Wartung und Instandhaltung unter hygienischen Aspekten in den meisten Fällen schon ab sofort möglich. Jedoch stellt sich für viele Betreiber einer raumluftechnischen Anlage durch zunehmenden Kostendruck die Frage, ob zusätzliche hygienische Kontrollen bezahlbar sind, ob sie sich "lohnen". Diese Frage ist eindeutig mit „ja“ zu beantworten, denn Nutzer, die gesund sind und sich wohl fühlen, bringen eine deutlich bessere Arbeitsleistung und verursachen für Betrieb und Sozialpartner weniger Kosten.

Die Arbeitskosten in einem Gebäude liegen um Größenordnungen höher als die Kosten für einen hygienischen Betrieb der RLT-Anlage. Ein Beispiel macht diesen Zusammenhang deutlich (Bild 1). Wenn sich die Mitarbeiter durchschnittlich nur 3 Minuten pro Arbeitstag wegen unzulänglichen Raumklimas oder mangelhafter Lufthygiene beschweren, ärgern, diskutieren oder krank sind, dann entstehen durch diesen Arbeitsausfall Kosten von ca. 30 EUR/m<sup>2</sup> pro Jahr. Nur ein Teil davon in hygieneverbessernde Maßnahmen investiert, fördert die Arbeitsleistung und reduziert die Ausfallzeiten. Den Komfort und die Befindlichkeit der Nutzer und damit auch die Zufriedenheit der Mitarbeiter zu erhöhen, muss die Aufgabe der Raumluftechnik sein.

Die Bewahrung eines guten technischen Zustandes der RLT-Anlage ist neben der richtigen Auslegung und Installation der RLT-Anlage eine wesentliche Bedingung für einen hygienischen Betrieb. Wichtig ist dabei die regelmäßige Durchführung von Inspektionen und Wartungen. Die Leistungen von Inspektion und Wartung sind für den Großteil der hygienerelevanten Bauteile spezifiziert. Nur wenige Ergänzungen sind für eine hygienische Wartung gemäß VDI 6022 notwendig.

Eine gut gewartete RLT-Anlage stellt sicher, dass alle technischen Komponenten der Anlage bestimmungsgemäß funktionieren und die vom Nutzer geforderten Raumluftkonditionen (Temperatur, Feuchte und Raumluftgeschwindigkeit) dauerhaft eingehalten werden. Die RLT-Anlage stellt darüber hinaus sicher, dass der für die Personen notwendige Außenluftwechsel, besonders bei Gebäuden ohne individuelle Lüftungsmöglichkeit über die Fenster, eingehalten wird.

Besonderes Augenmerk sollte auch auf die Hydraulik der RLT-Anlage gerichtet werden. In stark verzweigten Kanalnetzen ist der statische Anlagendruck oft sehr hoch. Grund ist meist ein in der Planungs- und Installationsphase mangelhaft berechnetes Kanalnetz mit vielen entbehrlichen Drosselstellen. Dies kann zu unnötigen akustischen Belastungen für die Nutzer und damit zu gesundheitlichen Problemen führen. Hier bedeutet eine hygienische Betriebsweise auch direkt eine wirtschaftliche Betriebsweise. Von großer Bedeutung ist die Sauberkeit aller luftführenden Anlagenteile.

Alle diese Maßnahmen sind notwendige Bedingungen für einen hygienischen Betrieb. Jedoch findet man vereinzelt selbst in sehr gut gewarteten Anlagen Bedingungen vor, die einer hygienischen Prüfung nicht standhalten. Bei den periodischen Wartungsarbeiten muss das Personal deshalb auch für Fragen der Hygiene sensibilisiert und speziell dafür ausgebildet werden. Dies gilt ganz besonders für die Bereiche, in denen sich sehr leicht Mikroorganismen ansiedeln können; zum Beispiel für Anlagenteile mit dauerhafter Feuchtigkeit wie Befeuchtungseinrichtungen, Kühler und Rückkühlwerke und für Bereiche, in denen sich organisches Material ansammeln kann, wie Filter oder Lamellen von Wärmeaustauschern und defekte Schalldämpferkulissen.

### **Hygienische Maßnahmen in der Wartung und im Betrieb**

Die Wartungstätigkeiten dürfen sich nicht nur auf die Hauptkomponenten der raumlufttechnischen Anlage beschränken sondern müssen alle hygienerelevanten Komponenten mit einschließen.

Insbesondere sind dies:

- Außen und Fortluftdurchlässe
- Kammerzentralen / Gerätegehäuse
- Luftfilter
- Luftbefeuchter
- Wärmeaustauscher
- Ventilator
- Wärmerückgewinnung
- Luftleitungen / Schalldämpfer
- Luftdurchlässe
- Kühlturm
- Endgeräte
- Kühldecken
- Hygieneinspektion

Wie in vorangegangenen Abschnitten dargestellt, ist der Großteil der für einen hygienischen Betrieb notwendigen Tätigkeiten im Rahmen der periodischen Wartungsintervalle abzuarbeiten. Neu hinzu kommt die Hygieneinspektion. Dabei sollen durch Fachpersonal folgende Tätigkeiten ausgeführt werden (Tabelle 1):

- Begehung der RLT-Zentrale und der von ihr versorgten Räume unter Hinzuziehung des zuständigen Betriebs- und/oder Amtsarztes sowie gegebenenfalls der Personalvertretung hinsichtlich offensichtlich auftretender Mängel
- Messung physikalischer Klimaparameter (Temperatur, Feuchte, Luftgeschwindigkeit) an repräsentativen Stellen der RLT-Anlage und in den Räumen
- Kontrolle des Hygienezustandes einschließlich spezifischer Abklatschproben an Filter, Be- feuchter und Wärmetauscher
- Kontrolle des Gesamtkeimgehaltes an Legionellen.
- Schriftliche Mitteilung des Untersuchungsergebnisses an den Betreiber sowie Empfeh- lungen von notwendigen und wünschenswerten Sanierungsmaßnahmen bei Handlungs- bedarf.

Die Hygieneinspektion ist durchzuführen:

- bei Anlagen mit Luftbefeuchtung im Abstand von zwei Jahren.
- bei Anlagen ohne Luftbefeuchtung im Abstand von drei Jahren.

### **Qualifikation des Personals**

Das Personal muss für die notwendigen Betriebs- und Instandhaltungsmaßnahmen geeignete Qualifikation nachweisen. Unabhängig von der Art der Qualifikation ist eine zusätzliche Hygie- neschulung notwendig.

Die Vermittlung der Kenntnisse ist durch eine in der Technik und der Hygiene von RLT-Anlagen fachkundige Person in Form einer theoretischen und praktischen Schulung durchzuführen. Die Schulungen können von Personen durchgeführt werden, die eine entsprechende Berufsausbil- dung aufweisen und eine mindestens zweijährige Erfahrung auf dem Gebiet der Klimatechnik bzw. Hygiene haben. Schulungsinhalte sind auf der folgenden Tabelle angegeben.

Der Betreiber muss jederzeit in der Lage sein, die Qualifikation seines Betreiberpersonals nach- zuweisen, gegebenenfalls ist ein Fachunternehmen mit dem Betreiben zu beauftragen.

Der einwandfreie hygienische Betrieb einer gut gewarteten raumluftechnischen Anlage ist nur mit einem geringfügig höheren Aufwand verbunden. Bei der Hygienekontrolle ist immer auch der Nutzer mit einzubeziehen. Möglichen Beschwerden werden nicht immer nur auf hygieni- sche Zustände in der RLT-Anlage zurückzuführen sein weil Architektur, Bauphysik und Beleuch- tung ebenfalls wichtige Einflussgrößen sind, deren Mängel die Raumluftechnik nicht immer korrigieren kann.

Trotzdem wird die Einhaltung der hygienischen Forderungen der VDI 6022 die Zufriedenheit und die Gesundheit der Nutzer verbessern, und Investitionen sind sicher zum beiderseitigen Vorteil von Nutzer und Betreiber.

Tab. 1: Schwerpunkte Hygienekontrolle in der Klimazentrale

VDI 6022 Checkliste	Tätigkeit
3.4	Filter - Kontrolle des Hygienezustandes
4.1.11	Luftbefeuchter - Kontrolle des Hygienezustandes
4.2.3	Tropfenabscheider - Kontrolle des Hygienezustandes
5.5	Wärmeaustauscher - Kontrolle des Hygienezustandes
7.6	Wärmerückgewinnung - Kontrolle des Hygienezustandes
8.4	Luftleitungen und Schalldämpfer - Kontrolle des Hygienezustandes in der Luftleitung an repräsentativen Stellen
11.5	Entfeuchter - Kontrolle des Hygienezustandes

Tab. 2: Instandhaltung, Maßnahmen und Personalqualifikation

Instandhaltung		
Inspektion	Wartung	Instandsetzung
Ziele der Maßnahmen (Definition nach DIN 31 051)		
Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes	Bewahrung des Soll-Zustandes	Wiederherstellung des Soll-Zustandes
Einzelmaßnahmen		
Prüfen Messen Beurteilen	Prüfen Nachstellen Auswechseln Ergänzen Schmieren Konservieren Reinigen	Ausbessern Austauschen
Ausführung durch		
Techniker/in Ingenieur/in	eingewiesenes Personal (begrenzt einsetzbar) Fachmonteur Techniker	Fachmonteur/in Techniker/in
Erforderliche Schulung zur Hygiene		
Kategorie A	Kategorie B	Kategorie B

Tab. 3: Schulungsinhalte

<b>Kategorie A:</b> Schulung für anspruchsvolle Hygienetätigkeiten	<b>Kategorie B:</b> Schulung für einfache Hygienetätigkeiten
Grundlagen der Hygiene Hygienische Bedeutung verschiedener Luftbehandlungsverfahren Physikalische und chemische Messverfahren sowie hygienisch-mikrobiologische Untersuchungsverfahren Problematik des Sick-Building-Syndroms (SBS), Beschwerdesymptome und mögliche Ursachen Wichtige technische Weiterentwicklungen und die hiermit verbundenen praktischen Möglichkeiten Hygienische Vorschriften und technische Regeln für den Betrieb von RLT-Anlagen	Notwendigkeit und Bedeutung der Hygiene beim Betrieb von RLT-Anlagen Hygienische Probleme der einzelnen luftführenden Aggregate in RLT-Anlagen Wartung von RLT-Anlagen, Einflussgrößen für die Festlegung der Wartungsintervalle Einfache Messverfahren zur Überwachung von RLT-Anlagen Das Verhalten beim Auftreten von umweltgefährdenden Stoffen und deren Entsorgung Persönliche Schutzmaßnahmen in hygienischer Hinsicht bei Bedienungs- und Instandhaltungsmaßnahmen Maßgebende Vorschriften ( insbesondere die Unfallverhütungsvorschriften) und das technische Regelwerk

### Arbeitskosten wegen Zeitausfall durch unzufriedene Mitarbeiter

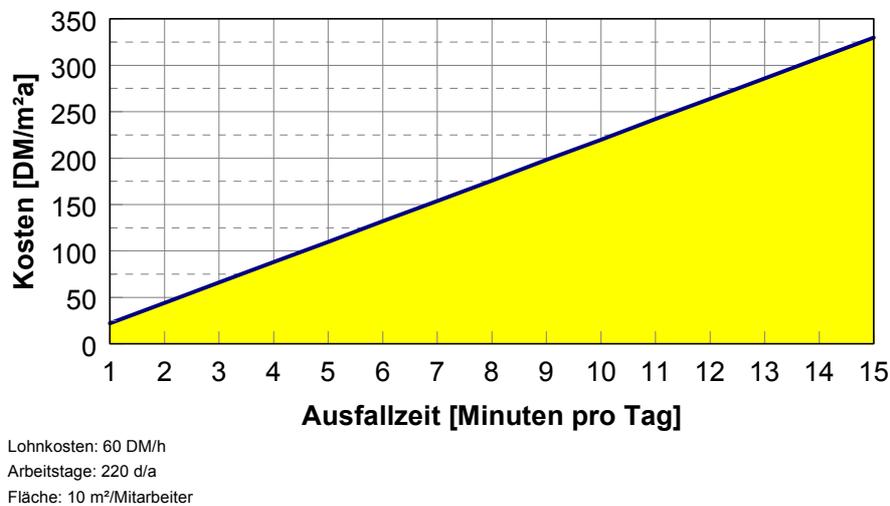


Abb. 1: Arbeitskosten durch unzufriedene Mitarbeiter

Aktuelle Informationen rund um die Lüftungstechnik: [www.rlt-info.de](http://www.rlt-info.de)

### Folienpräsentation

#### Übersicht:

1. Energieeinsparverordnung EnEV 2002
2. VDI 6022 Teil 3 – Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen in Produktionsbetrieben
3. VDI 3803 Raumluftechnische Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen
4. Luftfilter
5. Wärmerückgewinnung
6. Befeuchter
7. Ventilatoren
8. Integrierte Systeme



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 2204.02 R LT-2

### 1. Die Relevanz der EnEV für Raumluftechnische Anlagen:

- RLT-Anlagen mit den Funktionen Heizen und WRG sind enthalten.
- RLT-Anlagen mit der Funktion Kühlen sollen entsprechend dem Stand der Technik mit geringem Energieverbrauch ausgeführt werden. Keine Anrechnung der Wärmerückgewinnung.
- Keine Aussagen über Be- und Entfeuchtung.

#### Durch Verweis auf DIN 4108-6 und DIN 4701-10 wird detailliert:

- Beim vereinfachten Verfahren zum öffentlich rechtlichen Nachweis wird mit einem 0,6 oder 0,7-fachen Luftwechsel gerechnet und Anlagen zur Wärmerückgewinnung können nicht berücksichtigt werden.
- Höhere Luftwechselraten könnten hinsichtlich Wärme berechnet werden (Wohngebäude max. 1/h), jedoch ist in den Zielwerten der EnEV ein ca. 0,6-facher Luftwechsel berücksichtigt.
- Sinngemäß ist aus den Kennwerten und den Normen zu entnehmen, dass Wohnungslüftungsgeräte betrachtet werden.
- Lüftungsanlagen mit höherem Luftwechsel wie in Büros, Gaststätten, Verkaufsräumen usw. werden nicht betrachtet.



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 2204.02 R LT-3

### Nachweis für Gebäude mit RLT-Anlagen:

- Berücksichtigt werden:
  - Wärmedämmung
  - Gebäudedichtigkeit
  - Heizungsanlage
  - Trinkwarmwasser
  - Natürliche Lüftung mit 0,6- bzw. 0,7-fachem Luftwechsel
- Wenn die Grenzwerte des Primärenergieverbrauches eingehalten werden, ist der Nachweis erbracht.
- Der zusätzliche Nutzen und der Energieverbrauch durch erhöhten Luftwechsel, Kühlung, Be- und Entfeuchtung und Filterung werden nicht berücksichtigt.



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 2204.02 R LT-4

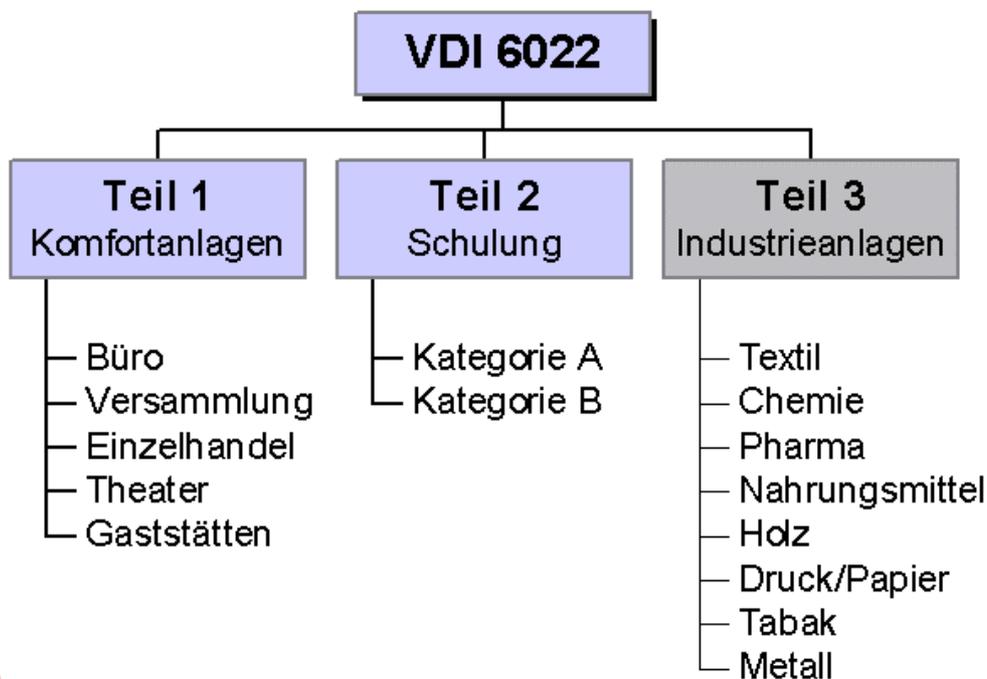
## Nachweis für Nichtwohngebäude mit Lüftungs- und Klimaanlage:

### Kein Differenzierungspotential bei:

- Geräten und Komponenten
- Planung
- Ausführung
- Wartung
  
- Auch keine gegenseitige Verrechnung mit Wärmedämmmaßnahmen oder der Heizungstechnik
  
- Öffnung der EnEV durch „Stand der Technik“ bei Kühlfunktion für zukünftige Normen.
- Be- und Entfeuchtung werden in keiner Weise bearbeitet.



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R/LT-6



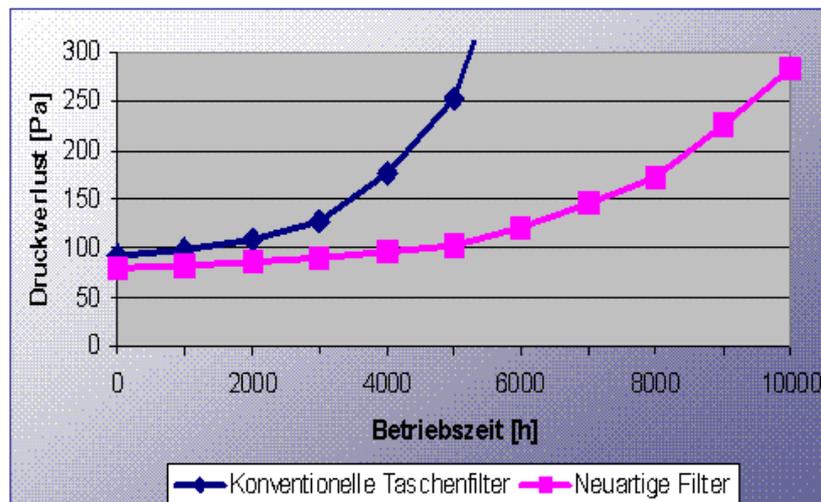
Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R/LT-6

#### 4. Luftfilter:

- **Wahl des geeigneten Luftfilters**
- Bei der Wahl des geeigneten Luftfilters werden zwei primäre Anforderungen gestellt:
  - Auswahl der geeigneten Filterklasse
  - Geringer Energieverbrauch
- **Auswahl der geeigneten Filterklasse**
- Die Auswahl der geeigneten Filterklasse für den entsprechenden Einsatz ist abhängig von dem zu filternden Medium. Ausgehend von der Außenluftansaugung zur Belüftung von Aufenthaltsbereichen von Menschen, wird die Auswahl durch die VDI 6022 stark erleichtert, da hier die Forderung nach einer Filterklasse mindestens F7 gestellt wird. Der Geltungsbereich dieser Verordnung ist zur Zeit im Blatt 1 auf Büro- und Versammlungsräume beschränkt, wird aber in Kürze durch Blatt 3 (Entwurf als Gründruck erschienen) auch auf Produktionsbetriebe ausgeweitet werden.



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R LT-7



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R LT-8

## 5. Wärmerückgewinnung:

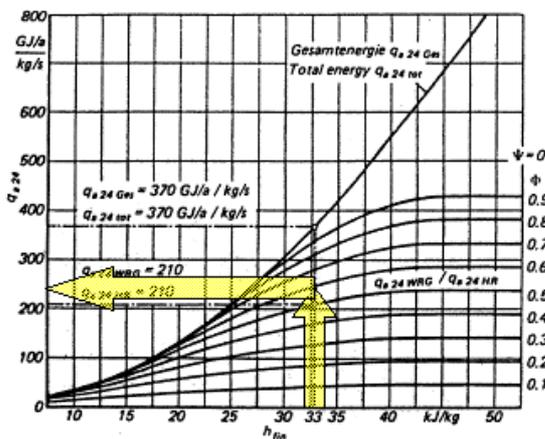
### Richtwerte für die Eigenschaften der Wärmerückgewinnung

Die minimalen trockenen Rückwärmzahlen (bezogen auf das Massenstromverhältnis 1:1 und die maximalen Druckverluste richten sich nach **VDI 3803** nach der jährlichen Laufzeit der Anlage und dem maximal erforderlichen Außenluftanteil im Winterbetrieb.

Außenluftvolumenstrom	Laufzeit bis 2.000 h/Jahr	2.000-4.000 h/Jahr	4.000-6.000 h/Jahr	ab 6.000 h/Jahr
2.000 - 5.000 [m <sup>3</sup> /h] max. $\Delta p$ [Pa]		0,40 175	0,43 200	0,45 225
5.000 - 10.000 [m <sup>3</sup> /h] max. $\Delta p$ [Pa]	0,40 150	0,43 200	0,45 225	0,50 250
10.000 - 25.000 [m <sup>3</sup> /h] max. $\Delta p$ [Pa]	0,43 175	0,47 225	0,50 250	0,55 275
25.000 - 50.000 [m <sup>3</sup> /h] max. $\Delta p$ [Pa]	0,50 200	0,53 250	0,58 275	0,63 300
ab 50.000 [m <sup>3</sup> /h] max. $\Delta p$ [Pa]	0,55 225	0,58 275	0,63 300	0,68 350



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22D4.02 R LT-9



### Berechnung nach VDI 2071 - Kurzverfahren

Klimazone: 3 (Stuttgart)  
Betriebszeiten: 7:00 - 18:00  
Grenzenthalpie: 33 kJ/kg  
Fortlufttemperatur: 24 °C

Plattenwärmetauscher  
Rückwärmzahl:  $\phi=0,6$   $\psi=0$

aus Diagramm VDI 2071 spez. Jahres-  
wärmerückgewinnung 240 GJ/a (kg/s)

Faktor Klimazone  $f_{z_0} = 1,1$   
Faktor Betriebszeit  $f = 0,88$   
Faktor Betriebszeit 11 h/d  $f = 0,46$   
Faktor Betriebszeit 249 d/a  $f = 0,68$

spez. WRG 73 GJ/a (kg/s)

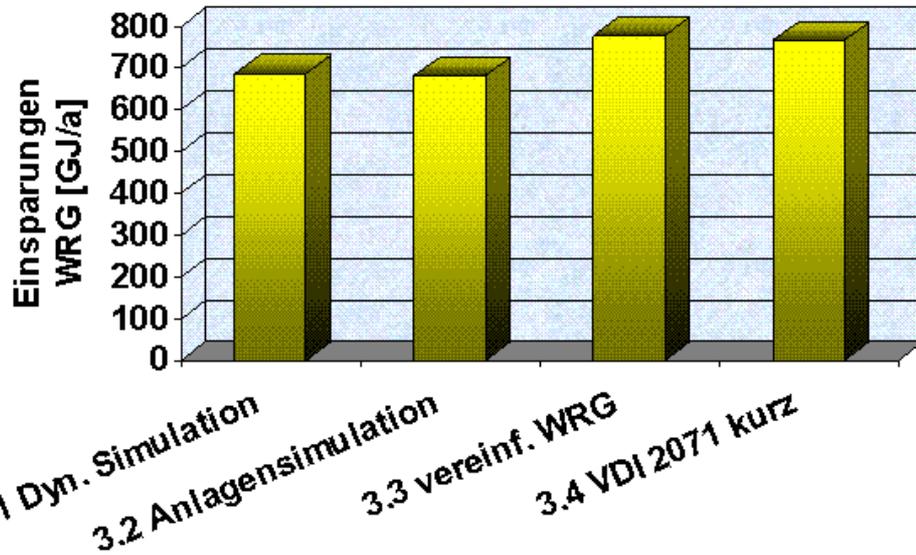
Beispiel Anlage 31.680 m<sup>3</sup>/h

Wärmebedarf ohne WRG  
nach VDI 2067 412.000 kWh/a  
davon durch WRG 213.000 kWh/a  
bei 4.800 m<sup>2</sup> Nutzfläche 159 MJ/a  
Einsparung 52 %



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22D4.02 R LT-10

## Vergleich der Rechenergebnisse



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R LT-11

Klimazone:	3 (Stuttgart)
Betriebszeiten:	7:00 - 18:00 5 Tage/Woche
Plattenwärmetauscher Rückwärmzahl:	$\phi=0,6$ $\psi=0$
Beispiel Anlage	31.680 m <sup>3</sup> /h

## 6. VDI 6022 am Beispiel Luftbefeuchtung:

- Materialie,n die dauerhaft korrosionsbeständig sind und die mikrobiologische Besiedelung nicht fördern.
- Leichte Zugänglichkeit und Reinigbarkeit.
- Abschlämmvorrichtung, Schauöffnung mit Verdunkelungsmöglichkeit, vollständig entleerbar.
- Speisewasser mind. Trinkwasserqualität und max 7° dH.
- UV-Anlagen müssen selbstüberwachend sein.
- Bei Bioziden muss die gesundheitliche Unbedenklichkeit nachgewiesen sein.
- Tropfenabscheider demontierbar und reinigbar.
- Bei Dampfluftbefeuchtern Kondensatbildung vermeiden.



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R LT-12

**Bauarten von Luftbefeuchtern:**

- Umlauf-Sprühbefeuchter (Luftwäscher)
- Kontaktbefeuchter (Rieselbefeuchter)
- Hochdruckbefeuchter (Kaldampfgeneratoren)
- Hybridbefeuchter
- Ultraschallbefeuchter
- Zweistoffbefeuchter
- Dampfbefeuchter von zentralen Dampfanlagen
- Dampfumformer
- Dezentrale Dampfbefeuchtung



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R/LT-13

**5.2.4 Befeuchter - Medium Wasser**

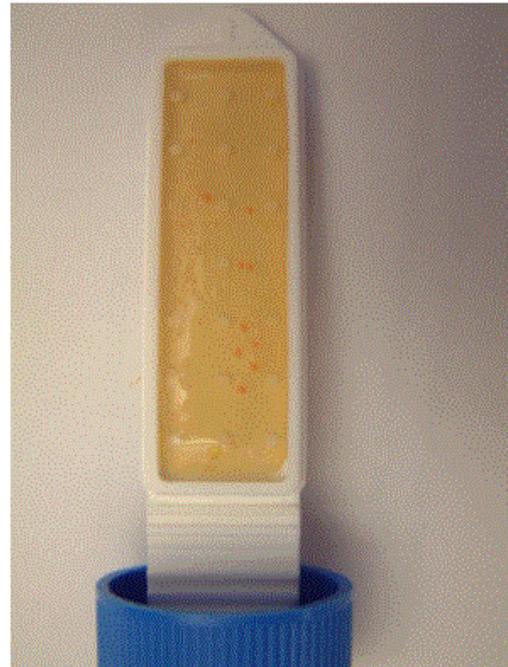
- Keime, Legionellen
- Geruch
- Feuchttrocken

Nr.	Nr.	Nr.	Tätigkeiten nach VDMA 24 186	periodisch	nach Bedarf	Periode VDI 6022
4	1	1	Aufveisensitzung, Beschädigung und Korrosionsprüfung	x		1 Monat
4	1	2	Wasserlecksitzung und -wertprüfung auf Funktionprüfung	x		1 Monat
4	1	3	Wasserstandsprüfung	x		1 Monat
4	1	4	Reglereinrichtung für Wasserstandsautomatik		x	
4	1	5	Abschleimvorrichtung auf Funktionprüfung	x		6 Monate
4	1	6	Abschleimvorrichtung wasserlecks		x	
4	1	7	Ab- und Überlauf auf Funktionprüfung	x		1 Monat
4	1	8	Schleimfängerreinigung	x		6 Monate
4	1	9	Schleimfängerreinigung		x	
4	1	10	Tropfenabscheiderprüfung nach Nr. 4.2			
4	1	11	Umwälzpumpe siehe Nr. 8.1			
4	1	12	Reinigung		x	bei Bedarf
<b>Keimzahlmessung</b>						<b>14täglich</b>

- ✗ Hygieneanforderungen werden durch eine konventionelle, sachgemäße Wartung im allgemeinen nicht vollständig erfüllt.
- ✗ Kontrollintervalle werden festgelegt.
- ✗ Keimzahlmessungen sind periodisch durchzuführen. Keimzahl < 1.000 KBE/ml; Legionellen < 1/ml
- ✗ Bei Abschaltung der Anlage erst Wascher außer Betrieb setzen - Trockenfahren.
- ✗ Wascherwanne nach 48h ohne Befeuchtungsanforderungen entleeren.
- ✗ Zugabe von Biociden, UV-Desinfektion.
- ✗ Wirksamkeit der Tropfenabscheider.
- ☞ Befeuchtungssysteme ohne Umlaufwasser haben Vorteile. Zum Beispiel Kaldampfgeneratoren oder Hochdruckwascher.



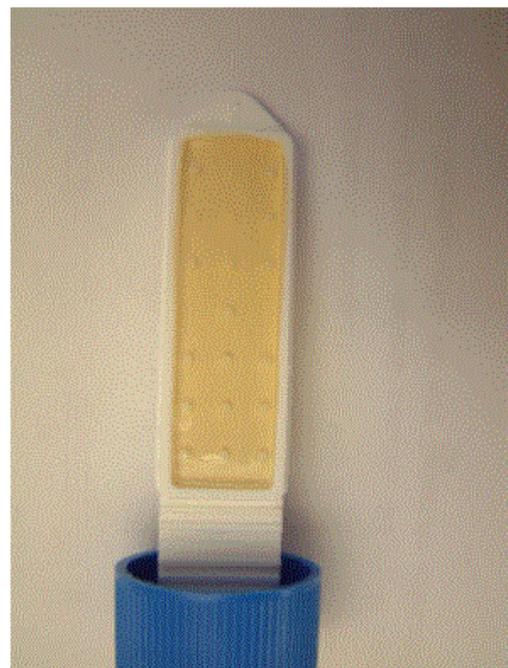
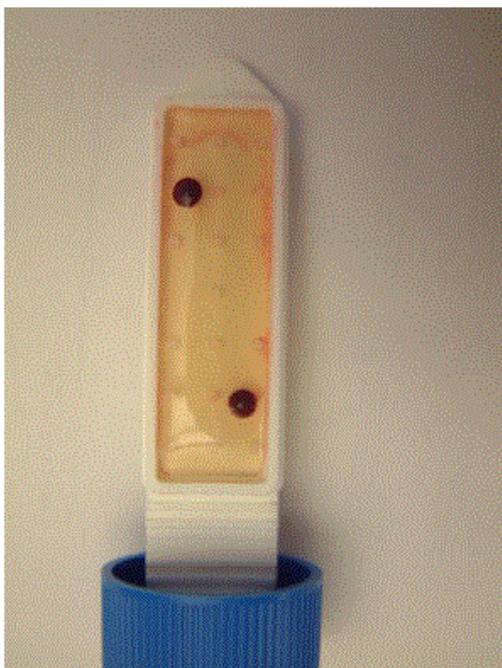
Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R/LT-14



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 2204.02 R LT-15

**14-tägige Keimzahlmessung mit Dip.Slide Test:**

Gesamtkeimzahl über  $10^4$  KBE/ml  
unmittelbarer Handlungsbedarf zur Sicherstellung der Hygiene



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 2204.02 R LT-16

**14-tägige Keimzahlmessung mit Dip.Slide Test:**

Gesamtkeimzahl unter  $10^3$  KBE/ml  
Hygienischer Betrieb der Befeuchtung ist gewährleistet.

# Hygieneinspektion

Bei Anlagen mit Luftbefeuchtung 2 Jahre  
Bei Anlagen ohne Luftbefeuchtung 3 Jahre

- ✗ Begehung mit zuständigem Betriebs- und/oder Amtsarzt.
- ✗ Messung physikalischer Klimaparameter.
- ✗ Hygieneproben.
- ✗ Legionellenproben.
- ✗ Schriftliches Untersuchungsergebnis.



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 2204.02 R LT-17

## Schwerpunkte der Hygieneinspektion

- ✗ Filter
- ✗ Luftbefeuchter
- ✗ Tropfenabscheider
- ✗ Wärmeaustauscher
- ✗ Wärmerückgewinnung
- ✗ Luftleitungen
- ✗ Entfeuchter



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 2204.02 R LT-18

## 7. Ventilatoren:

**Maximale elektrische Leistungsaufnahme zur Luftförderung in raumluftechnischen Anlagen - VDI 3803. Bei kombinierten Zu- / Abluftgeräten gelten die Grenzwerte für jeden Teilvolumenstrom.**

Luftvolumenstrom	Geräteklasse 1 (ohne thermodynamische Luft-Behandlung) kW/(m <sup>3</sup> /s)	Geräteklasse 2 (mit Lufterwärmung) kW/(m <sup>3</sup> /s)	Geräteklasse 3 (mit weiteren Funktionen) kW/(m <sup>3</sup> /s)
2.000 - 5.000 [m <sup>3</sup> /h]	<b>2,7</b>	<b>3,3</b>	<b>3,8</b>
5.000 - 10.000 [m <sup>3</sup> /h]	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>	<b>3,6</b>
10.000 - 25.000 [m <sup>3</sup> /h]	<b>2,3</b>	<b>2,7</b>	<b>3,3</b>
25.000 - 50.000 [m <sup>3</sup> /h]	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,9</b>
ab 50.000 [m <sup>3</sup> /h]	<b>1,9</b>	<b>2,3</b>	<b>2,7</b>



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R LT-19

## Ventilatoren:

### Beispiel EC-Antriebe:

EC-Antriebe bestehen aus elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren (EC-Motoren) und darauf abgestimmten EC-Controllern. Der EC-Motor ist ein kollektor- und bürstenloser permanentmagneterregter Gleichstrommotor. Der EC-Controller kommutiert die Motorwicklungen elektronisch und damit verschleißfrei. Darüber hinaus überwacht der EC-Controller den Motor und stellt Schnittstellen für eine einfache Steuerung des Antriebes zur Verfügung. Die Antriebe sind auf kompakte Bauweise und hohen Wirkungsgrad in einem breiten Drehzahl-Drehmomentbereich hin optimiert.

- einfache Inbetriebnahme
- geräuscharm
- großer Drehzahlstellbereich
- wartungsfrei
- hoher Wirkungsgrad auch im Teillastbereich



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22/D 4.02 R LT-20

## 8. Integrierte Geräte:

Raumluftechnische Komplettgeräte (oder auch sog. Integralgeräte) bieten den Vorteil, dass alles aus einer Hand kommt; d.h. Kälte-, MSR-, Wärme-, Befeuchtungs-, Sorptionstechnik, etc.

Die Komponenten sind alle optimal aufeinander abgestimmt und werden weitgehend anschlussfertig auf die Baustelle geliefert.



**Komplettgerät**

**Dachzentrale mit integrierter Kältemaschine**

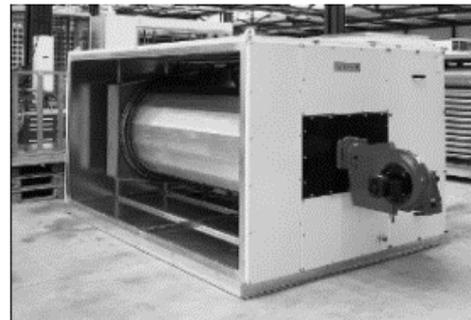
Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22D4.02 R LT-21

## Direktbefeuerung:

Bei der Direktbefeuerung wird die benötigte Wärme aus den Energieträgern Öl oder Gas wirtschaftlich und autark direkt an der Bedarfsstelle im RLT-Gerät erzeugt. Dadurch treten keine Stillstands- oder Verteilverluste auf, wodurch das System wesentlich effizienter arbeitet als z.B. Warmwassererhitzer.

- Brennkammer mit feuerungstechnischen Wirkungsgraden von mindestens 90 % nach BImSchV
- Kondensatbrennkammer mit feuerungstechnischen Wirkungsgraden über 100 % (bezogen auf  $H_u$ ) aufgrund der Nutzung der Latentwärme durch Taupunktunterschreitung der Rauchgase
- Gas-Flächenbrenner ohne Wärmeaustauscher und ohne Abgasverluste.

**Direktbefeuetes Erhitzerteil**



Fachinstitut  
Gebäude-Klima e.V.  
Hd 22D4.02 R LT-22

## Referenten

Bayer. Landesamt für Umweltschutz  
86177 Augsburg

Dr. Gerold Hensler

Tel.: (0821) 90 71 – 51 94  
Fax: (0821) 90 71 – 55 60  
E-mail: [gerold.hensler@lfu.bayern.de](mailto:gerold.hensler@lfu.bayern.de)

Stefan Huber

Tel.: (0821) 90 71 – 50 66  
Fax: (0821) 90 71 – 50 09  
E-mail: [stefan.huber@lfu.bayern.de](mailto:stefan.huber@lfu.bayern.de)

Bettina Schöpe

Tel.: (0821) 90 71 – 5240  
Fax: (0821) 90 71 – 55 60  
E-mail: [bettina.schoepe@lfu.bayern.de](mailto:bettina.schoepe@lfu.bayern.de)

Bayerisches Staatsministerium für Landes-  
entwicklung und Umweltfragen  
Postfach 81 01 40  
81901 München

Dr. Rainer Meixlsperger

Tel.: (089) 92 14 – 33 86  
Fax: (080) 92 14 – 24 51  
E-mail: [rainer.meixlsperger@stmlu.bayern.de](mailto:rainer.meixlsperger@stmlu.bayern.de)

Ingenieurbüro für technische Ausrüstung  
und Energietechnik  
Dipl.-Ing. Gerhard Duschl  
Äußere Münchener Straße 130  
83026 Rosenheim

Dipl.-Ing. (FH) Manfred Eschbaumer

Tel.: (08031) 243-230  
Fax: (08031) 243-1-230  
E-mail: [m-eschbaumer@duschl.de](mailto:m-eschbaumer@duschl.de)

Dipl.-Ing. (TU) Martin Zuckermaier

Tel.: (08031) 243-237  
Fax: (08031) 243-1-237  
E-mail: [m-zuckermaier@duschl.de](mailto:m-zuckermaier@duschl.de)

Herding GmbH  
Entstaubungsanlagen  
August-Borsig-Straße 3  
92224 Amberg

Dipl.-Ing. Klaus Rabenstein

Tel.: (09621) 630 – 137  
Fax: (09621) 630 – 177  
E-mail: [klaus.rabenstein@herding.de](mailto:klaus.rabenstein@herding.de)

Ing. Büro Heinz Wieland  
VDI Sachverständiger für Ventilatortechnik  
Mörikestraße 2  
74638 Waldenburg

Dipl.-Ing. Heinz Wieland

Tel.: (07942) 94 08 87  
Fax: (07942) 38 46  
E-mail: [ing.wieland@t-online.de](mailto:ing.wieland@t-online.de)

Fraunhofer Institut für  
Solare Energiesysteme  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg

Dr. Hans-Martin Henning

Tel.: (0761) 45 88 – 51 34  
Fax: (0761) 45 88 – 90 00  
E-mail: [hans-martin.henning@ise.fhg.de](mailto:hans-martin.henning@ise.fhg.de)

Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.  
Danziger Straße 20  
74321 Bietigheim-Bissingen

Dipl.-Ing. Claus Händel

Tel.: (07142) 544 98  
Fax: (07142) 612 98  
E-mail: [haendel@fgk.de](mailto:haendel@fgk.de)