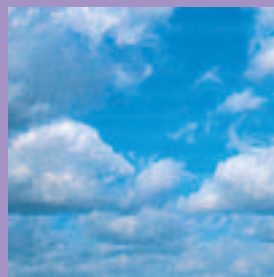
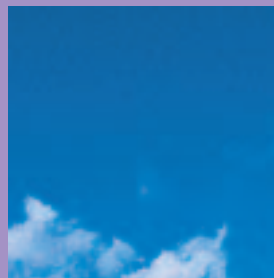


BADEN-
WÜRTTEMBERG



Informationszentrum Energie

Energie



Lüftung

**Energieeffiziente
Lüftungsanlagen
in Betrieben**



**LANDES-
GEWERBEAMT**

Impressum

Herausgeber:

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg
-Informationszentrum Energie-

Postfach 10 29 63, 70025 Stuttgart
Willi-Bleicher-Str. 19, 70174 Stuttgart
Telefon: (0711) 123-2526
Telefax: (0711) 123-2649
E-Mail: ortrud.stempel@lgabw.de
Internet: www.lgabw.de/ie

1. Auflage: Mai 2002

Fachberatung und Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Fred Kolarik

Universität Stuttgart IKE, Lehrstuhl für
Heiz- und Raumlufttechnik, Stuttgart

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Dipl.-Ing. Heinz Wieland

Modell Hohenlohe, Waldenburg

Dipl.-Ing. Gunther Claus

Forschungsgesellschaft Heizung-Lüftung-
Klimatechnik Stuttgart mbH

Dipl.-Ing. Dieter Bouse

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart

unter Anregung und Mitwirkung des

Landesarbeitskreises

**"Umweltschonende Energienutzung in der
mittelständischen Wirtschaft", Stuttgart**

Dipl.-Ing. Dieter Bouse

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart

Dipl.-Ing. Helmut Bunk

KEA-Klimaschutz- und Energieagentur
Baden-Württemberg GmbH, Karlsruhe

Dr. Friedrich Bullinger

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart

Dipl.-Ing. Gunther Claus (Obmann)

Industrieverband Technische Gebäudeausrüstung
Baden-Württemberg e.V., Stuttgart

Dipl.-Volkswirt Hans-Jürgen Funke

Verband für Energiehandel
Südwest-Mitte e.V., Mannheim

Horst Dieter Eifler

Fachverband Elektro- und Informationstechnik
Baden-Württemberg, Stuttgart

Dipl.-Ing. Franz Mayerl

Fachverband Elektro- und Informationstechnik
Baden-Württemberg, Stuttgart

Jürgen Meyer

Industrieverband Technische Gebäudeausrüs-
tung Baden-Württemberg e.V., Stuttgart

Dipl.-Ing. (FH) Otto Ruppert

Fachverband Sanitär-Heizung-Klima
Baden-Württemberg, Stuttgart

Claus Mayer

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg,
Stuttgart

Dr. Bernhard Schneider

Verband der Elektrizitätswirtschaft
Baden-Württemberg e.V., Stuttgart

Michael Kleine Hermelink

Verband der Gas- und Wasserwerke
Baden-Württemberg e. V. , Stuttgart

Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Zahn

Fachverband Sanitär-Heizung-Klima
Baden-Württemberg, Stuttgart

Eduard Dreher

Flaschnerei, Sanitär, Heizung, Klima,
Sigmaringen

Dipl.-Ing. Heinz Wieland

Modell Hohenlohe, Waldenburg

Dr. Helmut Neumann

Verband der Elektrizitätswirtschaft
Baden-Württemberg e.V., Stuttgart

Titelseite:

Grafisches Konzept, Gestaltung und Produktion

Axel Göhner

Gestaltergruppe Referat 22,
Landesgewerbeamt Baden-Württemberg

Layout, Satz und Druck:

Pfitzer Druck GmbH, Renningen

Schutzgebühr: 3 €

Vorwort

Energieeinsparung ist das Gebot der Stunde, auch wenn der Energiemarkt in den letzten Jahren stärker vom Angebotsdruck als von Versorgungsengpässen geprägt war. Die drohende, weltweite Erwärmung der Erdatmosphäre, sowie die anstehende Verknappung herkömmlicher Energiequellen wie Öl und Gas sind Anlass genug, auf einen sparsamen und rationalen Umgang mit Energie und den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energiequellen hinzuwirken.

Bei der Diskussion um die Möglichkeiten der Energieeinsparung im Bereich der Lüftungstechnik fällt auf, dass hier meist der Wohnbereich im Vordergrund steht. Doch gerade der Nichtwohnbereich bietet ein bisher kaum diskutiertes und dokumentiertes Einsparpotential, für das die notwendigen Lösungen größtenteils bereits vorhanden sind.

Ziel dieser Broschüre ist es, Bauherren, Planer und Betreiber von lufttechnischen Anlagen sowie ausführende Fachbetriebe über die Möglichkeiten der Energieeinsparung auf diesem Gebiet zu informieren. Dabei wird sowohl auf Neuanlagen, als auch auf die zahlreichen bestehenden Altanlagen eingegangen.

Dem Leser werden zunächst die lufttechnischen Grundlagen praxisnah vermittelt. Darauf aufbauend werden die Vorgehensweisen bei der Betriebsanalyse und der Bedarfsermittlung von lufttechnischen Anlagen beschrieben. Im daran anschließenden Kapitel geht es um Optimierungsmaßnahmen und um besonders energieeffiziente Lüftungssysteme. Dabei werden auch Möglichkeiten der Nutzung von Solarnergie und der Wärmerückgewinnung aufgezeigt. Planungs- und Handlungsanleitungen schließlich sollen dem Leser als Werkzeug bei der Konzeption und Auslegung von energieeffizienten lufttechnischen Anlagen dienen. Zudem geben Ausführungsbeispiele aus der Praxis konkrete Anregungen für die Umsetzung.

Als Einrichtung Baden-Württembergs für die Mittelstandsförderung möchte das Landesgewerbeamt durch das Informationszentrum Energie die kleinen und mittleren Unternehmen ermuntern, verstärkt in energiesparende Lüftungsanlagen zu investieren, um Energie und Kosten einzusparen.

Allen Beteiligten möchte ich für die Erstellung der Informationsschrift dank sagen. Zum einen dem Autorenteam Fred Kolarik und Gunther Claus von der Universität Stuttgart und dem Autor Heinz Wieland vom Modell Hohenlohe.

Dem Landesarbeitskreis „Umweltschonende Energienutzung in der mittelständischen Wirtschaft“ möchte ich für die kompetente fachliche Begleitung beim Erstellen der Broschüre besonders danken.

Ich hoffe sehr, dass die praxisnah verfasste Broschüre eine breite Nutzung erfährt und dazu beiträgt, die Energiekosten in den Betrieben zu senken.

Stuttgart, im Mai 2002



Dr. Friedrich Bullinger
Präsident des Landesgewerbeamts
Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation, Problemstellung, Zielsetzung	1
2	Lufttechnische Grundlagen.....	2
2.1	Raumlufttechnische Anlagen, Systemübersicht	3
2.2	Ventilatoren	4
2.2.1	Bauarten von Ventilatoren in lufttechnischen Anlagen	4
2.2.2	Kenngrößen und Kennlinien nach DIN 24163.....	6
2.3	Anforderungen an die Hygiene	6
3	Leistungsmessung an lufttechnischen Anlagen	7
3.1	Einfluss der Einbaubedingungen.....	7
3.2	Systemgrenze	7
3.3	Anlagenkennlinie und Betriebspunkt	7
3.4	Vorbereitung der Leistungsmessung	8
3.5	Mess- und Kenngrößen	8
3.6	Messverfahren und Messgeräte.....	8
3.6.1	Volumenstrom.....	8
3.6.2	Druck	8
3.6.3	Antriebsleistung	9
3.6.4	Weitere Messgrößen	9
3.7	Ergebniskontrolle.....	9
4	Betriebsanalyse und Bedarfsermittlung.....	10
4.1	Vorgehen und Maßnahmen	10
4.2	Vermeidungsstrategien.....	12
5	Optimierung von lufttechnischen Anlagen	12
5.1	Allgemeines	12
5.2	Vorgehensweise	13
5.2.1	Grobanalyse (Phase 1)	13
5.2.2	Feinanalyse (Phase 2)	15
5.2.3	Ausführung (Phase 3).....	17
5.3	Hinweise zur Planung und Auslegung von Neuanlagen.....	17
5.4	Anlagenbetrieboptimierung durch Gebäudeleittechnik	18
6	Energieeffiziente Lüftungssysteme	19
6.1	Zentrale Lüftungssysteme	19
6.2	Dezentrale Lüftungssysteme	20
6.3	Wärme- und Kälteerzeugung	21
6.4	Wärmerückgewinnung	24
7	Konzipierung und Auslegung von lufttechnischen Anlagen	25
7.1	Allgemeine Hinweise	25
7.2	Erfassungseinrichtungen	25
7.2.1	Beispielauslegung	29
7.3	Lüftung.....	29
7.3.1	Luftführung.....	29
7.3.2	Berechnung der Luftströme.....	31
7.4	Beurteilungskriterien.....	33
8	Staatliche Förderung und Informationsstellen in Baden-Württemberg	33
9	Beispiele aus der Praxis	33
9.1	Verwaltungsgebäude.....	34
9.2	Turnhalle.....	35
9.3	Krankenhaus	36
9.4	Schulzentrum	37
9.5	Verkaufsstätte	38
9.6	Schweißerei.....	39
9.7	Industriehalle	40
9.8	Messehalle	41
9.9	Recyclingarbeitsplatz für Elektromotoren.....	42
10	Fazit	44
11	Literaturverzeichnis	45

Anhang

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation, Problemstellung, Zielsetzung

Rund 3,75 Mio. MWh elektrische Arbeit, fast 500 Mio. € an Energiekosten und über 1,7 Mio.t CO₂ könnten in Deutschland allein durch den Austausch älterer und nicht wirtschaftlicher Ventilatoren gegen neue energieeffiziente Ventilatoren eingespart werden /1/. Diese immensen Zahlen sind das Ergebnis einer konservativen Schätzung von Fachleuten aus der Lüftungs- und Klimatechnik. Bei bestehenden lufttechnischen Anlagen besteht somit ein Energieeinsparpotential von 25 % - 30 %, wenn Schritt für Schritt die eingesetzten Altventilatoren gegen neue energieeffiziente Ventilatoren ausgetauscht werden.

Ventilatoren kommen in jeder lufttechnischen Anlage zum Einsatz. Sie sorgen für den Transport der Zu- und Abluftströme (**Bild 1.1**). Ziel von Be- und Entlüftungsmaßnahmen am Arbeitsplatz ist es, allen luft- und klimaver-schlechternden Einflüssen so entgegen zu wirken, dass eine gesundheitliche Gefährdung und, so weit wie möglich, auch eine Belästigung vermieden wird. Zudem sind ohne den Einsatz von lufttechnischen Anlagen viele Tätigkeiten und Produktionstechniken überhaupt nicht oder nur mit Qualitätseinbußen für das Produkt möglich.

Typische Einsatzgebiete von lufttechnischen Anlagen im gewerblichen Bereich sind z.B. Lackierereien, Holzverarbeitende Betriebe, Mikroelektronik, Gießereien und Galvanikbetriebe, aber auch Gaststätten, Praxen, Verwaltungs- und Versammlungsräume sowie Krankenhäuser.

Die Anforderungen an lufttechnische Anlagen beschränken sich jedoch nicht allein darauf, Sollwerte für die Luftqualität und für das thermische Umfeld einzuhalten. Dies soll auch mit möglichst geringem Aufwand an Energie und Kosten geschehen. Zudem soll durch die lufttechnische Anlage der Arbeitsablauf nicht beeinträchtigt werden. Solche Forderungen und Erwartungen bedingen, dass in der Praxis nur Anlagen mit hoher Wirksamkeit eingesetzt werden. Lufttechnische Anlagen verfügen jedoch nur dann über hohe Wirksamkeit, wenn sie individuell auf die Bedingungen und Vorgänge in den Arbeitsräumen –insbesondere auf die Arbeitsverfahren– abgestimmt sind.

Ziel der Planung lufttechnischer Maßnahmen muss es sein, eine möglichst hohe Wirksamkeit bei möglichst geringem Aufwand zu erreichen. Dies ist nur zu verwirklichen, wenn die individuellen Vorgänge in einem Arbeitsraum berücksichtigt, die Aufgaben und Anforderungen klar formuliert und alle Möglichkeiten zur Minderung der Stofffreisetzung ausgeschöpft werden.

Durch die Sanierung einer nicht wirtschaftlichen lufttechnischen Anlage erhält der Betreiber eine Vielzahl von Vorteilen, die schon nach kurzer Zeit die notwendigen Investitionen ausgleichen:

- Deutliche Senkung der Stromrechnung
- Geringerer Wartungsaufwand der sanierten Anlage senkt die Servicekosten
- Geringere Lärmbelästigung
- Verbesserung der thermischen Behaglichkeit
- Verbesserung der Luftqualität
- Zufriedenheit der Mitarbeiter

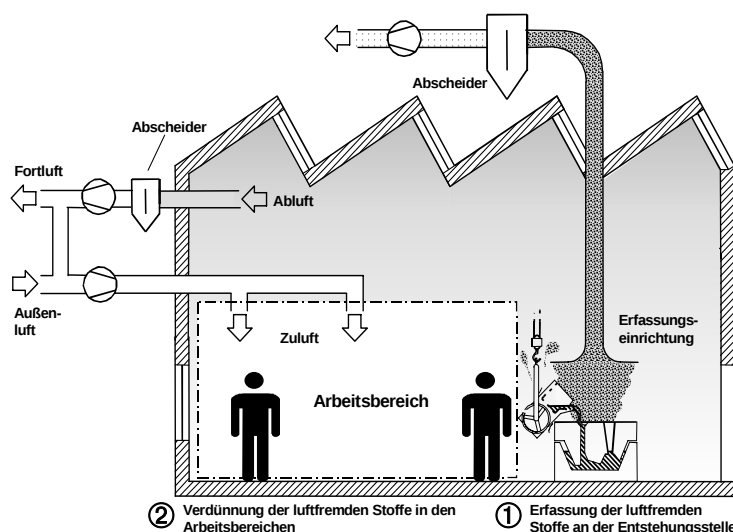


Bild 1.1
Einsatz von luft-
technischen An-
lagen in Betrie-
ben

2 Lufttechnische Grundlagen

Die Gefahrstoffverordnung /2/ fordert lufttechnische Maßnahmen zur Luftreinhaltung am Arbeitsplatz, wenn verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen allein nicht dafür ausreichen, die Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in den Arbeitsbereichen unter den Grenzwerten zu halten. Die betriebliche Praxis zeigt, dass in nahezu allen Arbeitsstätten, in denen mit gefährlichen Stoffen umgegangen wird, die verwirklichten Primärmaßnahmen durch lufttechnische Maßnahmen ergänzt werden müssen.

Lufttechnische Maßnahmen sind:

- Direkte Erfassung der luftfremden Stoffe an der Entstehungs- oder Austrittsstelle
- Lüftung (Luftaustausch), damit die Grenzwerte der Stoffe in der Luft in den Arbeitsbereichen eingehalten bzw. unterschritten werden

Bei den lufttechnischen Maßnahmen hat die Erfassung freigesetzter Stoffe stets Vorrang vor dem Luftaustausch. Luftfremde Stoffe zu erfassen erfordert im Allgemeinen wesentlich weniger Aufwand (geringere Luftströme) zur Stofflastabfuhr als der Austausch kontaminierter Luft durch Außenluft. Lufttechnische Maßnahmen haben den Vorteil, dass sie sich weitgehend unabhängig von der Stoffart anwenden lassen und dass durch sie auch die Aufgabe der Wärmelastabfuhr mit übernommen werden kann.

Zur Funktion der beiden lufttechnischen Maßnahmen werden nicht nur die Einrichtungen zur Stofffassung und zur Zuluftverteilung, sondern, wie **Bild 2.1** zeigt, auch Einrichtungen zur Luftbehandlung, zur Luftförderung und zur Abluftreinigung benötigt.

Für bestimmte Randbedingungen in Arbeitsräumen sind zudem noch Sondereinrichtungen wie Luftschleier an Toren oder Raumheizflächen notwendig. Da Schutzmaßnahmen zur Arbeitsplatzluftreinhaltung mit allen Fachleuten, die in den Betrieben mit den Arbeitsverfahren befasst sind, abgestimmt und somit integriert geplant werden müssen, sollten die Erkenntnisse über die Gestaltung wirksamer lufttechnischer Einrichtungen für den "Praktiker" verständlich gestaltet sein. Wichtig ist, dass allen Beteiligten am Arbeitsschutz, insbesondere auch denen, die nicht aus dem Fachbereich der Lufttechnik stammen, die Funktion und das Wirken lufttechnischer Maßnahmen erläutert werden. Erst wenn vermittelt werden kann, welche Strömungsformen sich ausbilden sollen und mit welchen Maßnahmen und unter welchen Randbedingungen dies zu erreichen ist, ist es möglich, Erfassungseinrichtungen und Luftführungen anwendungsgerecht einzusetzen.

Zudem ist hervorzuheben, dass es für lufttechnische Maßnahmen nicht für jeden individuellen Anwendungsfall „Musterlösungen“, „Kochrezepte“ oder gar „fertige Produkte“ geben kann, die sich zudem, wie in anderen Bereichen des Arbeitsschutzes, katalogartig dokumentieren lassen.

Zweckmäßiger ist es daher, die Denkansätze zu dokumentieren, nach denen Problemlösungen selbst gestaltet werden können und gleichzeitig Beispiele mustergültig geplanter und ausgeführter lufttechnischer Einrichtungen als Anregung für das eigene Vorgehen darzustellen.

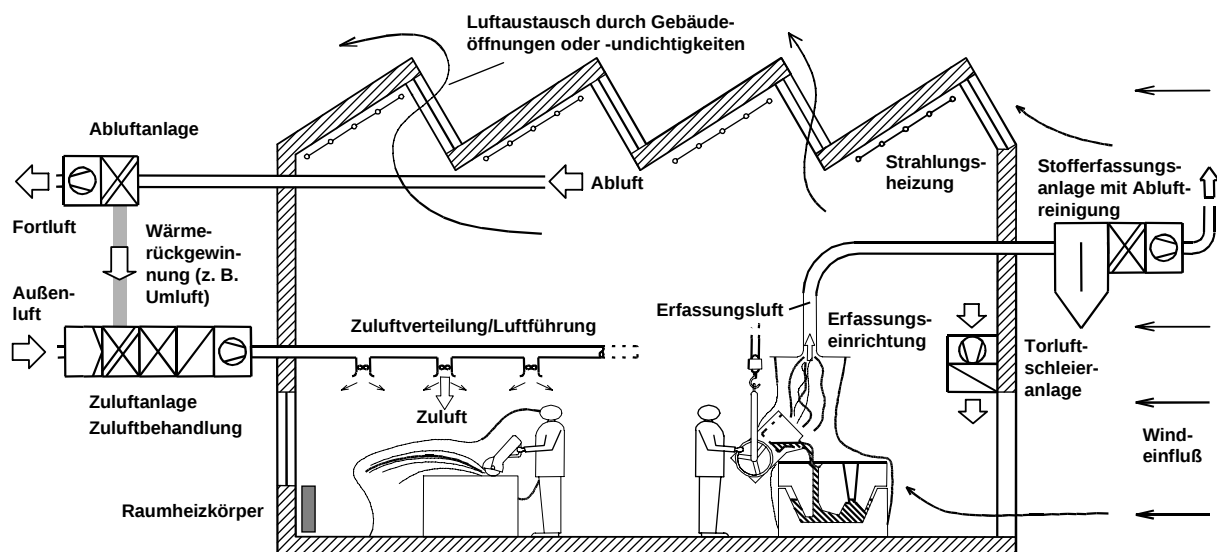


Bild 2.1
Einrichtungen zur Reinhaltung, Konditionierung, Förderung und Reinigung der Luft in Arbeitsräumen

2.1 Raumlufthtechnische Anlagen, Systemübersicht

Nach DIN 1946 Teil 1 werden raumlufthtechnische Anlagen (RLT-Anlagen) eingesetzt, um ein angestrebtes Raumklima sicherzustellen. Dazu müssen je nach Anforderung folgende Aufgaben erfüllt werden:

- Zufuhr der notwendigen Außenluftmenge, vor allem in Räumen ohne Möglichkeit einer natürlichen Lüftung,
- Abführen von Luftverunreinigungen, wie z.B. Geruchstoffe, Schadstoffe und Ballaststoffe,
- Abführen von Wärmelasten (Heiz- u. Kühllasten) sowie Luftfeuchtelasten,
- Schutzdruckhaltung zum Schutz gegen ungewollten Luftaustausch (z.B. in Reinräumen, explosionsgefährdeten Bereichen, Labors, Küchen usw.).

RLT-Anlagen sollen somit Temperaturen, Feuchte und Verunreinigungen der Luft in vorgegebenen Grenzen halten. Man muss dabei aber klar unterscheiden zwischen Lüftung und Klimatisierung.

Zwar können beide Verfahren miteinander kombiniert werden, doch sind die Grundaufgaben verschieden. Während mit dem Wort Lüftung stets die Lufterneuerung im Raum, d.h. der Austausch von Raumluft mit Außenluft verbunden ist, soll mit der Klimatisierung primär ein ganz bestimmter Raumluftzustand (Temperatur und Feuchte) erreicht werden, was auch ohne Außenluftanteil möglich wäre. Bei der Teilklimatisierung wird nur ein Teil der für die Klimatisierung notwendigen thermodynamischen Luftaufbereitungsvorgänge angewandt. Nicht zu verwechseln damit sind die Anlagen der Prozesslufttechnik, deren Zweck es ist, bestimmte verfahrenstechnische Forderungen zu erfüllen (z.B. in der Trocknungstechnik, der Fertigungstechnik, der pneumatischen Förderungstechnik). Solche Anlagen werden in diesem Rahmen nicht behandelt.

Nach der Lüftungsfunktion (**Bild 2.2**) werden unterschieden:

- RLT-Anlagen mit Lüftungsfunktion (Ausführung als Lüftungs-, Teilklima- oder Klimaanlage)
- RLT-Anlagen ohne Lüftungsfunktion (Ausführung als Umluft-, Umluftteilklima- oder Umluftklimaanlage)

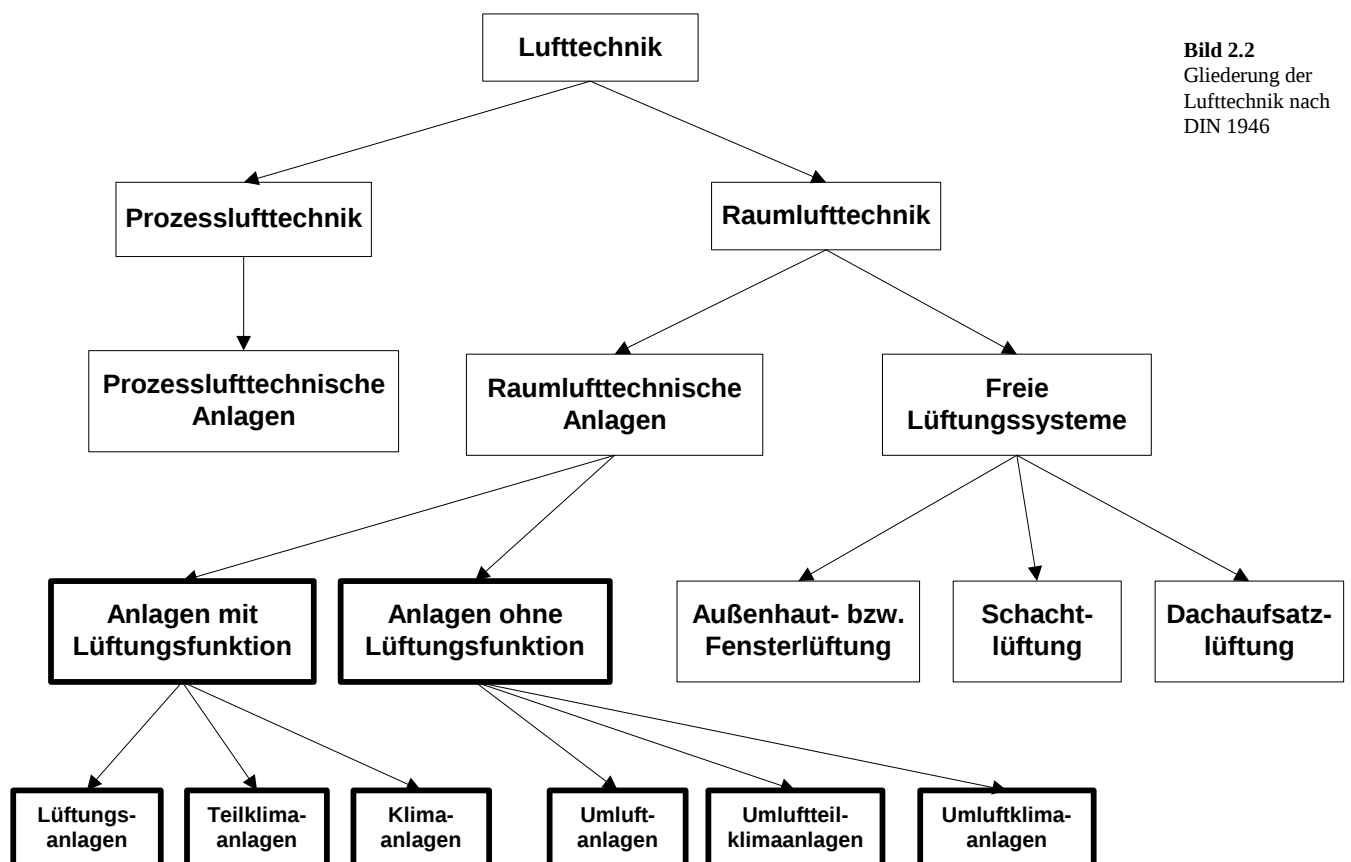


Bild 2.2
Gliederung der
Lufthtechnik nach
DIN 1946

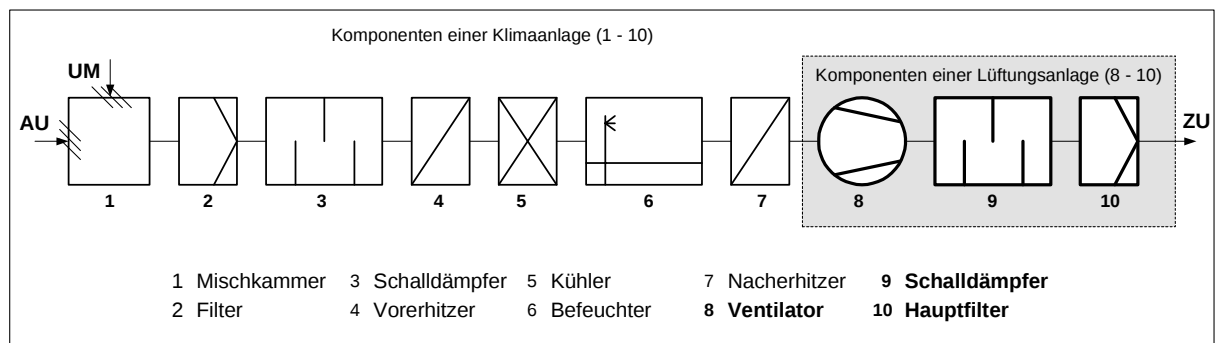


Bild 2.3
Schematischer
Aufbau einer
Klimaanlage

Eine weitere Unterteilung kann man nach den thermodynamischen Behandlungsfunktionen vornehmen, welche die Luft in den RLT-Anlagen erfährt. Es gibt vier solche Behandlungsfunktionen:

- Heizen
- Kühlen
- Befeuchten
- Entfeuchten

Den Transport der Luft zu und von den zu belüftenden und klimatisierenden Räumen übernehmen Ventilatoren. Weitere Komponenten sind Schalldämpfer und Luftfilter. **Bild 2.3** zeigt den schematischen Aufbau einer Klimazentrale und die Komponenten einer einfachen Lüftungsanlage.

2.2 Ventilatoren

Jede lufttechnische Anlage ist mit mindestens einem Ventilator ausgerüstet. Die Aufgabe des Ventilators ist dabei, einen Volumenstrom durch die Lüftungsanlage zu transportieren. Die Anlage setzt der Bewegung des Volumenstroms einen Widerstand entgegen, den der Ventilator mittels Druckerhöhung überwinden muss. Der Ventilator kann somit als Kernstück jeder Lüftungsanlage bezeichnet werden. Als Hauptanforderung an den Ventilator gilt:

Die über den Antriebsmotor aufgenommene elektrische Energie soll möglichst effektiv und geräuscharm in Druck- und Bewegungsenergie umgesetzt werden.

In der Praxis sind jedoch noch häufig Ventilatoren – zumeist Kleinventilatoren – anzutreffen, deren Gesamtwirkungsgrad nur ca. 25 % beträgt.

Die Wahl des Antriebs, die Zu- und Abströmbedingungen, das Bauvolumen sowie die Regelfähigkeit und die Stabilität des Ventilators beeinflussen die Funktion und die energetische Effizienz (Stromverbrauch) der Lüftungsanlage wesentlich. Nur die Berücksichtigung der notwendigen Grundlagen- und Fachkenntnisse und die Betrachtung des Ventilators als integraler Bestandteil einer Lüftungsanlage führen im konkreten Einsatzfall zu einer optimalen Auswahl und einem fehlerfreien Einbau des Ventilators und somit zu wirtschaftlichen lufttechnischen Anlagen.

In **Bild 2.4** sind die Kosten, die ein Ventilator in einem Zeitraum von 10 Jahren verursacht, nach Energiekosten (inklusive der Verlustenergiekosten), Investitionskosten und Instandhaltungskosten aufgeschlüsselt dargestellt. Verlustenergiekosten entstehen, weil bei der Umsetzung der Antriebsleistung des Motors in die Bewegung der Luft im Ventilator Verluste – zum Beispiel am Laufrad und den Lagern – anfallen. Dabei besteht durch die Optimierung des Ventilators, d.h. Verringerung der anfallenden Verlustenergie, ein Energiekosteneinsparpotential bis zu 25% /5/.

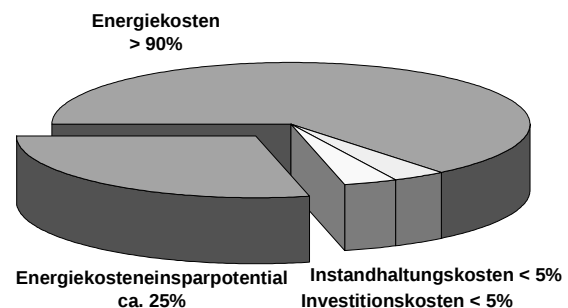


Bild 2.4
Kosten-
aufteilung und
Einspar-
potential beim
Betrieb eines
Ventilators

Bemerkenswerter Weise stellen die Energiekosten mit ca. 90 % den größten Kostenanteil dar, während die Investitions- und Instandhaltungskosten jeweils mit weniger als 5% beteiligt sind /6/. Die Auswahl des Ventilators ist folglich von entscheidender Bedeutung, da durch eine ungünstige Ventilatorauswahl unnötig hohe Betriebskosten entstehen können. Bei der Ventilatorauswahl müssen deshalb die gesamtwirtschaftlichen Aspekte höher bewertet werden als die reinen Investitionskosten.

2.2.1 Bauarten von Ventilatoren in lufttechnischen Anlagen

Für den Transport der Zu- und Abluftströme werden Ventilatoren verwendet, die in verschiedenen Bau- und Antriebsarten, mit unterschiedlichen Leistungscharakteristiken hergestellt und angeboten werden. Eine generelle Empfehlung für eine zu bevorzugende Art ist nicht möglich. Entscheidendes Auswahlkriterium muss immer die Wirtschaftlichkeit und die Funktionalität bleiben.

Man unterscheidet nach der Strömungsführung durch das Laufrad zwischen axialen, halbaxialen, halbradialen und radialen Bauarten und als Sonderbauart Querstromventilatoren. **Bild 2.5** zeigt eine Übersicht mit charakteristischen Eigenschaften /7/.

Bild 2.5
Bauarten von Ventilatoren
-Übersicht

	Bauart	Schema	Volumen- zahl ϕ	Druckzahl ψ	Anwendung
Axialventilatoren	Wand-Ventilator		0,1 ... 0,25	0,05 ... 0,1	für Fenster und Wandeinbau
	ohne Leitrad		0,15 ... 0,3	0,1 ... 0,3	bei geringen Drücken
	mit Leitrad		0,3 ... 0,6	0,3 ... 0,6	bei höheren Drücken
	Gegenläufer		0,2 ... 0,8	1,0 ... 3,0	höchste Drücke, in Sonderfällen
mixed flow	halbaxial (meridanbeschleunigt)		0,2 ... 0,5	0,4 ... 0,8	hohe Drücke, in Sonderfällen
	halbaxial (Rohrventilator)		0,2 ... 0,3	0,4 ... 0,6	bei Rohreinbau
Radialventilatoren	rückwärts gekrümmte Schaufeln		0,2 ... 0,4	0,6 ... 1,0	bei hohen Drücken und Wirkungsgraden
	gerade Schaufeln		0,3 ... 0,6	1,0 ... 2,0	für Sonderzwecke
	vorwärts gekrümmte Schaufeln		0,4 ... 1,0	2,0 ... 3,0	bei geringen Drücken und Wirkungsgraden
Querstromventilatoren			1,0 ... 2,0	2,5 ... 4,0	niedrige Drücke bei geringem Platzverbrauch

Leitradlose Axialventilatoren werden hauptsächlich in Kälteanlagen, Rückkühleinrichtungen sowie Wand- und Deckenluftheizern eingesetzt. Für höhere Drücke und für besondere Anwendungen, z.B. als Entrauchungsventilatoren, werden Axialventilatoren mit Nachleitrad verwendet.

Für die Raumlüftung oder -klimatisierung sind vorwiegend ein- oder zweiseitig saugende Radialventilatoren mit vorwärts oder rückwärts gekrümmten Laufschaufeln im Einsatz (**Bild 2.6**).

Bild 2.6
Spiralgehäuseseventilator mit Riemenantrieb*

Bild 2.7
Spiralgehäuseseventilator mit Direktantrieb*

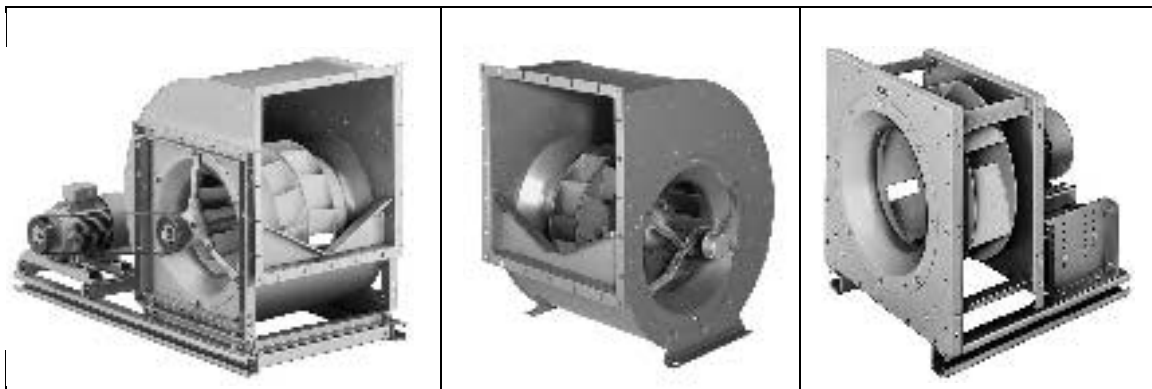


Bild 2.8
Radialventilator mit freilaufendem Rad*

Sie werden in folgenden Bauformen gefertigt:

- Dachventilator, mit Regenschutzhaube
- Mit Spiralgehäuse
- Freilaufend, ohne Spiralgehäuse

Die besten Wirkungsgrade werden mit rückwärtsgekrümmten Laufschaufeln erreicht. Freilaufende Räder (**Bild 2.8**) reagieren empfindlicher auf Störungen und erzeugen höhere Geräusche.

Bei der Antriebsart unterscheidet man zwischen Riemenantrieb und Direktantrieb. Unter den Riemenantrieben sind besonders die Flachriemenantriebe zu empfehlen. Sie zeichnen sich durch einen im Vergleich zum Keilriemen höheren Wirkungsgrad aus. Je nach Motorleistung beträgt der Wirkungsgrad der Kraftübertragung beim Keilriemen zwischen 90 und 95 %. Moderne Flachriemen hingegen weisen Wirkungsgrade zwischen 97 und 98% auf. Als weitere Vorteile des Flachriemenantriebs sind der weitgehend schwingungsfreie Betrieb, die Abtriebsfreiheit und die wesentlich längere Lebensdauer zu nennen. Bei Direktantrieb wiederum ist die Welle des Antriebmotors direkt mit dem Laufrad des Ventilators verbunden (**Bild 2.7**).

Bei beiden Antriebsarten sind für das Erzielen niedriger Betriebskosten am besten eintourige, über Frequenzumrichter drehzahlregelte Elektromotoren zu verwenden. Elektromotoren weisen seit kurzem eine Wirkungsgradkennzeichnung auf. Dabei wird zwischen den Wirkungsklassen EFF3, EFF2 und EFF1 unterschieden. Standardmotoren gehören zur Klasse EFF3. Motoren der Klasse EFF2 weisen einen verbesserten Wirkungsgrad auf. Hocheffiziente Motoren gehören zur Klasse EFF1. Ein hoher Wirkungsgrad bedeutet zudem eine geringere Eigenerwärmung des Motors. Bei Klimaanlage führt dies zu einer Reduzierung der notwendigen Kälteleistung.

* Werkbild Gebhardt Ventilatoren

2.2.2 Kenngrößen und Kennlinien nach DIN 24163

Um die Eignung eines Ventilators für bestimmte Einsatzfälle beurteilen und vergleichen zu können, werden hierfür dimensionslose Kenngrößen verwendet.

- Der Wirkungsgrad

$$\eta_M = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}_1}{P_M} \quad (2.1)$$

gibt das Verhältnis zwischen der erbrachten Förderleistung zur erforderlichen Antriebsleistung des Motors an. Er ist ein Maß für die Güte der Energieumsetzung.

- Die Druckzahl

$$\psi = \frac{\Delta p \cdot f}{\frac{\rho}{2} \cdot u_2^2} \quad (2.2)$$

ist ein Maß für die Druckerhöhung, die ein Ventilator bezogen auf die Umfangsgeschwindigkeit seines Radaußendurchmessers erzeugt.

- Die Volumenzahl

$$\varphi = \frac{4 \cdot \dot{V}_1}{\pi^2 \cdot D^3 \cdot n} \quad (2.3)$$

ist ein Maß für den Volumenstrom, den ein Ventilator, bezogen auf seinen Radaußendurchmesser und seine Umfangsgeschwindigkeit, fördert. In **Bild 2.5** sind für die verschiedenen Ventilatorbauarten typische Wertebereiche angegeben.

Das Betriebsverhalten eines Ventilators wird durch Druck-Volumenstrom-Kennlinien dargestellt. Zusätzlich werden die Antriebsleistung und der Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom Volumenstrom angegeben. Diese Kennlinien werden nach DIN 24163 auf Normprüfständen mit eindeutig festgelegten Prüfbedingungen und ungestörter Zu- und Abströmung ermittelt. Sie dienen als Grundlage bei der Ventilatorenauswahl und finden sich meist in den Katalogen der Ventilatorenhersteller.

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass im Einbauzustand meist andere Einbaubedingungen vorliegen als bei der Normprüfung. So kann z.B. die Zu- und Abströmung im Ventilator durch Einbauten gestört sein. Dies führt zu einer Abweichung des Betriebsverhaltens und die Einbaukennlinie kann erheblich von der Normkennlinie abweichen. **Bild 2.9** zeigt exemplarisch einen Vergleich zwischen Normkennlinie und der im Einbauzustand ermittelten Kennlinie [9].

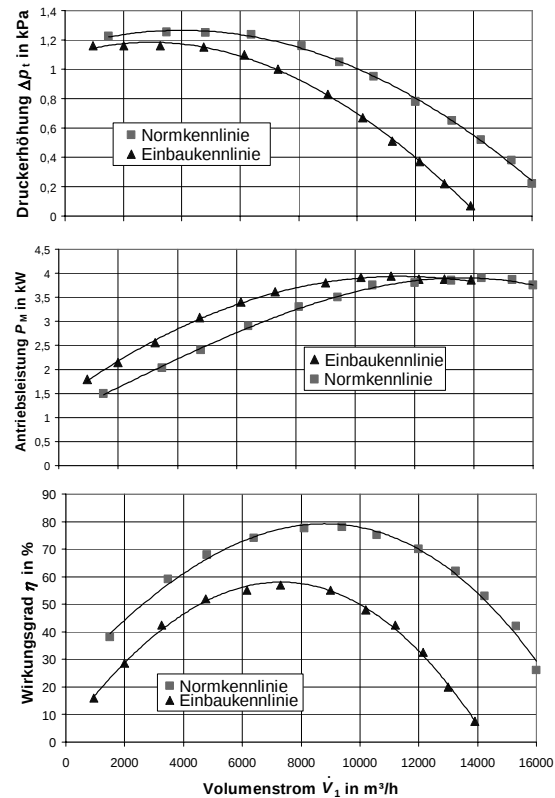


Bild 2.9: Vergleich Normkennlinien und Einbaukennlinien

Die Auswirkungen sind:

- die Druck-Volumenstromkennlinie liegt tiefer
- die Antriebsleistung weicht meist nur wenig ab
- der Wirkungsgrad ist wesentlich schlechter

Generell hängt die Höhe der Abweichung von den Einbaubedingungen und der Empfindlichkeit des Ventilators ab. Zur Quantifizierung sind Vergleichsmessungen notwendig. Das Vorgehen hierzu ist in Kapitel 3 beschrieben.

Bei der Auswahl des Ventilators anhand der Normkennlinie muss dieser Sachverhalt zumindest im Rahmen einer Abschätzung berücksichtigt werden. Wird dies unterlassen, besteht die Gefahr, dass die ausgeführte Anlage aufgrund einer falschen Ventilatorenauswahl den in der Anlagenauslegung geforderten Volumenstrom nicht erreicht.

2.3 Anforderungen an die Hygiene

Lufttechnische Anlagen sollen u.a. die Luftqualität in Räumen sicherstellen. Um diese Aufgabe erfüllen zu können, müssen die einzelnen Anlagenkomponenten in einem hygienisch einwandfreien Zustand sein. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Innenraumluftqualität durch die Lüftungsanlage verschlechtert wird. Bei schlechter Wartung können sich z.B. Schimmelpilze, Milben, Pilze und Keime in der Lüftungsanlage ansiedeln und den Luftstrom kontaminieren. Bei der Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung von lufttechnischen Anlagen sind deshalb geeignete Hygienemaßnahmen einzuplanen und durchzuführen.

Besonders der regelmäßigen Wartung und Funktionskontrolle sowie der Hygieneüberwachung kommt ein großer Stellenwert zu. Ausführliche Informationen zum Thema Hygiene in RLT-Anlagen finden sich in der VDI 6022 Blatt 1. Die zurzeit einzuhaltenden Richt- und Grenzwerte sowie Vorschriften für die luftchemischen und mikrobiologischen Bedingungen in RLT-Anlagen finden sich in:

- Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR), insbesondere ASR 5 und ASR 6
- MIK-Werte
- WHO Air-Quality-Guidelines

Zur Einhaltung dieser Vorgaben müssen bei der Planung, Fertigung und Ausführung von lufttechnischen Anlagen verschiedene Punkte berücksichtigt werden. Schwerpunkte sind dabei die Wahl des richtigen Volumenstromes, die Lage der Ansaug- und Abluftöffnungen, die Geräteauswahl, die Kontrolle aller feuchten Stellen in der Anlage, das richtig dimensionierte Luftleitungssystem, die Minimierung der Umluft und die Art der Luftzuführung im Raum.

Damit sich die Qualität der Zuluft während der Lebenszeit der Lüftungsanlage nicht verschlechtert, sind zudem regelmäßige Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an der Lüftungsanlage notwendig. Die hygienische Überprüfung, Reinigung und Desinfektion der Lüftungsanlage durch Fachpersonal tragen zum Erhalt der Funktion der Anlage wesentlich bei und sollten als selbstverständlich gelten. Ein falsches Kostenbewusstsein an dieser Stelle zahlt sich letztlich nicht aus. Die durch mangelnde Lufthygiene erkrankten Mitarbeiter sind in ihrer Leistungsfähigkeit ganz oder teilweise eingeschränkt und verursachen meist weit höhere Kosten als die durch unterlassene Wartung an der Lüftungsanlage eingesparten Kosten.

3 Leistungsmessung an lufttechnischen Anlagen

Bei der Abnahme oder Analyse einer lufttechnischen Anlage wird deren Leistungsvermögen ermittelt und beurteilt. Die hierfür notwendigen Mess- und Kenngrößen werden mit Hilfe einer Leistungsmessung gewonnen.

Im Folgenden werden die Einflüsse der Einbaubedingungen auf die Ventilatorleistung, d.h. das Zusammenwirken von Ventilator und lufttechnischer Anlage sowie die Grundlagen für die Leistungsmessung an lufttechnischen Anlagen beschrieben.

3.1 Einfluss der Einbaubedingungen

Die Leistungsdaten (Volumenstrom, Wirkungsgrad u.a.) eines Ventilators in einer lufttechnischen Anlage können sich erheblich von dessen Normleistungsdaten unterscheiden (siehe Kapitel 2.2.2). Die unter Normbedingungen ermittelten Leistungsdaten sind

deshalb als Nachweis für die Leistungsfähigkeit einer lufttechnischen Anlage nur bedingt geeignet. Die Ursachen für das veränderte Leistungsverhalten von Ventilatoren liegen meist in den zur Norm abweichenden Einbaubedingungen begründet. Zusätzliche Strömungswiderstände, wie z.B. ein unmittelbar nach dem Ventilator angeordneter Krümmer, führen zu einer wesentlichen Leistungsminderung. Weitere leistungsmindernde Anlagenbestandteile sind u.a. Riemenscheiben, Schutzgitter am Ventilator und zu kleine Ventilatorkammern. Die Leistungsabweichung zur Normleistung hängt im Wesentlichen von der Anzahl und Größe der Störungen ab. In der Summe ergeben sich häufig Abweichungen zwischen 10 % und 50 %.

3.2 Systemgrenze

Die Systemgrenze kennzeichnet die Schnittstellen der lufttechnischen Anlage, an denen die wesentlichen Kenngrößen ermittelt werden. Üblicherweise dient die Eintritts- und Austrittsebene des Ventilators als Systemgrenze (**Bild 3.1**). Hier sollte auch die Druckerhöhung Δp des Ventilators ermittelt werden.

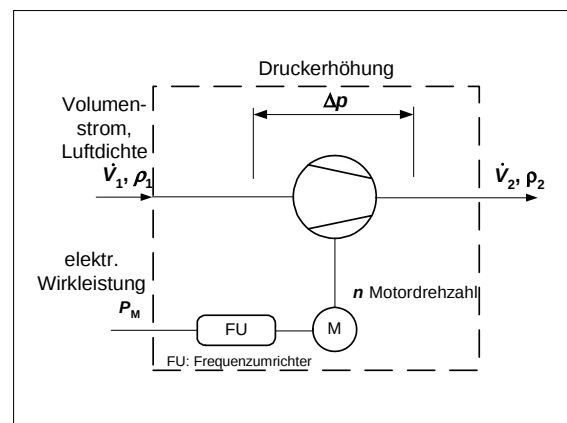


Bild 3.1
Systemgrenze und Kenngrößen der Leistungsmessung

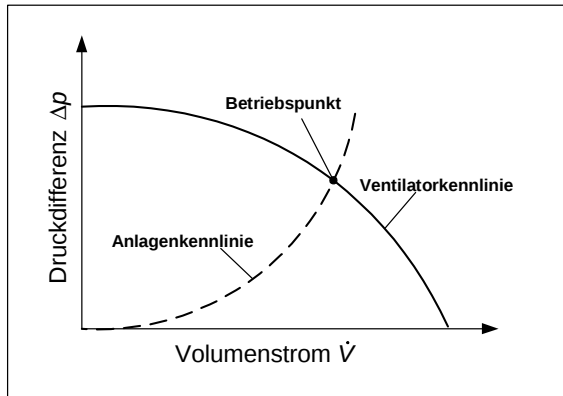
Liegen die Messstellen für den Volumenstrom und die Druckerhöhung außerhalb dieser Systemgrenze, z.B. am Eintritt- und Austritt der lufttechnischen Anlage kann durch Berücksichtigung von Dichteänderung, Leckageverlusten und Druckwiderständen auf die Systemgrenze am Ventilator zurückgerechnet werden. Weitere wichtige Kenndaten für die Beurteilung der Anlage sind die elektrische Wirkleistung des Antriebmotors P_M (messbar z.B. am Schaltschrank) und dessen Drehzahl n .

3.3 Anlagenkennlinie und Betriebspunkt

Lufttechnische Anlagen und deren Komponenten setzen dem vom Ventilator geförderten Volumenstrom einen Widerstand entgegen, der sich als Druckdifferenz auswirkt. Die Höhe der Druckdifferenz ist abhängig vom Volumenstrom. Trägt man die Druckdifferenz über dem Volumenstrom auf erhält man die Anlagenkennlinie. Der Betriebspunkt einer lufttechnischen Anlage ergibt sich aus dem Schnittpunkt von der Ventilatorkennlinie unter Einbaube-

dingungen und der Anlagenkennlinie (**Bild 3.2**). Er wird bei der Leistungsmessung bestimmt.

Bild 3.2
Betriebspunkt als Schnittpunkt der Anlagenkennlinie mit der Ventilator-kennlinie



3.4 Vorbereitung der Leistungsmessung

Als Vorbedingung für den Erhalt von aussagekräftigen und reproduzierbaren Messergebnissen muss vor der Durchführung der Leistungsmessung die lufttechnische Anlage gründlich inspiziert und überprüft werden. Dabei müssen folgende Punkte geprüft und erfüllt sein /11/:

- Vollständigkeit der für die Funktion wichtigen Anlagenkomponenten (Prüfung nach VDI 2079)
- Funktionsfähigkeit der Anlage
- Luftkanäle:
 - keine Versperrungen durch Fremdkörper
 - Luftdichtheit
- Ventilator-drehrichtung
- Stellung und Arretierung der Klappen
- konstanter Lastzustand (ggf. automatische Regelung abschalten)

Im Rahmen der Anlageninspektion werden gleichzeitig die notwendigen Messorte und Bezugsquerschnitte für die Volumenstrom- und Druckmessung ausgewählt. Hierbei besteht oft die Schwierigkeit, geeignete Messstellen in der Nähe des Ventilators zu finden. Nur selten sind dort geeignete (gerade) Luftkanalstrecken anzutreffen. Die Forderung der VDI 2044, dass Messstellen unmittelbar nach starken Krümmungen und im Bereich von Einbauten –dort treten meist Rückströmungen und Drallströmung auf–, zu vermeiden sind, kann oft nicht eingehalten werden. Wird die Messung unter derartigen Bedingungen durchgeführt, sind die gewonnenen Daten mit einer höheren Messunsicherheit behaftet. In diesem Fall ist es besser, den Volumenstrom an einer anderen, geeigneten Stelle im Kanalnetz oder an den Luftdurchlässen zu messen.

3.5 Mess- und Kenngrößen

Bei der Leistungsmessung sind eine Vielzahl von Mess- und Kenngrößen aufzunehmen. Diese sind in **Tabelle 3.1** mit Berechnungsformeln und Einheiten nach VDI 2080 u. DIN EN 12599 zusammen gestellt.

Die wichtigsten Kenngrößen sind dabei der Volumenstrom, die Druckerhöhungen der Anlagenkomponenten und die Antriebsleistung des Ventilators. Bei der Druckmessung wird zwischen dem statischen Druck p_{st} und dem dynamischen Druck p_d unterschieden. Die Summe der beiden Drücke wird als Totaldruck p_t bezeichnet.

3.6 Messverfahren und Messgeräte

Für die Leistungsmessung haben sich in der Praxis bestimmte Messverfahren und Messgeräte bewährt.

3.6.1 Volumenstrom

Für die Volumenstrombestimmung erweist sich die Verwendung von Drosselgeräten (z.B. Blenden) wegen mangelnder Einbaumöglichkeiten oft als schwierig. Geeigneter ist meistens eine Netzmessung in einem durchströmten Leitungsquerschnitt (rund oder rechteckig) der Anlage.

Nach VDI 2044 bzw. DIN EN 12599 werden hierfür folgende Verfahren vorgeschlagen:

- Log-Linear-Verfahren nach ISO 3966 für Kreisquerschnitte
- Log-Tchebycheff-Verfahren nach ISO 3966 für Rechteck und Kreisquerschnitte
- Schwerlinienverfahren nach VDI 2640 für Rechteck und Kreisquerschnitte
- Trivialverfahren nach DIN EN 12599 für Rechteckquerschnitte

Dabei wird der Volumenstrom über das Produkt aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und der zugehörigen Kanalquerschnittsfläche (**siehe Tabelle 3.1**) berechnet. Da meistens ein ungleichmäßiges Strömungsprofil zu erwarten ist, muss entsprechend dem ausgewählten Verfahren die Strömungsgeschwindigkeit an mehreren Stellen im Kanalquerschnitt gemessen und aus den Einzelwerten die mittlere Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden.

Für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit sind folgende Messgeräte geeignet:

- Flügelradanemometer
- Hitzdrahtanemometer
- Staurohr (z.B. Prandtl- oder Pitotrohr)

Als weiteres Verfahren zur Bestimmung des Volumenstromes ist das in DIN EN 12238 u. 12239 beschriebene Kompensationsverfahren zu nennen. Es wird verwendet, wenn der Luftstrom an den Luftdurchlässen bestimmt werden soll.

3.6.2 Druck

Aufgenommen wird der Totaldruck mit einer Richtungs-sonde, vorzugsweise mit dem Pitotrohr. Zur Aufnahme des statischen Drucks genügt meistens eine Bohrung in der Kanalwand. Gewöhnlich werden

beide Messstellen im Prandtl'schen Staurohr vereinigt. Gebräuchliche Druckmessgeräte sind:

- Schrägrohrmanometer
- Elektronische Druckaufnehmer
- Betzmanometer

3.6.3 Antriebsleistung

Die Antriebsleistung P_M kennzeichnet die vom Antriebsmotor aufgenommene Wirkleistung. Die Antriebsleistung P_M kann unmittelbar in der Netzleitung mit einem Wattmeter gemessen werden. Keinesfalls reicht es aus, nur Spannung und Stromstärke zu messen und die Werte zu multiplizieren. Hierfür ist zusätzlich die Kenntnis des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ notwendig.

3.6.4 Weitere Messgrößen

Für die Leistungsmessung werden zudem Messgeräte benötigt zur Bestimmung von

- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Luftdruck
- Drehzahl

3.7 Ergebniskontrolle

Wie bei allen messtechnischen Untersuchungen besteht auch bei der Leistungsmessung die Gefahr von Mess- und Auswertfehlern. Um daraus resultierende Fehlentscheidungen zu vermeiden, sind die gewonnenen Ergebnisse anhand folgender Kriterien auf Plausibilität zu prüfen:

- Der berechnete Einbauwirkungsgrad sollte zwischen 20 und 60% liegen.
- Der Betriebspunkt liegt unterhalb der Katalogkennlinie für die entsprechende Drehzahl und innerhalb des Kennfeldbereichs.

Zusätzlich ist zu bedenken, dass jede Messung mit Unsicherheiten behaftet ist, die durch die Messanordnung, die Messmethode und die Messgeräte sowie durch die Ablesung bedingt sind. Eine Fehlerrechnung für die Bestimmung der Gesamtunsicherheit jeder berechneten Kenngröße sollte deshalb nicht fehlen.

Tabelle 3.1
Zusammenstellung der Mess- u. Kenngrößen sowie der Berechnungsformeln für die Leistungsmessung

Mess- u. Kenngröße	Berechnungsformel	Einheit	Bemerkung
Luftgeschwindigkeit	$\bar{c}$	m/s	Mittelwert aus Netzmessung nach VDI 2044 oder DIN EN 12599
Bezugsfläche	$A = a \cdot b$ bzw. $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$	m ²	Rechteckkanal: a, b Seitenlängen Rundkanal: d Durchmesser
Volumenstrom	$\dot{V} = \bar{c} \cdot A \cdot 3600$	m ³ /h	Umrechnung der Dichte: $\dot{V}_1 = V_x \frac{\rho_x}{\rho_1}$
Statischer Druck	$p_{st} = p_a \pm \Delta p_{st}$	Pa	+ bei Überdruck/ - bei Unterdruck zu Umgebungsdruck p_a
Totaldruck	$p_t = p_{st} + p_d$	Pa	
Dynamischer Druck	$p_d = \frac{\rho}{2} \bar{c}^2$	Pa	
Druckerhöhung - total - frei ausblasend	$\Delta p_t = p_{t,2} - (-p_{t,1})$ $\Delta p_{fa} = p_{st2} - (-p_{t,1})$	Pa	1 Eintritt 2 Austritt fa frei ausblasend
Luftdichte	$\rho = \frac{p_{st}}{R_L \cdot T}$	kg/m ³	T Lufttemperatur in Kelvin $R_L \approx 287 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
Förderleistung	$P = \dot{V} \cdot \Delta p$	W	Total oder frei ausblasend (siehe Druckerhöhung)
Antriebsleistung	P_M	W	Elektrische Wirkleistung am Motor
Einbauwirkungsgrad	$\eta_{M,E} = \frac{\dot{V}_1 \cdot \Delta p}{P_M}$	-	Total oder frei ausblasend

4 Betriebsanalyse und Bedarfsermittlung

4.1 Vorgehen und Maßnahmen

Die Planung lufttechnischer Anlagen umfasst alle Schritte von einer gründlichen Erhebung der künftigen Funktionen der Anlage sowie der Bedingungen und der Vorgänge an den Arbeitsplätzen, Konzipierung, Auslegung, Konstruktion, und/oder Auswahl von lufttechnischen Einrichtungen für die Stofffassung und für die Lüftung. Eine Übersicht über die erforderlichen Schritte zeigt **Bild 4.1** am Beispiel einer Industriehalle.

Kennzeichen einer zielorientierten Planung lufttechnischer Maßnahmen ist es, dass alle Belange eines Arbeitsverfahrens (Arbeitsablauf, Tätigkeiten der Arbeitnehmer, Fördervorgänge und vieles mehr) integriert betrachtet und nicht nur einzelne Maßnahmen (zum Beispiel dort, wo Mängel offensichtlich sind) isoliert verfolgt werden. Ohne eine ganzheitliche Betrachtung kann es vorkommen, dass

- mit lufttechnischen Maßnahmen die Belastungssituation nur unzureichend verbessert wird, weil nur ein Teil der Stoffquellen erkannt und mit Erfassungseinrichtungen ausgestattet wird (oft werden nur die Produktionseinrichtungen betrachtet, dagegen werden z. B. Stoffemissionen bei Fördervorgängen oder bei der Zwischenlagerung von Werkstücken übersehen),
- die installierten lufttechnischen Einrichtungen von den Arbeitnehmern nicht angewendet werden, da sie andere Belange des Arbeitsverfahrens erheblich beeinträchtigen (zum Beispiel wenn Erfassungseinrichtungen nur mit großem Kraftaufwand nachzuführen sind, wenn sie den Bewegungsfreiraum einschränken oder wenn sie den Fördervorgängen im Weg sind).

Damit letzteres nicht geschieht, ist es bereits im Rahmen der Planung wichtig, Lösungsvorschläge mit den Beschäftigten an ihren Arbeitsplätzen zu diskutieren und Unterlagen bereitzustellen, mit denen die Arbeitnehmer informiert und nach Inbetriebnahme der lufttechnischen Einrichtung eingewiesen werden können, insbesondere in die Handhabung der Erfassungseinrichtungen.

Jede zielorientierte Planung muss mit der „Ermittlung und Auswertung der Grundlagen“ beginnen (Planungsschritt A). Lufttechnische Maßnahmen zur Arbeitsplatzluftreinhaltung werden im Allgemeinen nur angewandt, wenn im Rahmen einer Gefährdungsanalyse (nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes /12/), einer Arbeitsbereichs-

analyse (nach TRGS 402 /3/), im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens oder auch durch Klagen der Mitarbeiter eine Überschreitung der Grenzwerte festgestellt oder erwartet wird. Das heißt, dass der Planungsschritt A auf den Ergebnissen der vorgenannten Analysen aufbauen kann oder zugleich mit einer solchen Analyse durchgeführt wird. Dabei sind zur Planung lufttechnischer Maßnahmen wesentlich umfangreichere Informationen notwendig als zur Überprüfung einer Exposition durch gefährliche Stoffe.

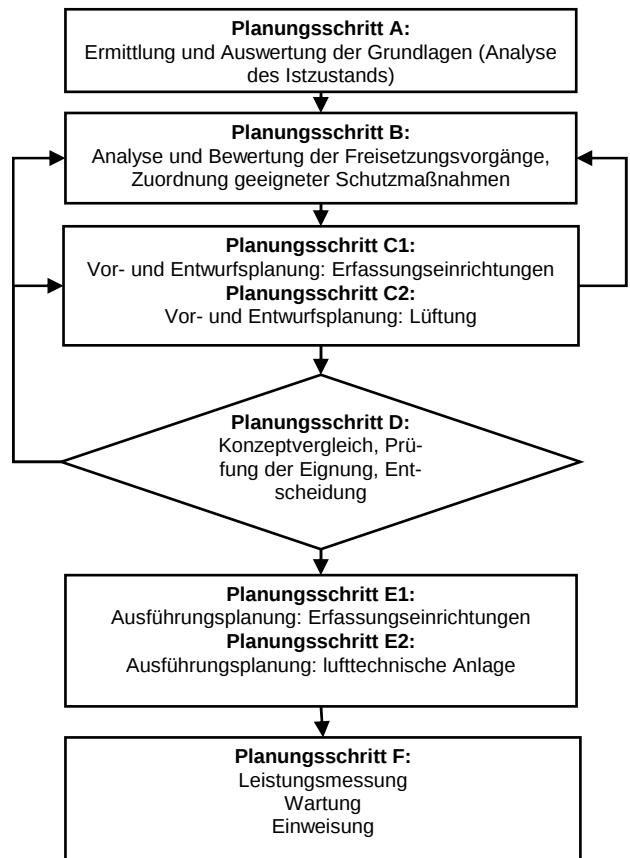


Bild 4.1: Schritte bei der Planung lufttechnischer Anlagen

Das Vorgehen und die Arbeitshilfen für Schritt A werden in Kapitel 5 erläutert. Wesentlich ist auch, dass nicht nur Daten vor Ort aufgenommen, sondern auch für die folgenden Schritte ausgewertet und aufbereitet werden. Ergebnis von Planungsschritt A muss sein, dass

- die freigesetzten Stoffe bekannt sind, damit die Grenzwerte zugeordnet werden können und geklärt werden kann, ob die Exposition durch einen Einzelstoff oder ein Stoffgemisch verursacht wird,
- die Stofffreisetzung- und Stoffausbreitungsvorgänge berechnet werden können, wobei Stoffströme, Ausbreitungswege und Zeitfunktionen ermittelt werden müssen,

- alle in dem Arbeitsraum bestehenden Strömungsvorgänge (durch natürlichen Luftaustausch, durch Förder- und Arbeitsgänge, durch Kühlluftgebläse usw.), die die Wirkung lufttechnischer Maßnahmen stören könnten, darstellbar sind,
- alle Randbedingungen des Arbeitsablaufes bekannt sind; insbesondere müssen der Arbeitsablauf selbst, die Betriebsmittel und die Tätigkeiten der Arbeitnehmer so detailliert analysiert und dokumentiert werden, dass damit die lufttechnischen Einrichtungen für eine Integration in das direkte Arbeitsumfeld gestaltet werden können (ohne dass hierdurch in der Praxis Arbeitnehmer oder Arbeitsgänge beeinträchtigt werden),
- im Gebäude die Anordnung von Luftleitungen und Luftbehandlungsgeräten festgelegt werden; es ist also insbesondere zu recherchieren, in welchen Gebäudebereichen die Leitungen installiert werden können.

Der Schritt „Analyse und Bewertung der Freisetzungsvorgänge, Zuordnung zu geeigneten Schutzmaßnahmen“ (Planungsschritt B) dient dazu, bei jedem einzelnen Freisetzungsvorgang zu entscheiden, welche Schutzmaßnahme sich dafür am ehesten eignet. Hierzu lassen sich anhand der berechneten Ausbreitungswege für die freigesetzten Stoffe bzw. kontaminierten Luftströme, anhand der freigesetzten Stoffströme und anhand deren Quellstärke Kriterien für die Einstufung aufstellen. Insbesondere dieser Planungsschritt ist gemeinsam mit allen anderen am betrieblichen Arbeitsschutz Beteiligten durchzuführen, da hier zunächst alle Möglichkeiten des Einsatzes von Primärmaßnahmen ausgeschöpft werden müssen. Dies gilt umso mehr, wenn zu befürchten ist, dass sich nur persönliche Schutzmaßnahmen anwenden lassen. Dann müssen gegebenenfalls zunächst auch aufwändige Änderungen im Arbeitsablauf oder der Einsatz organisatorischer Maßnahmen (z. B. räumliche Trennung) erörtert werden.

Ziel der „Vor- und Entwurfsplanung Erfassungseinrichtungen“ (Planungsschritt C1) ist es, die Form und Anordnung der Erfassungseinrichtungen sowie den erforderlichen Erfassungsluftstrom festzulegen, und zwar angepasst an den jeweiligen Stoffausbreitungsvorgang. Dabei ist vorab anhand von Grobkonzepten mit den Fachkräften, die die Betriebsmittel planen, zu klären, wie die Erfassungseinrichtungen gestaltet und in welchen Bereichen sie an den Betriebsmitteln angeordnet werden können. Nur so können einerseits die hohen Erwartungen (hohe Wirksamkeit, niedriger Energieaufwand und niedrige Kosten) erfüllt und andererseits sichergestellt werden, dass der Arbeitsablauf nicht gestört wird. Der Planungs-

schritt C1 ist für jeden Freisetzungsvorgang durchzuführen, für den die Schutzmaßnahme „Stofffassung“ geeignet erscheint.

Um den allgemeinen Aufwand für die Erfassungseinrichtungen und deren Qualität beurteilen zu können, müssen der Erfassungsluftstrom, der Erfassungsgrad sowie die verbleibenden Restlasten ermittelt werden. Da den Belangen der Produktivität häufig der Vorrang vor den Belangen der Arbeitsplatzluftreinhaltung gegeben wird, ist nach Vorgabe von Gewichtungen ein wertanalytischer Vergleich der unterschiedlichen Konzepte zweckmäßig. Nach Abschluss von Schritt C1 ist dann die Entscheidung über das beste Konzept für die Erfassungseinrichtung zu treffen. Abhängig vom Erfassungsluftstrom (Aufwand) und vom Erfassungsgrad (Wirkung) ist festzustellen, ob diese Erfassungseinrichtung überhaupt ihren Zweck erfüllt. Gegebenenfalls ist dann der Planungsschritt C1 zu wiederholen.

Bei der „Vor- und Entwurfsplanung Lüftung“ (Planungsschritt C2) sind geeignete Luftführungskonzepte auszuwählen, ausgehend sowohl von den Restlasten infolge nicht erfasster Stoffströme wie auch von den vorgegebenen Grenzwerten und von den im Arbeitsraum bestehenden Luftströmungen, z.B. durch Thermik, durch natürlichen Luftaustausch bei Öffnungen in den Hallenwänden, durch Kühlluftgebläse. Dabei sind auch die Möglichkeiten für die Anordnung der Zuluftdurchlässe und der Luftkanäle zu berücksichtigen. Die Kriterien hierzu werden in Kapitel 7 beschrieben. Zur Beurteilung der Qualität eines Luftführungskonzeptes sind der Belastungsgrad, der erforderliche Luftstrom sowie die sich einstellende Belastungssituation zu ermitteln. Mit Hilfe eines in Kapitel 7 vorgestellten Verfahrens können die Luftführungskonzepte miteinander verglichen werden. Hierbei sind auch wertanalytische Betrachtungen einzubeziehen, da nicht alle Belange der Luftreinhaltung und der Arbeitsverfahren quantifiziert werden können. Am Ende vom Arbeitsschritt C2 steht die Entscheidung für ein Luftführungskonzept. Hierzu ist noch anzumerken: Bei der Optimierung der Luftführungskonzepte kann sich gegebenenfalls herausstellen, dass einzelne Erfassungseinrichtungen zu verbessern sind oder der Aufwand für die lufttechnischen Maßnahmen sehr hoch wird. Dann sind die Möglichkeiten des Einsatzes von Primärmaßnahmen nochmals unter diesen neuen Gesichtspunkten zu überprüfen. Die Planungsschritte B und C sind dann zu wiederholen.

Im Rahmen des Planungsschrittes „Konzeptvergleich, Prüfung der Eignung, Entscheidung“ (Planungsschritt D) kann nur in Zusammenarbeit mit den Auftraggebern bzw. den späteren Nutzern über die weiter zu verfolgenden Luftreinhaltemaßnahmen entschieden werden. Für diesen Planungsschritt können keine verallgemeinerbaren Kriterien vorgestellt werden. Es müssen die im Rahmen der Wertanalyse in den Planungsschritten C1 und C2 aufgestellten Ziele und Gewichtungen nochmals vom Auftraggeber überprüft werden. Hierbei kann der Auftraggeber feststellen, dass er die Konzepte noch nicht vollständig akzeptiert und fordern, dass sie überarbeitet werden (Wiederholung ab Planungsschritt B).

In den Planungsschritten „Ausführungsplanung: Erfassungseinrichtungen“ (Planungsschritt E1) und „Ausführungsplanung: RLT-Anlage“ (Planungsschritt E2) werden die Konzepte in Einrichtungen und Anlagen umgesetzt. Hierbei müssen individuell gestaltete Erfassungseinrichtungen konstruiert oder handelsübliche ausgewählt sowie die Luftdurchlässe ausgelegt und ausgewählt werden. Hierfür werden nur noch zum Teil Handlungsanleitungen angeboten. Für diese Planungsschritte können jedoch die Beispiele ausgeführter Anlagen in Kapitel 8 als Vorbild dienen. Die Arbeit des Planers sollte jedoch mit dem Erstellen der Ausführungspläne und der Überwachung des Anlagenbaus noch nicht abgeschlossen sein. Wesentlich für den Erfolg von Luftreinhaltemaßnahmen ist es, dass Erfassungseinrichtungen überhaupt genutzt und Lüftungseinrichtungen in der geplanten Weise betrieben werden. Dies betrifft insbesondere die Nachführung ortsveränderlicher Erfassungseinrichtungen, das bedarfsgerechte Zu- und Abschalten der Anlagen sowie das Vermeiden zusätzlicher Emissionen. Damit das Wirken der lufttechnischen Maßnahmen zur Luftreinigung allen Arbeitnehmern verdeutlicht werden kann, sind diese nach Fertigstellung der lufttechnischen Einrichtungen zu unterweisen. Um sicherzustellen, dass die korrekte Bedienung auf Dauer beibehalten wird, sind Arbeitsanweisungen sowie Pläne zur Inspektion und Wartung zu erstellen und an den Arbeitsplätzen auszuhängen (Planungsschritt F).

4.2 Vermeidungsstrategien

Der Bau und Betrieb einer energieeffizienten lufttechnischen Anlage erfordert eine bedarfsgerechte Planung und Dimensionierung. Dies setzt voraus, dass schon in der Vorplanungsphase des Gebäudes und der lufttechnischen Anlage die Möglichkeiten der Vermeidung von freiwerdenden Wärme- und Stofflasten geprüft und bei der Planung berücksichtigt werden. Dabei sollten folgende Punkte geprüft werden:

- Kann durch eine **Verschattung** der Dach- und Fensterflächen der Wärmeeintrag von außen verringert werden?
- Ermöglicht die Gebäudebauweise die **Einspeicherung** und **Nachtauskühlung** von Wärme?
- Kann durch **Direktkühlung** Wärme direkt an der Entstehungsstelle abgeführt werden?
- Inwieweit können durch **natürliche Lüftung** über Fenster und Dachluken Wärme und Stofflasten abgeführt werden?
- Besteht die Möglichkeit, **Stoffe direkt an der Entstehungsstelle zu erfassen** und abzuführen?

Die Lage des Gebäudes, die Bauweise und Wärmedämmung, die Abmessungen des Gebäudes und die natürliche Belüftungsmöglichkeit müssen somit bei der Bedarfsermittlung für die lufttechnische Anlage berücksichtigt werden. Unter Berücksichtigung der produktionstechnischen und arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen können dadurch die notwendigen lufttechnischen Anlagen in ihrer Leistung reduziert werden, oder sogar einige lufttechnische Systeme entfallen. Oft ist es sinnvoller, anstelle der Ausstattung des gesamten Raumes (z.B. Halle) mit lufttechnischen Anlagen, Sonderlösungen wie Kabinen, Luftduschen oder begrenzte Temperaturbereiche zu schaffen, um nicht die hygienischen und technischen Grundanforderungen auf den gesamten Raum ausdehnen zu müssen.

Die konsequente Berücksichtigung aller möglichen Vermeidungsmaßnahmen sowie die Ausnutzung der Spielräume der geltenden Richtlinien führen somit hinsichtlich der lufttechnischen Anlage zu:

- geringerem Investitionsaufwand
- niedrigeren Betriebskosten
- geringerem Raumbedarf

und ist letztlich Vorbedingung für den Einsatz von energieeffizienten lufttechnischen Anlagen.

5 Optimierung von lufttechnischen Anlagen

5.1 Allgemeines

Durch geeignete Optimierungsmaßnahmen soll die Wirtschaftlichkeit einer lufttechnischen Anlage erhöht werden. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, dass:

- der Energiebedarf der Anlage gesenkt wird,
- die Anlagenleistung erhöht wird,
- die Anlagenlaufzeiten verändert werden oder
- das Betriebsverhalten verbessert wird.

Am Anfang einer Optimierungsmaßnahme empfiehlt es sich deshalb, eine mit dem Auftraggeber abgestimmte Zielvorgabe zu formulieren. Dabei sollten die Sanierungsvorstellungen (Einsparziele, Investitionsrahmen) festgelegt werden. Stellt sich dabei heraus, dass die gewünschten Ziele nicht durch Sanierung oder Optimierung der bestehenden Anlage erreicht werden können, ist ggf. ein Neubau der Anlage anzuraten.

5.2 Vorgehensweise

Ob die Durchführung einer Optimierungsmaßnahme den gewünschten Erfolg bringen wird, kann am Anfang des Optimierungsvorhabens nur grob abgeschätzt werden. **Bild 5.1** zeigt ein Ablaufdiagramm eines Optimierungsvorhabens mit dem Schwerpunkt Anlagenoptimierung durch Ventilator austausch. Die Optimierung gliedert sich in 3 Phasen. In Phase 1 wird eine Grobanalyse der lufttechnischen Anlage durchgeführt. Darauf folgt in Phase 2 eine Feinanalyse. Phase 3 kennzeichnet die Ausführung der Optimierungsmaßnahme. Nach jeder Phase wird die Einhaltung der Zielvorgabe kontrolliert. Die 3 Phasen der Anlagenoptimierung werden nachfolgend beschrieben.

5.2.1 Grobanalyse (Phase 1)

Die Grobanalyse soll ausgehend vom Ist-Zustand der lufttechnischen Anlage mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung aufzeigen und eine Einschätzung ihrer Wirtschaftlichkeit geben. Sie legt damit die wesentlichen ökonomischen und technischen Grundlagen für die Investitionsentscheidung. Die Grobanalyse bezieht sich entweder auf die gesamte lufttechnische Anlage oder einen abgrenzbaren Anlagenteil, wie z.B. das Zentralgerät.

Die Grobanalyse besteht aus den Schritten Datenerhebung, Begehung und Ausarbeitung der Maßnahmenvorschläge. Mit den Ergebnissen der Grobanalyse können die Investitionshöhe, das Einsparpotential sowie die Laufzeit und die Amortisationszeit für die empfohlenen Maßnahmen abgeschätzt werden. Hierfür kann das Diagramm in **Bild 5.2** verwendet werden. In Kenntnis der Motornennleistung des Ventilators sowie der Anlagenlaufzeit kann damit eine quantitative Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer Optimierungsmaßnahme getroffen werden. Als Faustregel gilt:

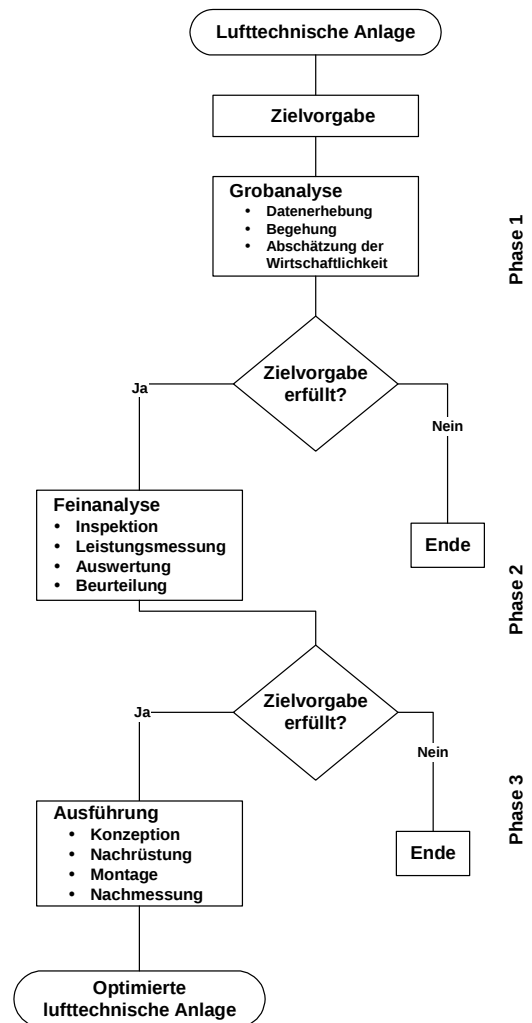


Bild 5.1
Ablaufdiagramm zur Anlagenoptimierung

Je größer die Anlagenlaufzeit und die Motornennleistung des Ventilators sind, umso höher ist die Wirtschaftlichkeit und umso kürzer ist die Amortisationszeit für das eingesetzte Kapital. Die Annahmen für das **Bild 5.2** beruhen auf Erfahrungswerten, wie sie sich in der Praxis bewährt haben. Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme verbessert sich zusätzlich, wenn sie mit notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen, wie z.B. einem anstehenden Lagerwechsel am Ventilator, kombiniert werden kann.

Theoretische Bestimmung des Ist-Betriebspunktes

Die Aussagekraft der Grobanalyse kann durch das Einfließen von weiteren Informationen gesteigert werden. Die Datenerhebung für die Grobanalyse wird durch eine Checkliste (Vordruck im Anhang) erleichtert. Von besonderem Interesse sind alle Daten des Ventilators und des Antriebs sowie die Einbaubedingungen. Zur vollständigen Dokumentation sollte eine Skizze angefertigt werden.

Diagramm zur einfachen Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Anlagenoptimierung durch Ventilatortausch (Zinssatz: 6 %)

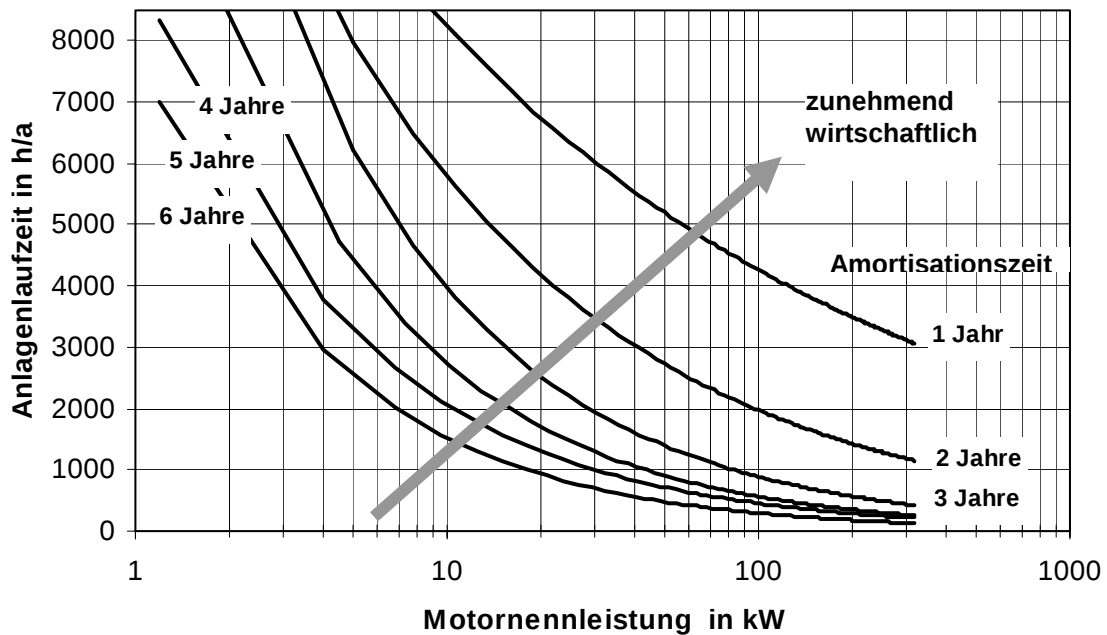


Bild 5.2
Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Weitere wertvolle Informationsquellen sind vorhandene Kennlinien und Datenblätter in den technischen Unterlagen (Betriebshandbüchern) der lufttechnischen Anlage. Auf dieser Basis lässt sich mit guter Näherung der voraussichtliche Ist-Betriebspunkt für die Auslegung eines neuen Ventilators abschätzen. Folgende Annahmen haben sich dabei in der Praxis bewährt:

- Der Antriebsmotor arbeitet im Teillastbereich mit ca. 75% der Nennleistung $P_{\text{nenn,alt}}$. Damit gilt für die elektrische Wirkleistung des Altventilators

$$P_{M,alt} \approx P_{\text{nenn,alt}} \quad (5.1)$$

- Der tatsächlich geförderte Luftstrom ist meist um ca. 10% geringer als der bei der Auslegung zugrunde gelegte Luftstrom $\dot{V}_{alt}$.
- Die Druckerhöhung Δp_{fa} des Ventilators erhält man aus dem Gerätedatenblatt.

Im nächsten Schritt wird mit diesen Daten über **Gleichung 5.2** der Einbauwirkungsgrad $\eta_{fa,M,E,alt}$ berechnet und auf Plausibilität geprüft:

$$\eta_{fa,M,E,alt} = \frac{0,9 \cdot \dot{V}_{alt} \cdot \Delta p_{fa}}{P_{M,alt}} \quad (5.2)$$

Der so ermittelte Einbauwirkungsgrad beträgt bei Altanlagen 30 bis 50 %. Bei wesentlich höheren Werten sind die Ausgangsdaten nochmals zu überprüfen.

Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der Optimierungsmaßnahme

Jede Optimierungsmaßnahme verursacht zunächst einmal Kosten. Demgegenüber werden infolge einer erfolgreich durchgeführten Optimierungsmaßnahme Kosten, meist Energiekosten, eingespart. Ob eine Optimierungsmaßnahme sinnvoll ist, hängt vor allem davon ab, ob und wie schnell die anfallenden Kosten durch die Einsparung amortisiert werden.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wird wie folgt vorgegangen:

- Bestimmung des voraussichtlichen Kapitaleinsatzes $[K_I]$
- Bestimmung der voraussichtlichen Energiekosteneinsparung $[K_E]$
- Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Der voraussichtliche Kapitaleinsatz kann im Rahmen der Grobanalyse nur abgeschätzt werden und gilt für die bei der Grobanalyse ermittelten Daten und Randbedingungen. Der voraussichtliche Kapitaleinsatz setzt sich bei einer energetischen Optimierung der lufttechnischen Anlage durch Ventilatortausch nach **Gleichung 5.3** zusammen.

$$K_I = K_V + K_A + K_M - K_R \quad (5.3)$$

- **Kosten für neuen Ventilator** [K_V] einschließlich Antrieb, Zubehör und sofern notwendig, auch einschließlich Frequenzumrichter. Die Preise sind den Herstellerkatalogen zu entnehmen.
- **Kosten für die Feinanalyse der lufttechnischen Anlage** [K_A]. Die messtechnische Erfassung des Istzustands verursacht je nach Baugröße der lufttechnischen Anlage Kosten in Höhe von 500 € bis 750 €.
- **Kosten für die Montage** [K_M] und zusätzlich notwendige Bauteile. Die Höhe der Kosten für die Montage hängt von der Anlagengröße und dem Leistungsumfang ab. Zur Abschätzung können die in **Tabelle 5.1** aufgeführten Richtwerte herangezogen werden.
- **Minderung der Investitionskosten** [K_R] durch eingesparte Instandsetzungs- und Wartungskosten für den Altventilator. In der Regel ca. 10-20 % der Ventilatorkosten.

Bestimmung der voraussichtlichen jährlichen Energiekosteneinsparung [ΔK_E]

Für die Höhe der Energiekosteneinsparung sind neben der Wirkleistungsreduzierung durch den neuen, effizienten Ventilator vor allem die Anlagenlaufzeit, d.h. die Betriebsstunden pro Jahr, und die Preise für elektrische Leistung und elektrische Arbeit entscheidend. Zudem muss bei geregelten Ventilatoren der Lastgang berücksichtigt werden. Die Berechnungsformel für die Energieeinsparungskosten lautet:

$$\Delta K_E = (P_{M,alt} - P_{M,neu}) \cdot (k_{el} + k_e \cdot t) \quad (5.4)$$

Erläuterung der Formelzeichen

$P_{M,alt}$: Motorwirkleistung Ventilator (alt)

$P_{M,neu}$: Motorwirkleistung Ventilator (neu)

k_{el} : Preis für elektrische Leistung
 $\approx 90,00 \text{ €/kW} \cdot \text{a}^*$

k_e : Preis für elektrische Arbeit
 $\approx 0,08 \text{ €/kWh}^*$

t : Anlagenlaufzeit in Stunden pro Jahr

* Stand 04/2002

Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Eine Optimierungsmaßnahme ist in der Regel wirtschaftlich, wenn sich die dafür notwendigen Investitionskosten in maximal 4 Jahren amortisieren. Bei einem angenommenen Zinssatz von 6% muss folgende Gleichung erfüllt sein

$$\Delta K_E \geq 0,3 \cdot K_I \quad (5.5)$$

Weitere Gründe, die auch bei Nichterfüllen der Bedingung in **Gleichung 5.5** für die Fortführung der Anlagenoptimierung sprechen, sind z.B.:

- Erhöhung des Volumenstroms
- Geräuschreduzierung
- Einhaltung von Luftgrenzwerten
- Steuerliche Gesichtspunkte

Volumenstrom der Anlage [m³/h]	Motor-nennleistung des Ventilators [kW]	Montagekosten [€]
Bis 6000	bis 2,2	500.-
6.000-12.000	bis 4,0	600.-
12.000-25.000	bis 7,5	800.-
25.000-60.000	bis 30,0	1000.-
60.000-200.000	bis 90,0	2500.-

Tabelle 5.1
 Richtwerte für Montagekosten bei Austausch des Ventilators /10/

1.1.1 Feinanalyse (Phase 2)

Ergibt die Grobanalyse, dass die Wirtschaftlichkeit einer Optimierungsmaßnahme voraussichtlich gegeben ist, folgt in Phase 2 die genaue Inspektion und Leistungsmessung der lufttechnischen Anlage.

Bei der Inspektion der lufttechnischen Anlage sollte besonders auf

- den Allgemeinzustand der Anlage,
- das Betriebsverhalten,
- den Ventilator,
- den Ventilatorantrieb,
- und die Regeleinrichtungen

geachtet werden und die Ergebnisse in Form von Aufschrieben und Photographien dokumentiert werden. Häufig auftretende Mängel und Auffälligkeiten sind dabei:

- Stark verschmutzte Filter und Wärmeübertrager
- Starke Verschmutzung durch Riemenantrieb
- Leckagen
- Starke Schwingungen
- Ungewöhnliche Geräuscentwicklungen
- Ungünstige Zu- und Abströmbedingungen am Ventilator

Im Anschluss daran ist eine Leistungsmessung (Kapitel 3) durchzuführen. Dabei sind für die Beurteilung der lufttechnischen Anlage folgende Größen zu bestimmen:

- Volumenstrom
- Druckerhöhung
- Antriebsleistung
- Einbauwirkungsgrad

Die Ergebnisse der Leistungsmessung sind anhand der in Kapitel 3.7 beschriebenen Kriterien auf Plausibilität und Messunsicherheit zu prüfen.

Die Feinanalyse bildet die Grundlage für die Auswahl der umzusetzenden Optimierungsmaßnahmen. Für die energetische Optimierung der lufttechnischen Anlage ist dabei oft ein Ventilator austausch anzuraten. Die bei der Feinanalyse ermittelten Betriebsdaten und Gegebenheiten der lufttechnischen Anlage erleichtern die Auswahl eines neuen, auf die Anlage abgestimmten Ventilators.

Im Zuge des Ventilator austausches sollten gleichzeitig die bei der Anlageninspektion festgestellten Einbau- und Anschlussfehler des Ventilators korrigiert werden. In **Tabelle 5.2** sind typische Einbau- und Anschlussfehler und Möglichkeiten der Beseitigung aufgeführt. Die Maßnahmen zur energetischen Optimierung einer lufttechnischen Anlage beschränken sich

nicht nur auf den Ventilator und dessen Einbausituation. Durch Austausch, Reinigung, Wartung von wesentlichen Anlagenkomponenten kann der Energieverbrauch in Folge der dadurch optimierten Betriebsbedingungen deutlich gesenkt werden:

Luftfilter: Austausch des alten, oftmals sowieso wechslungsbedürftigen Luftfilters gegen einen neuen mit vergrößerter Filterfläche. Eine größere Filterfläche führt zu einem geringeren Druckverlust und senkt somit den Leistungsbedarf der Anlage. Ein weiterer Vorteil sind die meist längeren Standzeiten moderner Filterelemente.

Schalldämpfer: Sie sind in Ihrer Wirkung und Notwendigkeit zu überprüfen. Der Ausbau des Schalldämpfers, sofern möglich, reduziert die vom Ventilator aufzubringende Druckerhöhung.

Luftkanalsystem: Festgestellte Leckagestellen sind abzudichten. Dadurch werden unnötige Verluste vermindert und dadurch die Effizienz der lufttechnischen Anlage erhöht.

Wärmeübertrager: Durch Verunreinigungen verschmutzte Wärmeübertragerflächen sind zu reinigen. Verschmutzungen erhöhen einerseits den luftseitigen Druckverlust, andererseits beeinträchtigen sie den Wärmeübergang. Beides führt zu einem unnötigen Energiemehraufwand.

Tabelle 5.2:
Typische Einbau- und Anschlussfehler des Ventilators und deren Abhilfe

Einbau- und Anschlussfehler	Abhilfe
Engmaschige Berührungsschutzgitter an Ventilatoreintritt	Schutzgitter hinter die Gerätetür verlegen
Zu kleiner Eintrittsquerschnitt in das Zentralgerät (begünstigt Drallerzeugung vor dem Ventilatoreintritt)	Querschnittsvergrößerung, Einbau von Leitblechen
Klappen unmittelbar am Ventilatoreintritt oder am Ventilatoraustritt	Verlegung der Klappen
Prallplatte in geringem Abstand vom Ventilatoraustritt	Sie können bei Austrittsgeschwindigkeiten $< 8\text{m/s}$ oder bei nachfolgendem Schalldämpfer entfallen.
Die Krümmung des Spiralgehäuses ist gegen die Krümmung eines nachfolgenden Bogens gerichtet.	Veränderung der Gehäusestellung

Am Ende von Phase 2 steht die Entscheidung an, welche Maßnahmen tatsächlich durchgeführt werden sollen. Es empfiehlt sich dabei wie folgt vorzugehen:

- Zu erwartende Wirkleistung P_{M+FU} nach **Gleichung 5.6** und den Einbauwirkungsgrad $\eta_{fa,M+FU,E,neu}$ nach **Gleichung 5.7** bestimmen:

$$P_{M+FU} = \frac{P_W}{\eta_M \cdot \eta_{FU} \cdot \eta_R} \quad (5.6)$$

$$\eta_{fa,M+FU,E,neu} = \frac{\dot{V}_{1,neu} \cdot \Delta p_{fa,E,neu}}{P_{M+FU,neu}} \quad (5.7)$$

- Effizienz-Verbesserungsfaktor ableiten (**Gleichung 5.8**). Er liegt in der Regel zwischen **20** und **50 %**!

$$f_\eta = \left(1 - \frac{\eta_{fa,M,E,alt}}{\eta_{fa,M+FU,E,neu}} \right) \cdot 100 \text{ in \%} \quad (5.8)$$

- Optimierungsumfang festlegen
- Angebote von Fachfirmen einholen
- Amortisationszeit bestimmen
- Investitionsentscheidung

5.2.3 Ausführung (Phase 3)

Nachdem die beauftragte Fachfirma die entsprechenden Maßnahmen durchgeführt hat, ist eine erneute Leistungsmessung durchzuführen. Sie dient als Nachweis für die tatsächlich erreichte Optimierung der lufttechnischen Anlage. Die Vorgehensweise hierzu ist analog zur Vorgehensweise im Rahmen der Feinanalyse.

5.3 Hinweise zur Planung und Auslegung von Neuanlagen

Die Planung und Auslegung einer lufttechnischen Anlage hat einen maßgeblichen Einfluss auf die spätere Energieeffizienz der lufttechnischen Anlage. Dabei sollten nachfolgend aufgeführte Grundregeln befolgt werden:

- Bedienung und Wartung der einzelnen Komponenten bereits in der Planung berücksichtigen. Schaffung von Zugangsmöglichkeiten für Bedienung, Reinigung, Demontage und Ersatz, z.B. durch Kontrollfenster und -Inspektionstüren.
- Anzeigeeinstrumente für Messungen und Überwachungen vorsehen.
- Komponenten und Bauteile nach Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit, Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit auswählen.

- Strömungsgünstige Ausbildung der Luftwege. Druckverluste in der gesamten Lüftungsanlage sind zu minimieren.
- Ansaugort für die Außenluft nach der örtlichen Luftqualität und Lufttemperatur auswählen.
- Anlage mit stabilem Betriebspunkt und unterhalb der maximal zulässigen Werte von Leistung, Schallpegel, Geschwindigkeit, Temperatur und Druck auslegen
- Chronologische Erfassung der Informationen bezüglich Wartung, Unterhalt und Änderungen (Logbuch vor Ort verwenden).
- Dokumentationen nachführen. Instandhaltungsplan und die notwendigen Arbeitspläne erstellen und den Erfahrungen anpassen.

Für die wesentlichen Komponenten einer lufttechnischen Anlage (Ventilator, Luftleitungen und Filter) können zur praktischen Umsetzung der Grundregeln folgende Empfehlungen gegeben werden:

Ventilatoren

Bei der Ventilatorenauswahl sollte neben den Auslegungskriterien Volumenstrom, Druckerhöhung und Schalleistungspegel besonders auf einen hohen Wirkungsgrad geachtet werden. Dies gilt insbesondere bei Anlagen mit einer hohen Anzahl an Jahresbetriebsstunden und mit großen zu transportierenden Volumenströmen.

Ventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus und sind zu bevorzugen. Um auch im Teillastbetrieb einen sicheren Betrieb der lufttechnischen Anlage zu gewährleisten, ist zudem auf eine gute Regelbarkeit des Ventilators zu achten.

Luftleitungen

Strömungsgünstig ausgebildete und undichte Luftleitungen führen im Betrieb zu hohen Kosten. Somit sind eine optimierte Luftkanalführung und -auslegung Voraussetzung für einen energieeffizienten Betrieb der lufttechnischen Anlage. Es sollten folgende Forderungen erfüllt sein:

- Möglichst kurze Gesamtleitungslänge
- Möglichst große Luftleitungsquerschnitte; Für die Dimensionierung können nach VDI 3802 folgende Richtwerte der Luftgeschwindigkeit angenommen werden:
Hauptleitung: $w_{Luft} = 5$ bis 10 m/s
Nebenleitung: $w_{Luft} = 4$ bis 8 m/s
- Keine sprungartigen Kanalerweiterungen
- die Fortluft sollte auf der Windsogseite ausgeblasen werden, um unnötige Luftwiderstände zu vermeiden

Zudem sind kaltluftführende Leitungen innerhalb beheizter Räume, sowie warmluftführende Leitungen innerhalb unbeheizter Räume zu dämmen.

Luftfilter

Luftfilter dienen zur Abscheidung von Staub und anderen Verunreinigungen aus der Luft.

An Luftfilter werden folgende Anforderungen gestellt:

- Ausreichender und möglichst gleichmäßiger Abscheidegrad
- Ausreichende Staubspeicherfähigkeit, also lange Standzeit
- Möglichst geringer Druckverlust
- Leichte Wartung

Zur Beurteilung und Auslegung von Filteranlagen wird der Abscheidegrad in Prozent in Abhängigkeit von der Staubgröße herangezogen. Der Abscheidegrad ist das Verhältnis von abgesetzter Staubmasse zur in der Luft enthaltenen Staubmasse.

Die Verschmutzung des Luftfilters ist mit fest eingebauten Messgeräten vor Ort zu überwachen. Die wirtschaftliche Enddruckdifferenz, d.h. die Druckdifferenz, bei der das Filterelement gewechselt werden soll, kann über eine Bilanz der Filterwechsel- und Luftförderkosten bestimmt werden.

Bei der Auswahl von Luftfiltern sollte auf eine möglichst lange Standzeit geachtet werden. Deshalb ist ein Feinfilter nur in der Kombination mit einem Grobstaubfilter sinnvoll. Zudem sollte auf eine niedrige Flächenbelastung geachtet werden.

Bei der Festlegung der Filterklasse sind für Aufenthalts- bzw. Arbeitsräume die Auswahlkriterien der DIN 1946 Teil 2 zu beachten. Bei einstufiger Filterung sollte demnach das Filterelement mindestens der Klasse F5 entsprechen.

5.4 Anlagenbetrieboptimierung durch Gebäudeleittechnik

Mit Hilfe der Gebäudeleittechnik (GLT) lassen sich die im Gebäude verteilten technischen Anlagen von einer zentralen Stelle aus überwachen, steuern und regeln (**Bild 5.3**).

Durch die Zusammenführung und Verarbeitung verschiedener Informationen kann so der Betrieb der technischen Anlagen aufeinander abgestimmt werden. Dies schafft eine Voraussetzung für einen energiesparenden Betrieb.

Ein typisches Beispiel für die Koordination einzelner Anlagen durch die Gebäudeleittechnik ist die kombinierte Steuerung von Sonnenschutz, Beleuchtung und lufttechnischer Anlage in Abhängigkeit der Lufttemperatur und der Luftfeuchten in und außerhalb des Gebäudes sowie der solaren Einstrahlung.

Die Gebäudeleittechnik ermöglicht es, einzelne Anlagen in ihrer Funktion sowohl auf die momentanen Anforderungen als auch aufeinander abzustimmen. So wird beispielsweise der Sonnenschutz in der warmen Jahreszeit jeweils nur soweit geschlossen, dass der Lichtsensor noch genügend Tageslicht meldet. In der Heizperiode dagegen wird er soweit geöffnet, dass noch keine Blendung durch zuviel Tageslicht eintritt. Auf diese Weise können der Bedarf an elektrischer Energie und der Bedarf an Kühlung im Betrieb jeweils auf ein gemeinsames Optimum gebracht werden.

Voraussetzung für die korrekte Funktion solcher integralen Steuerungen ist eine genaue Kenntnis der Gebäudeeigenschaften und der Anlagenfunktionen. Ebenso müssen Änderungen in der Anlagentechnik jeweils in den Steuer- Algorithmen berücksichtigt werden.

Auch an lufttechnischen Anlagen lassen sich durch entsprechende Programme zur Betriebsüberwachung, Störungsüberwachung und Energieoptimierung Energieeinsparungen erzielen. Ausgewählte Betriebsweisen, die sich mit Hilfe der Gebäudeleittechnik realisieren lassen, sind:

- Zeitgetakteter Betrieb
- Gleitender Betrieb
- Zyklischer Betrieb
- Angepasster Betrieb der Anlagen zur Wärme und Kälteerzeugung
- Berücksichtigung des Betriebszustands und des Außenklimas bei Anlagensteuerung

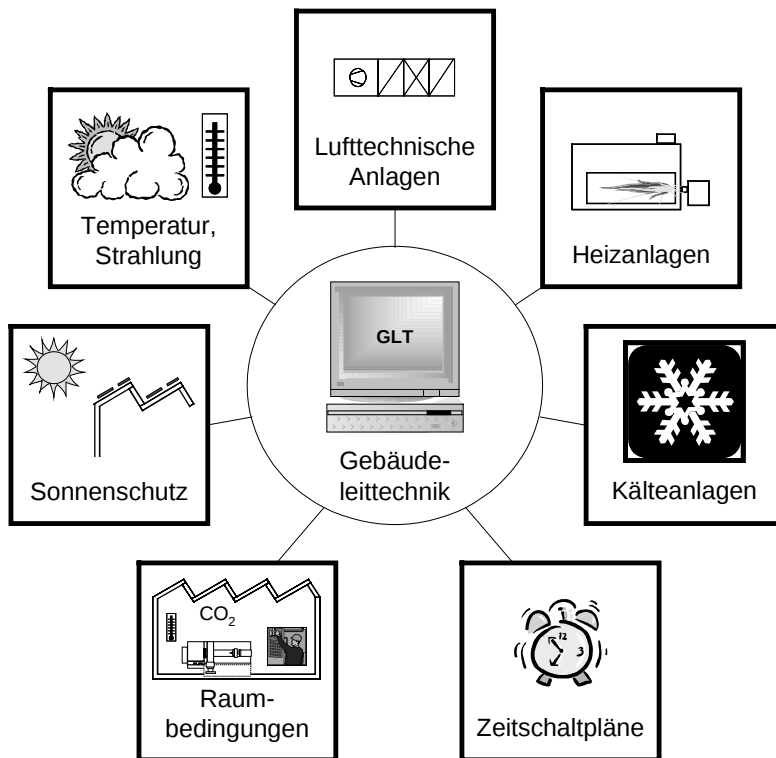


Bild 5.3
Verknüpfungsmöglichkeiten von Informationen durch die Gebäudeleittechnik

6 Energieeffiziente Lüftungssysteme

Bei der Auswahl eines geeigneten Lüftungssystems stehen zwei Überlegungen im Vordergrund:

- Individuelle Anpassung der Leistung an die wechselnden Erfordernisse in den einzelnen zu belüftenden Räumen.
- Möglichst geringer Aufwand für den Transport der Luft- und Wärme/Kälte-Ströme, d.h. geringer Energie-, Raum- und Investitionsbedarf.

Im Folgenden werden ausgewählte Lüftungssysteme und Anlagenteilsysteme vorgestellt, die sich durch eine hohe Energieeffizienz auszeichnen oder dazu beitragen.

6.1 Zentrale Lüftungssysteme

Einkanalsystem

Beim einfachsten zentralen Lüftungssystem, dem Einkanalsystem, sind alle Funktionen der Luftkonditionierung in einer Zentrale zusammengefasst (**Bild 6.1**). Die konditionierte Luft gelangt über einen gemeinsamen Zuluftkanal, von dem Verzweigungen abgehen, zu den Räumen. Jeder Raum wird dabei mit Luft gleichen Zustands versorgt. Eine bedarfsgerechte, individuelle Regelung von Lufttemperatur und Feuchte für einzelne Räume ist nicht möglich. Aus energetischen Gründen sollte deshalb dieses System nur bei klimatisch gleichartigen Räumen Verwendung finden.

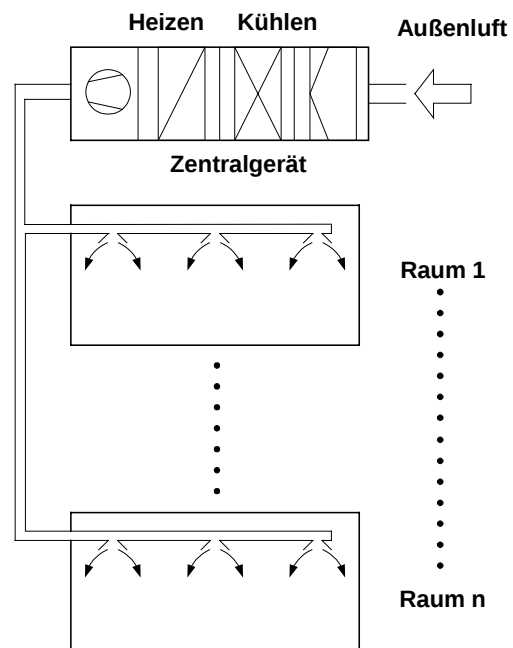
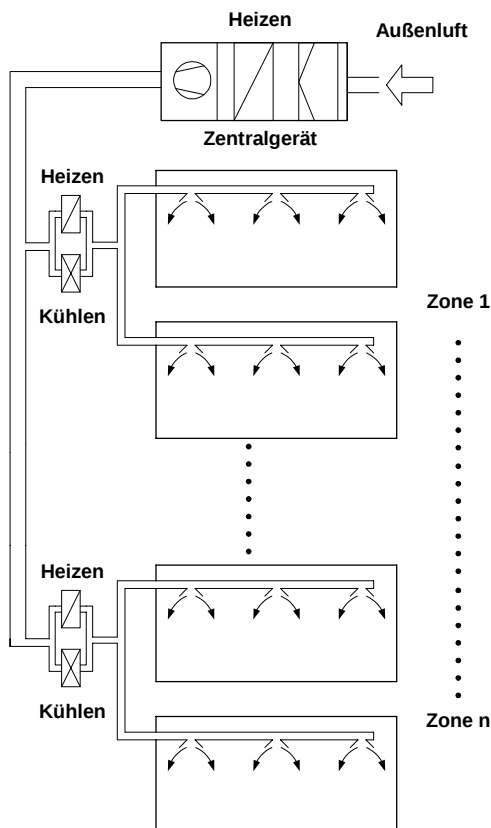


Bild 6.1
Einkanalsystem

Energieeffizienter sind Mehrzonensysteme. Hierbei wird das Kanalnetz in Zonen mit gleichen klimatischen Anforderungen aufgeteilt. Die Luft wird im Zentralgerät vorkonditioniert und für jede Zone individuell mit entsprechenden Wärmeübertragern nach den wechselnden Erfordernissen temperiert. Die Wärmeübertrager können einen Bestandteil des Zentralgeräts bilden oder, wie in **Bild 6.2**, in der Nähe der zu belüftenden Räume untergebracht sein.

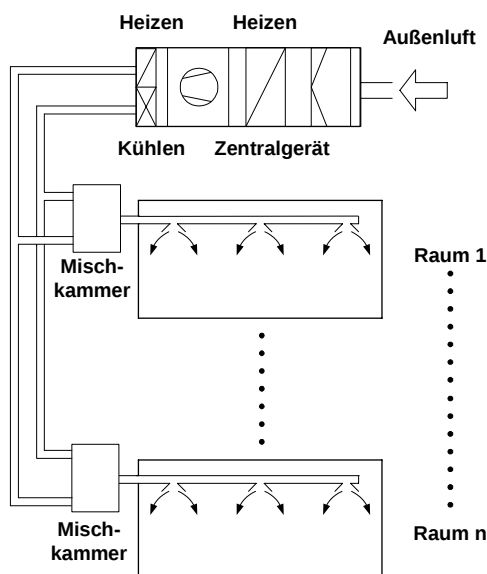
Bild 6.2
Mehrzonensystem



Zweikanalsystem

Für eine größere Zahl von Einzelräumen unterschiedlicher Belastung, stellt die Zusammenfassung in Zonen mit entsprechend vielen Zuluftkanälen keine optimale Lösung dar. In diesem Fall ist es besser die Zuluftkanäle auf zwei zu reduzieren, einen für die erwärmte und einen für gekühlte Luft und vor Ort die beiden Luftströme in einem Mischkasten (Bild 6.3) entsprechend den Anforderungen des Raumes zu mischen.

Bild 6.3
Zweikanalsystem



6.2 Dezentrale Lüftungssysteme

In Betrieben werden zur Belüftung, Heizung und Kühlung von eingeschossigen Hallen zunehmend dezentrale Lüftungssysteme eingesetzt. Bei diesen Lüftungssystemen sind in einem kompakten Gerät alle notwendigen Funktionen einer lufttechnischen Anlage vereint und aufeinander abgestimmt (Bild 6.4). Durch eine Dachöffnung werden sowohl Außenluft angesaugt als auch Fortluft ins Freie abgegeben. Ein aufwändiges Kanalleitungsnetz entfällt. Zudem spart der Dacheinbau Platz in der Halle (Bild 6.5). Durch eingebaute Wärmerückgewinner wird ein Teil der Wärme aus der Abluft für die Erwärmung der Zuluft genutzt. Rückwärmezahlen von bis zu 63 % sind möglich. Bei Kondensation sogar 75 %.

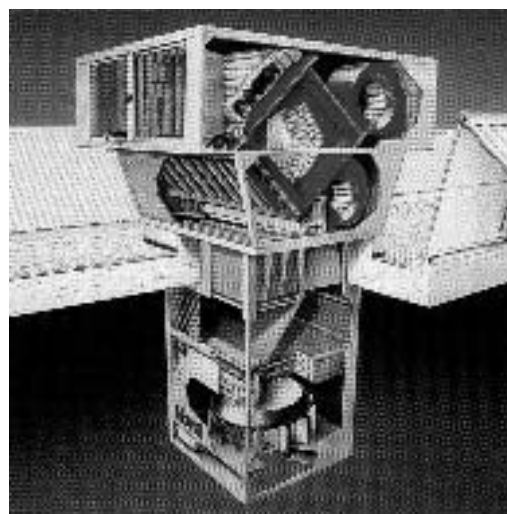


Bild 6.4
Dezentrales Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung*

Je nach Ausstattung können dezentrale Lüftungssysteme in den folgenden Betriebsarten betrieben werden:

- Be- und Entlüftung mit/ohne Wärmerückgewinnung
- Be- und Entlüftung mit/ohne Wärmerückgewinnung und Heizung/Kühlung
- Umluftbetrieb mit Heizung/Kühlung
- Fortluftbetrieb
- Nachtkühlung im Sommer

Die Vorteile von dezentralen Lüftungssystemen gegenüber zentralen Lüftungssystemen sind:

- Geringere Betriebskosten durch die Möglichkeit einer bedarfsgerechten, zonenabhängigen Lüftung
- geringere Installations- und Luftförderkosten durch den Wegfall des Luftleitungsnetzes

* Werksbild Hoval

Bild 6.5
Produktions-
halle ausge-
rüstet mit
dezentralem
Lüftungssy-
stem im
Hallendach*



6.3 Wärme- und Kälteerzeugung

Neben dem Transport der zur Belüftung des Raumes notwendigen Luft gehört die Erwärmung und Kühlung der Außenluft zu den zentralen Aufgaben einer lufttechnischen Anlage. Die Luft wird dabei entsprechend den Anforderungen mit Hilfe von Lufterwärmern und Luftkühlern konditioniert. Für die Wärmeübertragung an die Luft kommen meist mit einem Medium durchströmte Wärmeübertrager zum Einsatz.

Typische Medien sind bei der Lufterwärmung

- Wasser
- Wasserdampf

und bei der Luftkühlung

- Sole (Wasser mit Frostschutzzusatz)
- Kältemitteldampf

Ein Rohrsystem mit Umwälzpumpe verbindet den Wärmeübertrager mit dem Bereitstellungssystem für Wärme bzw. Kälte. Das Medium wird darin im Kreislauf geführt und transportiert dabei Wärme bzw. Kälte vom Bereitstellungssystem zum Wärmeübertrager.

Wärmeerzeugung

Typische Bereitstellungssysteme für Wärme sind

- Heizkessel (Betrieb mit Öl-, Gas, oder Festbrennstoff)
- Blockheizkraftwerke
- Wärmepumpen
- Fernwärme
- Solarkollektoren
- Im Betrieb anfallende Prozesswärme

Zur Steigerung der Energieeffizienz können einzelne Systeme miteinander kombiniert werden. **Bild 6.6** zeigt eine Kombinationsmöglichkeit verschiedener Wärmequellen. Dabei wird z.B. die Grundlast über ressourcenschonende Wär-

mequellen, wie Solarenergie und Fernwärme gedeckt und nur zur Deckung der Spitzenlast der Heizkessel zugeschaltet.

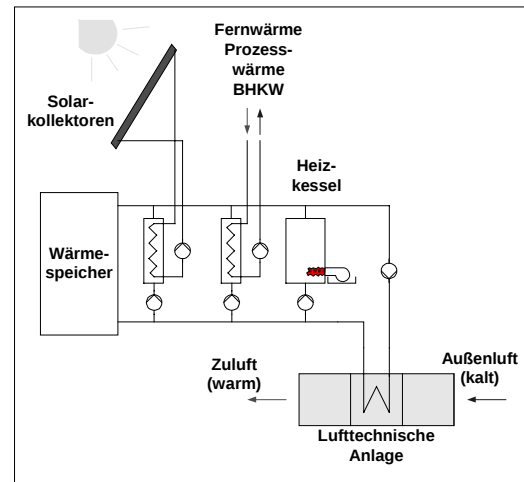


Bild 6.6
Beispiel einer
energieeffizi-
enten Kombi-
nation von
Wärmebereit-
stellungssyste-
men (Schema)

Eine weitere Möglichkeit, die Außenluft zu erwärmen, ist der Einsatz von Direktlufterwärmern und Elektrolufterwärmern. Bei der Direktlufterwärmung wird die Luft über einen im Luftkanalsystem eingebauten öl- oder gasbetriebenen Brenner direkt erwärmt.

Kälteerzeugung

Wie bei der Lufterwärmung wird der Luft durch einen Wärmeübertrager die Wärme entzogen. Der Wärmeübertrager ist über zwischengeschaltete Kreisläufe mit der Kälteanlage verbunden. Für kleine Kälteleistungen bis ca. 60 kW kann der Wärmeübertrager auch direkt mit dem Kältekreislauf verbunden werden. Zur Kälteerzeugung werden häufig Kompressionskälteanlagen eingesetzt. **Bild 6.7** zeigt das Schema einer indirekten Luftkühlung mit Kompressionskälteanlage und Kühlturm.

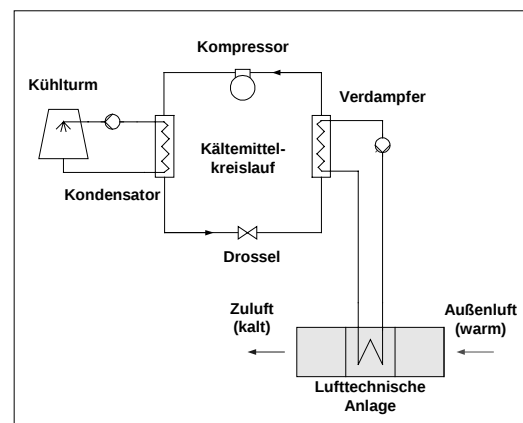


Bild 6.7
Schema ei-
ner indirek-
ten Luft-
kühlung mit
Kompressi-
onskältean-
lage

Die wesentlichen Komponenten und Verfahrensstufen zur Kälteerzeugung mit Kompressionskälteanlagen sind:

- Werksbild Hoval

Verdampfer

Aufnahme von Wärme aus dem zu kühlenden Medium, das Kältemittel verdampft dabei.

Kompressor

Verdichten des Dampfes auf einen höheren Druck.

Kondensator

Abgabe der zugeführten Wärme aus dem Verdampfer und der Verdichtung, das Kältemittel kondensiert dabei (Rückkühlung). Abgabe der Wärme direkt an die Außenluft oder über Kühlturm.

Drossel

Expansion des flüssigen Kältemittels auf Verdampfungsdruck.

Die Bauelemente sind in einem geschlossenen Kreislauf miteinander verbunden, in dem Kältemittel zirkuliert. Der Hauptenergieverbraucher bei Kompressionskältemaschinen ist der Antriebsmotor für den Kompressor. Im Folgenden werden Kälteerzeugungsverfahren vorgestellt, bei denen auf den Kompressor verzichtet werden kann. Alternativen zur konventionellen Kühlung mit Kompressionskältemaschinen:

Die thermische Nutzung der Sonnenenergie in lufttechnischen Anlagen zur Kühlung und Entfeuchtung stellt eine interessante Alternative zu konventionellen Verfahren, z.B. mit Kompressionskältemaschinen dar. Bei der Sanierung von lufttechnischen Anlagen sollte deshalb die Einsatzmöglichkeit (siehe **Tabelle 6.1**) dieser Technologie zumindest geprüft werden.

Die nutzbare Energiemenge ist von der Jahreszeit, den Witterungsbedingungen und von der Tageszeit abhängig. Nach [13] können folgende Richtwerte angenommen werden: Die jährliche Einstrahlung auf eine horizontale Fläche liegt zwischen 900 und 1200 kWh/(m²a). Aufgrund der natürlichen Bedingungen sind jedoch übers Jahr starke Schwankungen zu verzeichnen. Vorteilhaft ist, dass im Sommer, wenn die Kühllast am größten ist, die Sonne am meisten Solarenergie liefert. Anstelle der solar gewonnenen Wärme kann auch prozessbedingte Abwärme, Fernwärme oder Abwärme aus der Kraft-Wärmekopplung (BHKW) zum Betrieb der Anlagen eingesetzt werden.

Verfahren

In **Tabelle 6.1** werden die thermischen Verfahren zur Kälteerzeugung der Kälteerzeugung mit Kompressionskältemaschinen gegenübergestellt. Die aufgeführten Betriebs- und Auslegedaten zeigen die Einsatzmöglichkeiten auf. Wärme kann zum Antrieb von Ab- und Adsorptionskälteanlagen sowie in DEC-Anlagen verwendet werden.

Absorptionskälteanlagen

Absorptionskälteanlagen arbeiten nach dem Kaltdampfprozess. Sie erzeugen Kälte, in dem sich das in der Anlage befindliche Stoffpaar durch Wärmezufuhr trennt und unter Wärmeabgabe vereint. Der Hauptunterschied zu klassischen Kompressionskälteanlagen ist der fehlende mechanische Verdichter. Er wird durch einen zusätzlichen Lösungsmittelkreislauf ersetzt. Die ungesättigte Lösung absorbiert Kältemitteldampf im Absorber bei niedrigem Druck. Mit einer Pumpe wird sie in den Generator gefördert und dort beheizt. Dabei wird der Kältemitteldampf ausgetrieben und im Kondensator niedergeschlagen.

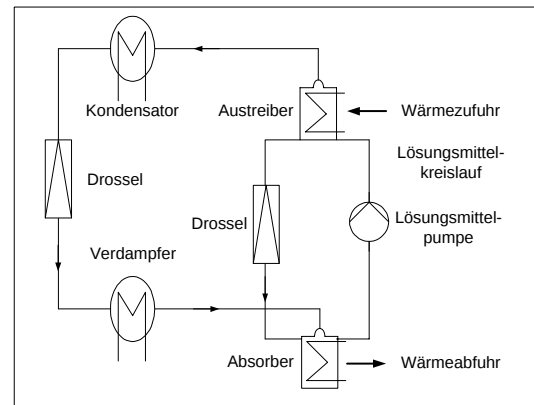


Bild 6.8
Schema einer Absorptionskälteanlage

Adsorptionskälteanlagen

Bei Adsorptionskälteanlagen wird das verdampfte Kältemittel nicht in einer Lösung absorbiert, sondern an der Oberfläche eines festen Stoffes adsorbiert. Durch Wärmezufuhr wird das Kältemittel wieder ausgetrieben. Da sich der feste Adsorptionsstoff nicht umpumpen lässt, arbeiten diese Anlagen periodisch im Wechsel zwischen Kühlvorgang und Austreibungs Vorgang.

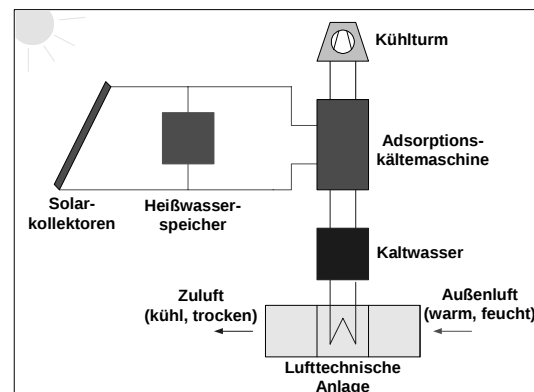


Bild 6.9
Lufttechnische Anlage ausgerüstet mit solarunterstützter Adsorptionskältemaschine (Schema)

Tabelle 6.1
Vergleich
der Verfah-
ren zur Käl-
terzeugung

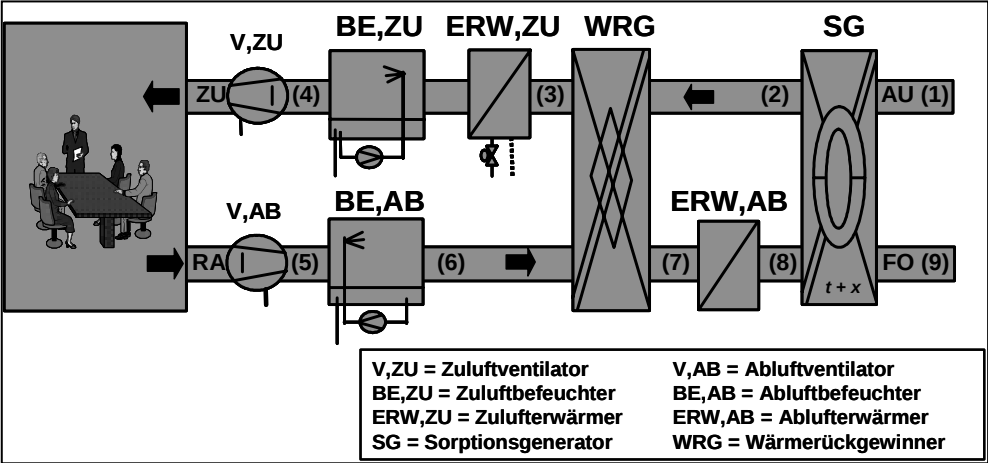
Anlagentyp	Kompressions- kältemaschine	Absorptions- kältemaschine	Adsorptions- kältemaschine	DEC-Anlage
Physikalischer Effekt	Verdampfung d. Kältemittels mit Abführen durch mechanischen Verdichter	Verdampfung d. Kältemittels mit Abführen durch Absorption in Lösemittel	Verdampfung d. Kältemittels mit Abführen durch Adsorption in Feststoffe	Verdunstung d. Kältemittels durch Aufnahme in ungesättigter Luft
Kältemittel	FKW, z.B. R 134a	Wasser mit (LiBr), NH ₃ mit Wasser als Absorptionsmittel	Wasser mit Feststoff als Adsorptionsmittel (Silicalgel)	Wasser mit Feststoff als Sorptionsmittel
Verdichtungsprinzip	mechanischer Verdichter zur Druck- und Temperaturerhöhung	thermischer Verdichter als Lösungsmittelkreislauf mit Absorption, Druckerhöhung mittels Pumpe, Desorption in Austreiber und Entspannung	thermischer Verdichter als Wechselspeicher mit Umschaltregeneratoren zur Adsorption und Desorption, verbunden mittels Pumpe zur Druckerhöhung	thermischer Verdichter als Feststoffkreislauf mit rotierendem Sorptionsgenerator zur Luftentfeuchtung u. Erhöhung der Partialdruckdifferenz sowie thermischer Regeneration.
Antriebsenergie	Elektroenergie, Gas oder Öl	Wärme Dampf, Heizwasser, Gas	Wärme Heizwasser	Wärme Heizwasser, Abwärme, Solarwärme
Heiztemperatur	-	85°C...180°C	55°C...95°C	40°C...65°C
Kältetemperatur	-26°C...+15°C	+5°C...+15°C	+5°C...+15°C	+5°C...+30°C
Bewertung (Leistungszahl/Wärmeverhältnis)	$\epsilon_K = 4...5$	$\zeta_K = 0,66...1,09$	$\zeta_K = 0,45...0,65$	$\zeta_K = 0,88$
Primärenergieausnutzungsgrad	$\zeta_{PR} = 1,40...1,75$	$\zeta_{PR} = 0,54...0,98$	$\zeta_{PR} = 0,41...0,56$	$\zeta_{PR} = 0,79$
Vorteile	kompakt und kostengünstig	Sehr geringe elektr. Anschlussleistung, verschleiß-/wartungsarm		hohe Wärmerückgewinnung im Winter
Nachteile	hohe Geräuscentwicklung	Hohe Investitionskosten, Anfahrverhalten (15-30 Min.)	Sehr hohe Investitionskosten, Größe, schlecht regelbar	Platzbedarf
Marktanteil	groß	gering	sehr gering	sehr gering

DEC-Anlagen

Bild 6.10 zeigt das Anlagenschema einer DEC-Anlage (Dessicative and Eporative Cooling), mit der eine Vollklimatisierung auch bei ungünstigen Außenluftzuständen ohne Einsatz einer Kältemaschine möglich ist. Der Sorptionsgenerator ist die Hauptkomponente einer DEC-Anlage. Mit ihm können Wärme- und Stoffströme übertragen werden. Der Aufbau des Sorptionsgenerators entspricht im wesentlichen dem eines Regenerativ-Wärmeübertragers.

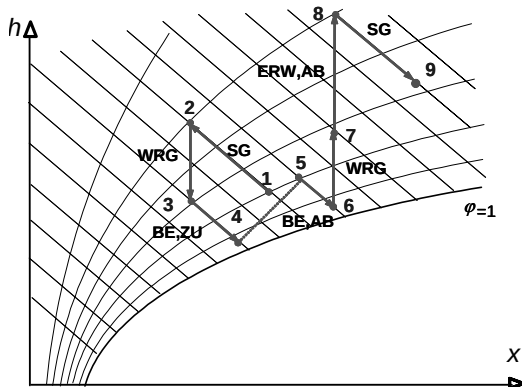
Das Grundprinzip besteht darin, dass eine langsam rotierende Speichermasse im Gegenstrom von zwei Luftströmen durchströmt wird. Für den Betrieb des Sorptionsgenerators wird thermische Energie benötigt. Der Zustandsverlauf im Kühlfall wird im Folgenden anhand **Bild 6.11** erläutert. Ausgangspunkt ist die Außenluft AU (1), die im Sorptionsgenerator (SG) entfeuchtet wird und sich dabei auf den Zustand (2) erwärmt. Die sich anschließende Wärmerückgewinnung (WRG)

Bild 6.10
Schema ei-
ner DEC-
Anlage



führt zu einer Abkühlung des Zuluftstroms (2-3). Danach wird die Luft im adiabaten Wäscher (BZ) auf den Zuluftzustand ZU (4) befeuchtet und gekühlt. Der Zulufterwärmer (EZ) geht nur im Heizfall in Betrieb. Die Raumluft RA (5) wird durch einen zweiten adiabaten Wäscher (BA) auf den Zustand (6) befeuchtet und gekühlt. Dadurch lässt sich das Potential zur Kühlung der Außenluft durch die Wärmerückgewinnung (WRG) vergrößern. Reicht die Anhebung der Temperatur des Abluftstromes durch die Wärmerückgewinnung (6 nach 7) nicht zur Regeneration des Sorptionsgenerators (8 nach 9) aus, wird die Luft im Abluftwärmer (EA) nachgeheizt (7 nach 8).

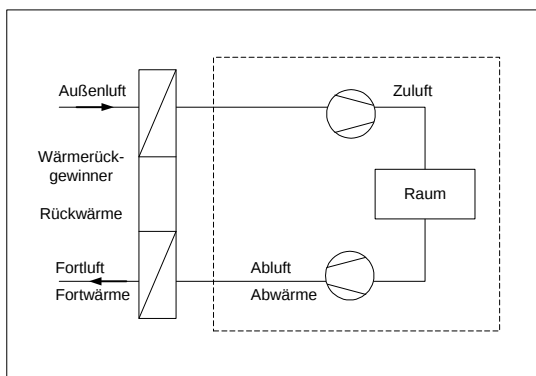
Bild 6.11
Zustandsverlauf von Zu- und Abluft im h,x -Diagramm beim DEC-Verfahren. (Bezeichnungen siehe Bild 6.10)



6.4 Wärmerückgewinnung

Der Wärmebedarf zur Erwärmung kalter Außenluft auf Raumtemperatur kann speziell bei hohen Außenluftraten ein Vielfaches des Transmissionswärmebedarfs betragen. Durch Wärmerückgewinnungssysteme wird Wärme aus der Abluft zur Erwärmung der kalten Außenluft genutzt (Bild 6.12). Bei lufttechnischen Anlagen mit Wärmerückgewinnung muss nur noch für die verbleibende Restheizlast Energie aufgewendet werden.

Bild 6.12
Schema der Wärmerückgewinnung nach VDI 2071



Die Vorteile der Wärmerückgewinnung sind:

- Verringerung der zu installierenden Leistungen für Heizung und Befeuchtung und damit Kostenreduzierung für Kesselanlagen und Rohrleitungen

- Verringerung des Wärmeenergieverbrauchs und damit Reduzierung der Betriebskosten
- Verringerung der energiebedingten Schadstoffemissionen

Wärmerückgewinnungssysteme können in 4 Kategorien eingeteilt werden.

- Rekuperative Systeme (z.B. Plattenwärmetauscher)
- Regenerative Systeme (z.B. Kreislaufverbund-Wärmetauscher, Wärmerohr)
- Rotationswärmetauscher
- Wärmepumpe

Das Wärmerückgewinnungssystem ist so auszuwählen, dass die angestrebte hohe Wärmeausbeute mit einem Minimum an Zusatzenergieverbrauch für den Betrieb dieser Anlage erzielt wird. Hierzu sind insbesondere höhere zusätzliche luftseitige Widerstände durch unnötig lange Luftleitungen, Umlenkungen und sonstige Einzelwiderstände zu vermeiden und die notwendigen Wärmeaustauscher für die Luftnachbehandlung hydraulisch günstig in den Wasserkreislauf einzubinden.

Von den verschiedenen Wärmeübertragungssystemen liegen hierfür besonders beim Kreislaufverbundsystem (Bild 6.13) günstige Voraussetzungen vor. Bei diesem System wird die Wärme zwischen den Luftströmen über je einen Wärmeaustauscher in der Fort- und in der Außenluft, verbunden durch ein Rohrsystem mit zirkulierendem Wasser übertragen.

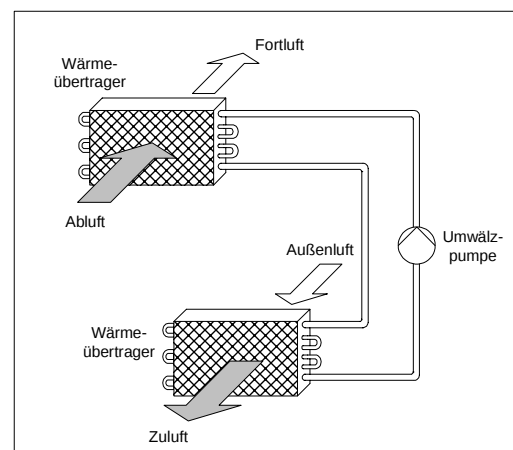


Bild 6.13
Wärmerückgewinnung mit Kreislaufverbundsystem

Mit Hilfe eines zusätzlichen Wärmetauschers im Umwälzkreis können zudem weitere Wärmequellen (z.B. Abwärme, Solarenergie) zur Luft-erwärmung genutzt werden.

7 Konzipierung und Auslegung von luft-technischen Anlagen

7.1 Allgemeine Hinweise

Erfassungseinrichtungen sind prinzipiell die effizienteste und deshalb in erster Linie anzustrebende Maßnahme, um die Ausbreitung von luftfremden Stoffen zu verhindern bzw. zu begrenzen. Durch sie können die freigesetzten Stoffe unmittelbar am Freisetzungsort mit dem geringsten Aufwand (Luftstrom, Kosten) erfasst und abgeführt werden. Das Ziel der Konzipierung von Erfassungseinrichtungen muss daher sein, eine hohe Wirksamkeit mit möglichst geringen Erfassungsluftströmen zu erzielen. Nur so können die zunehmenden Anforderungen an die Luftqualität in Produktionsstätten sowie das Bestreben der Betreiber, den Energieaufwand und die Kosten zu begrenzen, erfüllt werden.

Alle freigesetzten Stoffe, die aufgrund einer unvollständigen Erfassung in den Arbeitsbereich gelangen, müssen mit einem erheblichen größeren Aufwand durch die Maßnahme der Belüftung aus dem Raum oder Raumbereich abgeführt bzw. auf das erforderliche Konzentrationsmaß reduziert werden.

Die auf den Anwendungsfall abgestimmte Konzipierung von Erfassungseinrichtungen stellt damit einen ersten wesentlichen Schritt dar, die lufttechnischen Maßnahmen wirksam und wirtschaftlich einzusetzen. Der 2. Schritt folgt dann mit der auf die Freisetzungsvorgänge und die Erfassungseinrichtungen abgestimmten Planung und Auslegung der Luftführung.

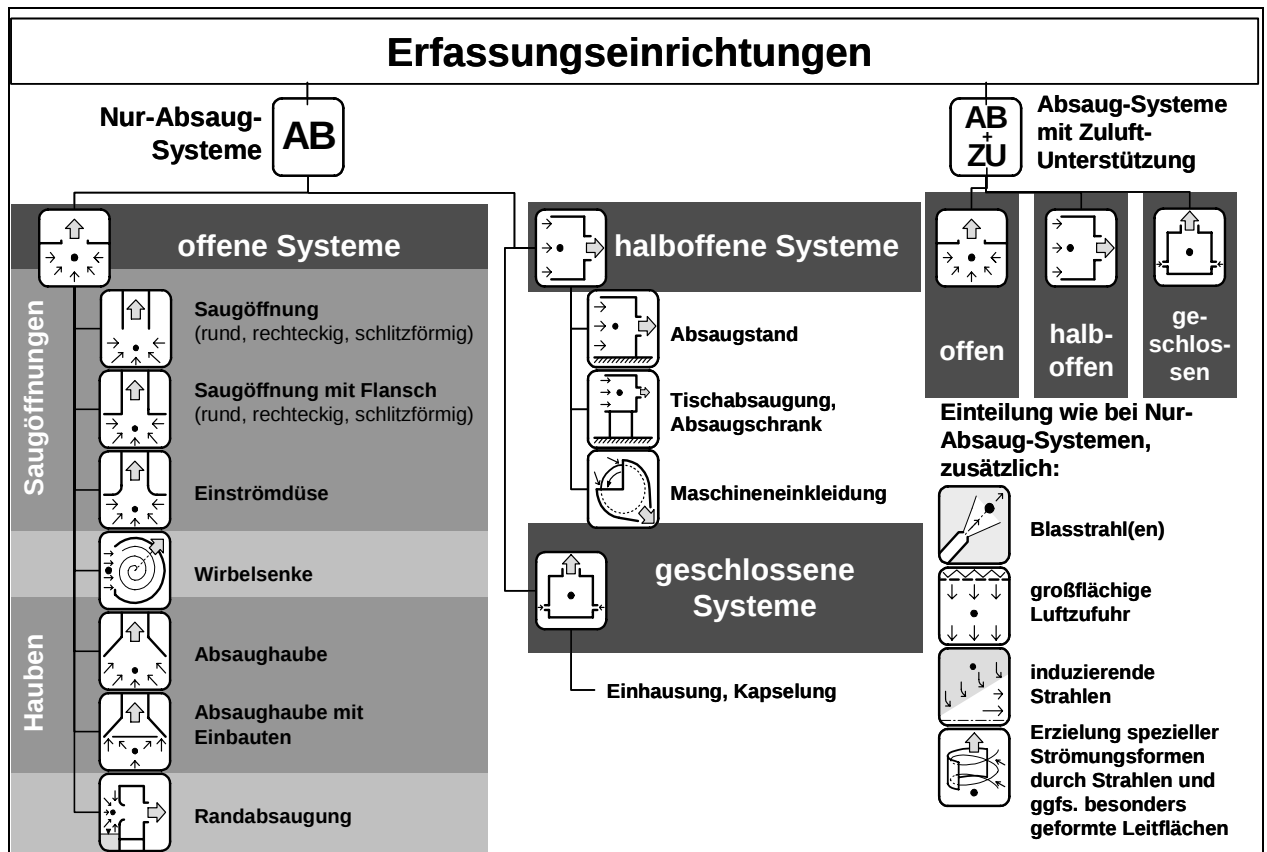
7.2 Erfassungseinrichtungen

Zur Erfassung der Stoffe am Freisetzungsort stehen Einrichtungen

- geschlossener
 - halboffener
 - und offener Bauart
- zur Verfügung (Bild 7.1).

Die Einhausung bzw. die Kapselung der Emissionsquelle ist die einfachste und sicherste Lösung. Hierfür existieren Planungsrichtlinien in der VDI 3802. Da diese Bauformen aus Handhabungsgründen oft nicht realisierbar sind, muss häufig auf halboffene oder offene Bauarten von Erfassungseinrichtungen zurückgegriffen werden.

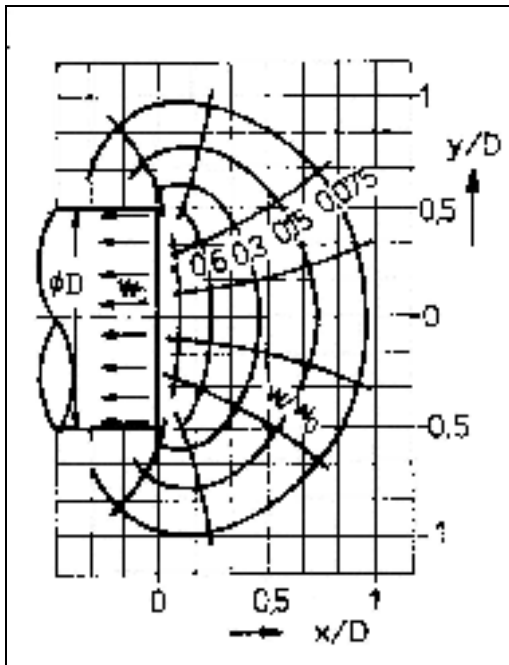
Bild 7.1
Bauarten von
Erfassungseinrichtungen



Da mit der Zunahme des Erfassungsluftstromes auch die Investitions- und Betriebskosten (Luftkanal, Filter, Ventilator) ansteigen, ist es notwendig, Erfassungseinrichtungen möglichst exakt auszulegen. Zur Auslegung gehört die Auswahl, Anordnung und Dimensionierung der Erfassungseinrichtung unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen.

Die geringe Wirtktiefe einer Senkenströmung ist dabei besonders zu beachten. Die Untersuchung des Geschwindigkeitsfeldes an einem runden Saugrohr zeigt, dass die Geschwindigkeit der Luft in der verlängerten Rohrachse etwa bei einem Abstand, der dem Rohrdurchmesser entspricht, auf 7,5 % abnimmt. In **Bild 7.2** sind die Linien gleicher Geschwindigkeit vor einem Saugrohr dargestellt.

Bild 7.2
Linien gleicher Geschwindigkeit vor einem runden Saugrohr



Aus der schnellen Abnahme der Saugwirkung mit zunehmender Entfernung von der Saugöffnung ergibt sich die Notwendigkeit, die freigesetzten Stoffe in geringer Entfernung von der Entstehungsstelle abzusaugen. Bei größerer Entfernung muss ein Luftdurchsatz gewählt werden, der eine Erfassungseinrichtung sehr leicht unwirtschaftlich werden lässt.

Maßgebend für die Erfassung der Stoffe an der Entstehungsstelle ist sowohl die Ansauggeschwindigkeit im Erfassungsbereich als auch die Ausführung und Anordnung der Erfassungselemente. Randbedingungen wie Saugwiderstand, Öffnungswinkel, Einfluss von Querströmungen usw. können die Erfassungswirkung erheblich beeinflussen und müssen besonders berücksichtigt werden.

Eine nähere Betrachtung des Erfassungsvorgangs ergibt (**Bild 7.3**), dass abhängig von der Eigengeschwindigkeit w_s des Stoffteilchens dieses auf einer mehr oder weniger gebogenen Kurve in das Erfassungselement eingesaugt wird. Wenn die Eigengeschwindigkeit im Verhältnis zur Luftgeschwindigkeit w_x der Saugströmung groß ist, wird das Stoffteilchen jedoch nicht erfasst.

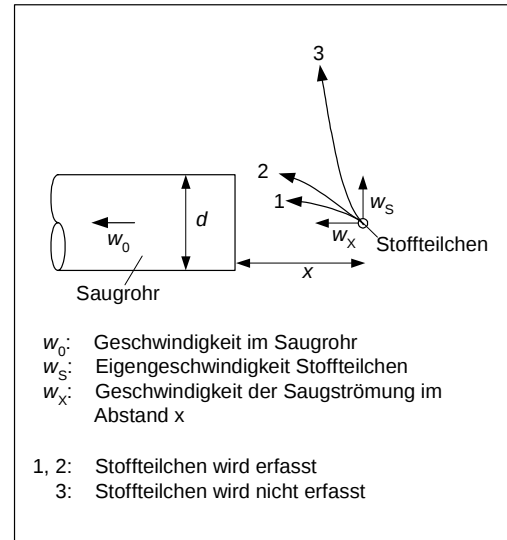


Bild 7.3
Schematische Darstellung der Saugwirkung vor einem runden Saugrohr

Zur Bewertung einer Erfassungseinrichtung wird meist der Erfassungsgrad verwendet. Er ist definiert als Quotient aus erfasstem Stoffstrom und freigesetztem Stoffstrom. Gute Erfassungseinrichtungen weisen in der Regel einen Erfassungsgrad von mehr als 90% auf.

Auslegung

Ist das Strömungsfeld vor einer Erfassungseinrichtung bekannt, so ist die Auslegung nach Erfassungsgeschwindigkeiten w_{ER} eine weit verbreitete Methode, um den Erfassungsluftstrom auszulegen. Die Erfassungsluftgeschwindigkeit w_{ER} ist die Geschwindigkeit, die aufgrund der Senkenströmung am Ort der Stofffreisetzung vorliegen muss, um die gesamte Stofflast abzuführen. Sind die bei einem Stofffreisetzungsvorgang auftretenden Geschwindigkeiten bekannt, so werden diese gleich der Geschwindigkeit der Senkenströmung am Ort der Stofffreisetzung gesetzt. Aus den Gleichungen in **Tabelle 7.1** ist dann der notwendige Erfassungsluftstrom zu berechnen. Als Anhaltswerte für Erfassungsluftgeschwindigkeiten bei verschiedenen Arbeitsvorgängen gelten die Werte in **Tabelle 7.2**.

	Bezeichnung	Luftgeschwindigkeiten	Volumenstrom	Skizze Anordnungen
Freie Saugöffnungen	Saugrohr (rechteckig, rund)	$\frac{w}{w_x} = \frac{10 \cdot x^2 + A}{A}$	$v = (10 \cdot x^2 + A) \cdot w_x$	
	Saugrohr mit Flansch	$\frac{w}{w_x} = 0,75 \cdot \frac{10 \cdot x^2 + A}{A}$	$v = 0,75 (10 \cdot x^2 + A) \cdot w_x$	
Absaughutzen	Oberröhre	$\frac{w}{w_x} = 2 \cdot \frac{10}{A}$	$v = 2 \cdot x \cdot 10 \cdot w_x$	
	Seitenröhre	$\frac{w}{w_x} = \frac{10 \cdot x^2 + A}{A}$	$v = (10 \cdot x^2 + A) \cdot w_x$	
	Beckenhutze mit Flansch	$\frac{w}{w_x} = 0,75 \cdot \frac{10 \cdot x^2 + A}{A}$	$v = 0,75 (10 \cdot x^2 + A) \cdot w_x$	
	Unterröhre	$\frac{w}{w_x} = \frac{10 \cdot x^2 + A}{A}$	$v = (10 \cdot x^2 + A) \cdot w_x$	
Saugschlitze	Saugschlitz	$\frac{w}{w_x} = \frac{1}{h} \cdot \frac{x}{h}$	$v = 1 \cdot x \cdot w_x \cdot L$	
	Saugschlitz mit beidseitigem Flansch	$\frac{w}{w_x} = 2 \cdot \frac{x}{h}$	$v = 2 \cdot x \cdot w_x \cdot L$	
	Saugschlitz mit einseitigem Flansch, aufgesetzt	$\frac{w}{w_x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{x}{h}$	$v = 0,5 \cdot x \cdot w_x \cdot L$	
	Saugschlitz mit beidseitigem Flansch, aufgesetzt	$\frac{w}{w_x} = 2 \cdot \frac{x}{h}$	$v = 2 \cdot x \cdot w_x \cdot L$	

Tabelle 7.1: Gleichungen zur Berechnung der Luftgeschwindigkeiten auf der Symmetrieachse vor Erfassungseinrichtungen sowie zur Berechnung des Volumenstroms. (Längen in m, Flächen in m², Geschwindigkeiten in m/s, Volumenströme in m³/s)

Art der Ausbreitung der Stoffe	Anwendungsgebiet	Erfassungsluftgeschwindigkeit w_{ER} in m/s
ohne Eigengeschwindigkeit in ruhender Umgebungsluft	Badabsaugungen, Entfettung, Galvanik, Beizbäder usw.	0,25 – 0,5
geringe Eigengeschwindigkeit in schwach bewegter Umgebungsluft	Spritzkabinen, unterbrochene Abfüllarbeiten, langsame Bandtransporte, Schweißen	0,5 – 1,0
mittlere Eigengeschwindigkeit in Zone schneller Luftbewegung	kleine Spritzstände, Fassabfüllung, Transportbänder beladen, Brecher	1,0 – 2,5
große Eigengeschwindigkeit in Zone sehr schneller Luftbewegung	Schleifen, Trommeln, Sandstrahlen, Umrühren	2,5 - 10

Tabelle 7.2: Erfahrungswerte für Erfassungsluftgeschwindigkeiten w_{ER} am Ort der Stofffreisetzung

Bei der Auslegung der Erfassungseinrichtung und Festlegung der Anschlussweiten an das Kanalnetz sind zudem die örtlichen Gegebenheiten, wie z.B. Installationsraum für die Erfassungseinrichtung und Gewährleistung der Zugänglichkeit, zu berücksichtigen. Daneben sollte aus Kostengründen bei der Dimensionierung der Luftkanäle auf Standard-Nennweiten zurückgegriffen werden.

Die Bandbreite der in **Tabelle 7.2** angegebenen Erfassungsluftgeschwindigkeiten ist sehr groß. Die richtige Wahl hängt von verschiedenen Faktoren ab:

unterer Bereich der Bandbreite

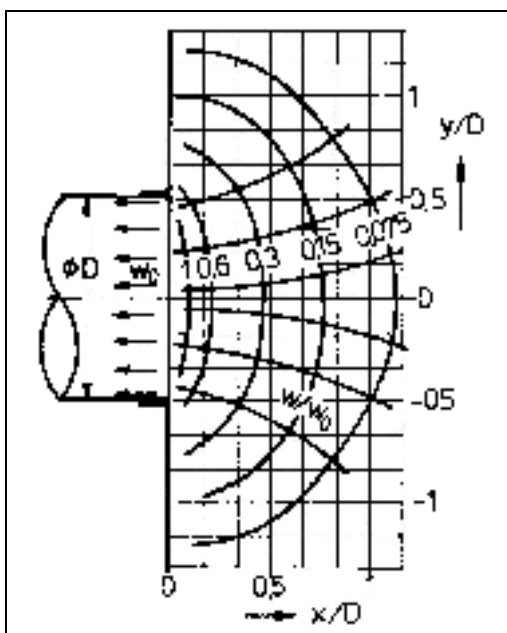
- Geringe oder die Erfassungseinrichtung unterstützende Raumluftrömung
- Stoffe mit geringer Giftigkeit oder in sehr geringen Konzentrationen
- Nur zeitweise oder geringe Produktion

oberer Bereich der Bandbreite

- Starke Raumluftrömungen
- Stoffe mit hoher Giftigkeit
- Hohe Produktion

Saugrohre mit Flansch (**Bild 7.4**) erfordern bei gleicher Erfassungsgeschwindigkeit einen geringeren Luftstrom als Saugrohre ohne Flansch. Der Flansch schränkt den Raumbereich aus dem Luft abgesaugt wird stark ein. Der Anteil zusätzlich abgesaugter, unbelasteter Luft (Falschluf) wird erheblich verringert. Das führt zu höheren Erfassungsgeschwindigkeiten vor dem Saugrohr und somit zu einer besseren Erfassungswirkung. Wenn möglich, sollten deshalb freie Saugöffnungen immer mit Flansch ausgeführt werden.

Bild 7.4
Linien gleicher Geschwindigkeit vor einem runden Saugrohr mit Flansch



Für die Erfassung von Stoffen über große Distanzen hinweg sind reine Absaugsysteme meist nicht geeignet. So kommt z.B. bei Bädern (**Bild 7.5**), bei denen über Saugöffnungen am Rand des Bades abgesaugt wird, oft ein zusätzlicher Blasstrahl zum Einsatz. Bei diesem sog. Push-Pull-System wird von der Längsseite des Bades ein ebener Luftschleier mit relativ hoher Geschwindigkeit über das Bad geblasen. An der gegenüberliegenden Seite wird abgesaugt. Bei korrekter Auslegung werden alle aufsteigenden Gase und Dämpfe vom Luftschleier mitgerissen und durch die Absaugung abgeführt.

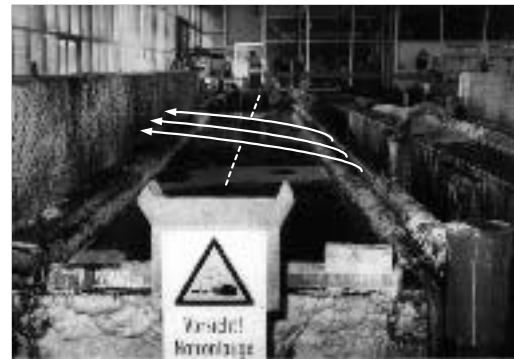


Bild 7.5
Absaugung für Bäder mit Zuluft-Unterstützung (Blasstrahlen) über Bohrungen in dem Rohr am rechten Badrand

Eine neuartige Einrichtung zur Erfassung luftfremder Stoffe ist die Wirbelhaube. Sie zeichnet sich durch einen hohen Erfassungsgrad bei geringen Volumenströmen aus. Im Vergleich zu konventionellen Erfassungselementen sind Volumenstrom einsparungen bis zu 50 % möglich. Charakteristisch für dieses Erfassungselement ist die taifunartige Wirbelströmung innerhalb der Haube. **Bild 7.6** zeigt einen Arbeitstisch ausgerüstet mit einer Wirbelhaube.

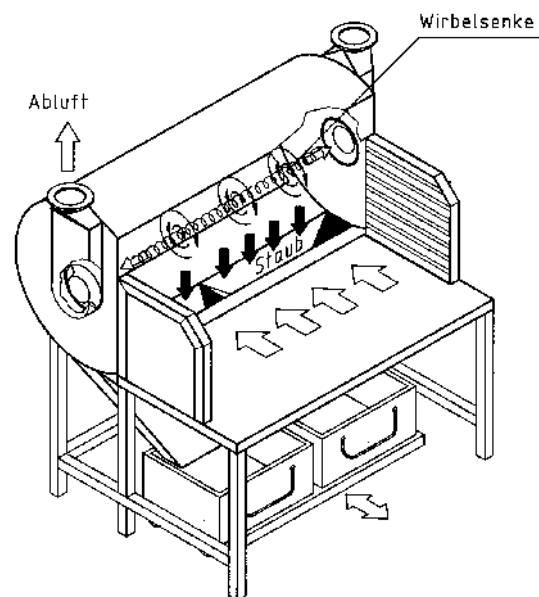


Bild 7.6
Arbeitstisch ausgerüstet mit einer Wirbelhaube

An der hinteren Tischkante befindet sich eine zylindrische Halbschale in deren Stirnseite je eine Einströmdüse als Absaugöffnung eingelassen ist. In der Halbschale wird die Luft in eine Rotationsbewegung versetzt und bildet eine Wirbelsenke mit Kernfaden im Zentrum. Hier werden Unterdrücke bis 500 Pa erreicht. Im gesamten Arbeitsbereich bildet sich eine gleichmäßige Erfassungsströmung aus.

Wirbelhauben werden ebenfalls als Oberhauben, z.B. über Schmelzöfen, eingesetzt. Die Öffnung der Halbschale zeigt dann nach unten.

Im Folgenden werden die wichtigsten Gestaltungs- und Anordnungsprinzipien von Erfassungseinrichtungen offener Bauart zusammengestellt. Sie gelten eingeschränkt auch für halboffene Systeme:

- Erfassungseinrichtungen sollen zur Minimierung der Erfassungsluftströme möglichst nahe an der Stoffquelle positioniert werden. Die Integration in Produktionseinrichtungen ist hier vorteilhaft.
- Bei ortsveränderlichen Quellen sollen die Erfassungselemente nachführbar sein.
- Der Erfassungsluftstrom muss größer sein als der kontaminierte Luftstrom am Ort der Strömungssenke, da sich das Erfassungselement die Luft aus der gesamten Umgebung holt. Der Erfassungsluftstrom besteht also aus einem mehr oder weniger großen Anteil unkontaminierter Luft.
- Der niedrigste Erfassungsluftstrom wird benötigt, wenn das Erfassungselement in Ausbreitungsrichtung des kontaminierten Luftstroms angeordnet ist. Es fungiert dann als Fänger und muss der Eigenbewegung der freigesetzten Stoffe nicht entgegenwirken.
- Störströmungen sollen durch Leitelemente oder Wände von der Senkenströmung ferngehalten werden.
- Es ist vorteilhaft, die Nachströmbereiche für die Strömungssenke einzuschränken (Tendenz zur Kapselung).

7.2.1 Beispielauslegung

In einem metallverarbeitenden Betrieb werden an einem warmen Galvanikbad giftige Dämpfe freigesetzt. Zur Einhaltung der geltenden Luftgrenzwerte sollen diese Dämpfe direkt am Freisetzungsort über eine Oberhaube erfasst und abgeführt werden. Die Badfläche beträgt $A = 1,25 \times 1,25 \text{ m}^2$. Aus prozesstechnischen Gründen muss ein Mindestabstand von $x = 0,75 \text{ m}$ zwischen Badoberfläche und Saugquerschnitt der Oberhaube eingehalten werden. Der Überstand der Haube beträgt ringsum $0,25 \text{ m}$.

Nach **Tabelle 7.2** wird eine Erfassungsgeschwindigkeit $w_{\text{ER}} = 0,3 \text{ m/s}$ gewählt. Zur Bestimmung des Luftstroms wird $w_x = w_{\text{ER}}$ gesetzt. Nach **Tabelle 7.1** gilt dann für den Volumenstrom:

$$\dot{V} = 2 \cdot x \cdot U \cdot w_x$$

wobei U der Umfang der Haubenfläche ist. Damit ergibt sich der Volumenstrom zu:

$$\dot{V} = 2 \cdot 0,75 \cdot (4 \cdot 1,75) \cdot 0,3 = 2,16 \text{ m}^3/\text{s} = 7776 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.3 Lüftung

Können auch bei Anwendung von Erfassungseinrichtungen nicht alle freigesetzten Stoffe erfasst werden und gelangen diese in den Arbeitsbereich, so muss die zusätzliche lufttechnische Maßnahme „Lüftung“ angewandt werden. Bei der Lüftung wird dem betroffenen Raum-/Arbeitsbereich unbelastete Luft zugeführt und die mit den freigesetzten Stoffen belastete und durch die freigesetzte Wärme erwärmte Luft aus diesem Bereich abgeführt.

7.3.1 Luftführung

Bei den Raumlüftungsarten zur Lastabfuhr werden die drei Mechanismen

- Verdrängen
 - Eingrenzen
 - und Mischen
- unterschieden.

Um die geeigneten Lastabfuhrprinzipien zu ermitteln, sind die folgenden Fragen zusammen mit **Tabelle 7.3** zu beantworten:

- Welche Freisetzungsorten (Wärme-, Stofflasten, kombinierte Wärme- und Stofflasten) bestehen und welche Größenordnungen haben diese?
- Welche Strömungsstörungen treten auf? Können Thermikströmungen zur Lastabfuhr genutzt werden?
- Welche Anforderungen sind in welchen Raumbereichen einzuhalten? Müssen sehr hohe Anforderungen eingehalten werden?

Dabei können die den Antworten entsprechenden Kriterien ggf. in **Tabelle 7.3** angekreuzt werden. Das geeignete Lastabfuhrprinzip ergibt sich dann aus der Anzahl der jeweils vorhandenen Kreuze.

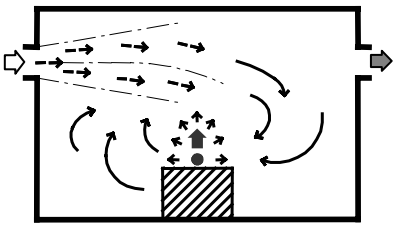
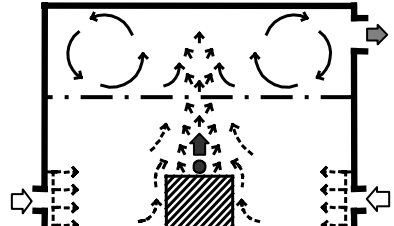
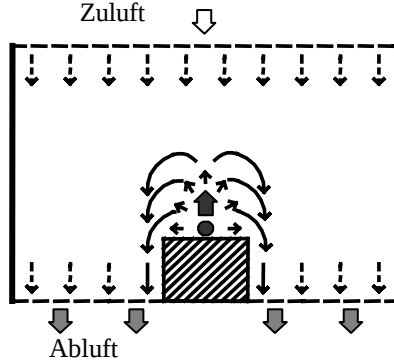
Lüftungsart, Lastabfuhrprinzip		Kriterien zur Auswahl	Beispiele
Mischen		keine besonderen Anforderungen an die Luftqualität ☐ Priorität liegt auf niedrigem Luftstrom ☐ keine oder geringe Wärmelasten bzw. Stoff- und Wärmequellen räumlich getrennt ☐ sehr hohe Wärmelasten und sehr große Thermikluftströme im Arbeitsbereich ☐ bereits aus dem Arbeitsbereich werden sehr große Erfassungsluftströme abgeführt	Montagebetriebe, Laboratorien
Eingrenzen		hohe Anforderungen an die Luftqualität im Arbeitsbereich ☐ gekoppelte Wärme- und Stofflasten (die Stofflasten werden überwiegend durch die Thermikströmungen aus dem Arbeitsbereich abgeführt), Wärmelasten sind überwiegend durch freie Kühlung abzuführen ☐ Thermikströmung möglichst ungestört ☐ lufttechnische Installationen (Luftkanäle, Luftdurchlässe) im oder direkt über dem Arbeitsbereich möglich	Gießereien, sonstige Hitzebetriebe, mechanische Fertigung
Verdrängen		sehr hohe Anforderungen an die Luftqualität im Gesamt- oder Teilraum (Atembereich von Arbeitnehmern, Schutzbereich für Produktionsverfahren) ☐ große Zuluftströme erforderlich ($720 - 1800 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$) ☐ freigesetzte Stoffe in Teilbereichen sollen durch eine abwärts gerichtete Strömung zum Boden transportiert werden	Reinräume, Schleif- oder Lackierkabinen, Farbspritzräume

Tabelle 7.3: Lastabfuhrprinzipien und Kriterien zur Auswahl des Luftführungs-konzepts

Für die dargestellten Lastabfuhrprinzipien gibt es jeweils mehrere Ausführungsarten. Die wichtigsten sind in VDI 3802 enthalten. Beispielhaft wird im Folgenden für jedes Lastabfuhrprinzip eine mögliche Ausführungsart erläutert.

Mischen:

Horizontale Luftzufuhr unter der Raumdecke oder Hallendach. Durch impulsbehaftete Zuluftstrahlen in gesamter Halle walzenförmige Strömungsbereiche, Rückführung belasteter Luft in den Arbeitsbereich, Zuluft- und kontaminierter Thermikluftströme mischen sich, Thermikluftströme werden im Arbeitsbereich umgelenkt, Erfassungsluftströme werden gestört.

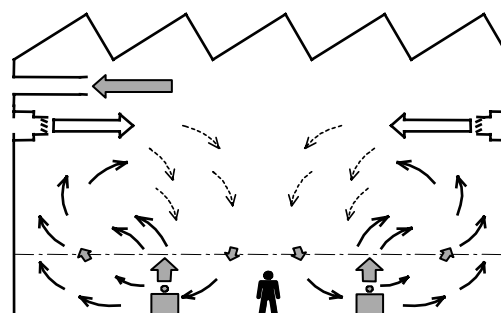


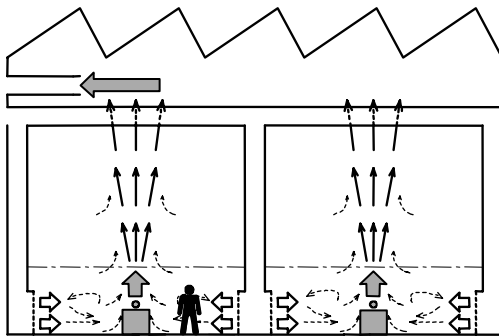
Bild 7.7: Strömungsbildung beim Lastabfuhrprinzip Mischen durch horizontale Luftzufuhr unter der Raumdecke oder am Hallendach.

Eingrenzen:

Schichtströmung durch Einschichten kälterer, impulsarm eingebrachter Zuluft im Arbeitsbereich: Zuluft verteilt sich aufgrund Untertemperatur zunächst in Bodennähe, nahe dem Zuluft-

durchlass wird Zuluft beschleunigt (Fallströmung geht in Querströmung über), Intensität der Querströmung abhängig von Form (eben, zylindrisch), innerem Aufbau der Luftdurchlässe und von Zuluftgeschwindigkeit; größere Querströmungen und somit Störung der Thermikströmung bei ebenen Luftdurchlässen und bei zylindrischen Luftdurchlässen; Fallströmung durch Geschwindigkeitsabnahme in der radialen Ausbreitung geringer.

Bild 7.8:
Strömungsausbildung beim Lastabfuhrprinzip Eingrenzen durch Einschichten kälterer Zuluft im Arbeitsbereich.

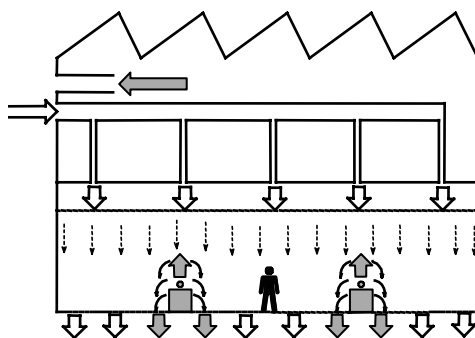


Verdrängen:

Verdrängungsströmung (rückströmungsfreie Zuluftbewegung):

großflächige Verdrängungsströmung: meist vertikale Zuluftströmung, Zuluftdurchlass erstreckt sich über die gesamte Raumdecke, Zuluftgeschwindigkeit am gesamten Luftdurchlaß konstant, Luftbewegung in der Nähe von Wärme- und Stoffquellen wird von Zuluftströmung zu den Abluftöffnungen im Fußboden umgelenkt, erforderliche Zuluftgeschwindigkeiten bis zu 0,5 m/s, somit flächenbezogene Zuluftströme bis 1.800 m³/(m²h), Luftführung nur bei äußerst hohen Anforderungen an die Luftqualität zweckmäßig (zum Beispiel für Reinräume, Fahrzeuglackierstraßen), Zuluft zum größten Teil Umluft; Um-, Außen- und Zuluft werden mit hochwertigen Filtern (im allgemeinen Schwebstofffilter) von Aerosolen gereinigt.

Bild 7.9:
Strömungsausbildung beim Lastabfuhrprinzip Verdrängen durch großflächige Verdrängungsströmung von oben nach unten.



Oftmals gibt es für die in der Praxis vorliegenden Belastungssituationen mehrere grundsätzlich unterschiedliche Lösungen (Luftführungskonzepte). Dann ist durch eine Einschätzung, für die zusätzliche Kriterien verwendet werden, das am besten geeignete Luftführungskonzept zu ermitteln, beispielsweise

- nach wertanalytischen Kriterien, z.B. Festanforderungen, Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien,
- nach dem Aufwand, z.B. für Bau und Betrieb.

7.3.2 Berechnung der Luftströme

Im Folgenden wird aufgezeigt, wie abhängig vom Luftführungskonzept die erforderlichen Zu- und Abluftströme ermittelt werden können.

Der Aufwand zum Belüften (der Zuluftstrom $\dot{m}_{ZU}$) richtet sich nach 4 Kriterien. Sie sind in **Bild 7.10** einander gegenübergestellt:

zu Kriterium 1:

Der Zuluftstrom $\dot{m}_{ZU}$ muss auf jeden Fall die aus der Halle fortgeführten Erfassungsluftströme $\dot{m}_{ER}$ ersetzen. Die Erfassungsluftströme sind abhängig von der Qualität der Erfassungseinrichtungen. Die Summe der Erfassungsluftströme, die aus dem Gebäude insgesamt fortgeführt werden, stellt den Minimalwert für den Zuluftstrom dar.

zu Kriterium 2:

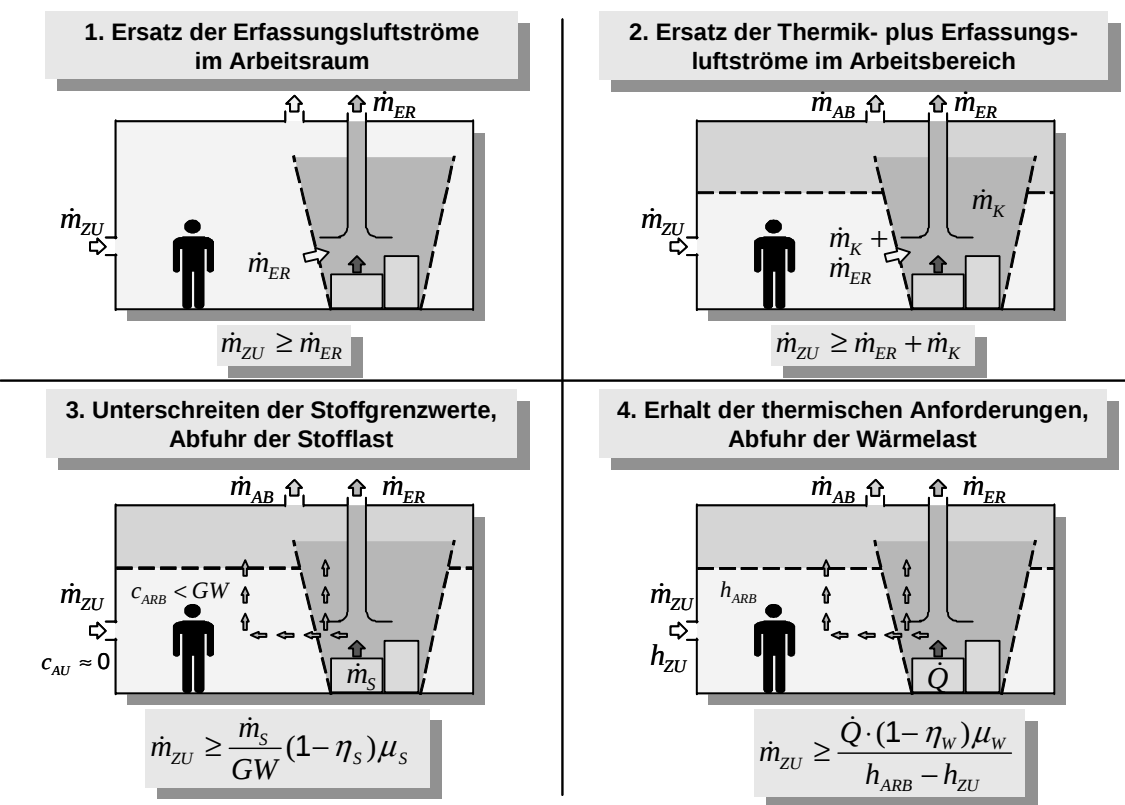
Der Zuluftstrom muss so bemessen sein, dass bestimmte Strömungsarten erhalten werden. Vorgegebene Strömungsarten können z. B. eine Verdrängungsströmung oder eine Schichtströmung sein. Bei der Verdrängungsströmung wird die Zuluftgeschwindigkeit so vorgegeben, dass der Impuls der Zuluftströmung größer ist als der der anderen Strömungsvorgänge (z. B. der Thermikströmung). Übliche Mindestwerte für die Zuluftgeschwindigkeit liegen zwischen 0,2 und 0,5 m/s.

Bei der Schichtströmung muss der Zuluftstrom die aus dem Arbeitsbereich abströmenden Thermik- plus Erfassungsluftströme ersetzen, um eine Rückströmung aus dem oberen, ungenutzten Raumbereich und damit eine Verschlechterung der Belastungssituation zu verhindern.

zu Kriterium 3:

Durch die richtige Bemessung des Zuluftstroms muss sichergestellt werden, dass, abhängig von der Wirksamkeit der Erfassungseinrichtungen

Bild 7.10:
Kriterien für den
Zuluftstrom von
lufttechnischen
Anlagen.



und der Wirkung der Luftführung, die Stoffkonzentrationen im Anforderungs-/Arbeitsbereich (ARB) den vorgegebenen Grenzwert nicht überschreiten. Es werden die Stoffgrenzwerte GW, die insgesamt freigesetzten Stoffströme $\dot{m}_s$ und der Erfassungsgrad η_s eingesetzt. Für den luftführungsabhängigen Stoffbelastungsgrad μ_s sind in **Tabelle 7.4** Anhaltswerte angegeben.

zu Kriterium 4:

Durch die richtige Bemessung des Zuluftstroms muss sichergestellt werden, dass, abhängig von der Wirksamkeit der Erfassungseinrichtungen und der Wirkung der Luftführung, die Lufttemperatur im Anforderungs-/Arbeitsbereich innerhalb der vorgegebenen Grenzen gehalten werden kann. Es werden die insgesamt freigesetzte Wärmelast (in kW) und die Qualitätskennzahl der Erfassungseinrichtungen bzgl. der Erfassung von Wärme, der Erfassungsgrad η_w eingesetzt. Sofern nur der Erfassungsgrad bzgl. der Stofffassung bekannt ist, kann näherungsweise dieser verwendet werden. Anhaltswerte für den luftführungsabhängigen Wärmebelastungsgrad μ_w und Stoffbelastungsgrad μ_s können **Tabelle 7.4** entnommen werden (VDI 2262 Blatt 3).

Luftführung	Belastungsgrade	
	μ_s	μ_w
Schichtströmung Luftdurchlässe		
- am Boden	0,2-0,3	0,45-0,6
- in 3-4 m über dem Boden	ca. 0,5	ca. 0,7
Mischströmung (je nach Art der Luftzufuhr und der Raumhöhe)	1,0 (0,8)	1,0 (0,9)

Tabelle 7.4:
Anhaltswerte für Belastungsgrade abhängig von der Luftführung.

Ermittlung des Zuluftstroms:

Der Zuluftstrom ergibt sich als Maximalwert aus den Kriterien 1 bis 4:

$$\dot{m}_{ZU} = \max(\dot{m}_{ZU,1}; \dot{m}_{ZU,2}; \dot{m}_{ZU,3}; \dot{m}_{ZU,4})$$

Ermittlung des Raumabluftstroms:

Sofern Erfassungseinrichtungen vorhanden sind, verringert sich der aus dem Raum abzuführende Luftstrom gegenüber dem Zuluftstrom um die Summe der Erfassungsluftströme. Der Mindestanteil der Raumabluft an der Gesamtabluft (Summe aus Erfassungsluft und Raumabluft) sollte dabei mindestens 15 bis 20% betragen/14/. Ergänzend gelten die Angaben in der VDI 3802.

7.4 Beurteilungskriterien

Lufttechnische Anlagen werden in erster Linie daran gemessen, in welchem Maße die gewünschten Funktionen (z.B. Frischluftzufuhr, Abfuhr der Wärme- und Stofflasten) erfüllt werden. Weitere Kriterien zur Beurteilung sind:

- Wirtschaftlichkeit,
- Energieeffizienz,
- Qualität (nachgewiesen durch Zertifizierung, wie z.B. durch RAL Gütegemeinschaft),
- Behaglichkeit, z.B. Zugfreiheit am Arbeitsplatz,
- Zuverlässigkeit,
- Wartungsfreundlichkeit,
- Bedienungsfreundlichkeit,
- und Umweltverträglichkeit.

8 Staatliche Förderung und Informationsstellen in Baden-Württemberg

Die Bundesrepublik Deutschland und das Land Baden-Württemberg fördern durch zinsverbilligte Darlehen, Zulagen und Zuschüsse die rationelle Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energiequellen. Gefördert werden z.B. bestimmte energiesparende Investitionen. Was gefördert werden kann, ist im Einzelnen den Förderrichtlinien zu entnehmen.

Ebenfalls vom Land Baden-Württemberg bzw. der Bundesregierung werden Energieberatungen und Energie-Kurzberatungen gefördert. Sowohl das Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW), wie auch das Landesgewerbeamt (LGA), geben hierüber Auskünfte.

Das Informationszentrum Energie hat entsprechendes Informationsmaterial über mögliche Finanzhilfen zur Energieeinsparung aufbereitet und hilft darüber hinaus in allen Fragen der rationalen Energienutzung und des Einsatzes erneuerbarer Energien. Außerdem informiert das Landesgewerbeamt über mögliche Finanzhilfen im Rahmen der Gewerbeförderung und im Bereich des betrieblichen Umweltschutzes.

Weiter stehen die Berater bei den Fördereinrichtungen, Kammern, Verbänden und Energieversorgungsunternehmen zur Verfügung. Eine Auswahl von Informationsstellen findet sich im Anhang A.4.

9 Beispiele aus der Praxis

Die folgenden Beispiele stammen aus verschiedenen Bereichen des Gewerbes und der Dienstleistungen. Die Auswahl an Beispielen gibt einen Überblick über die Bandbreite planerischer Ansätze, konstruktiver Lösungsmöglichkeiten und interessanter Ausführungsdetails, die zu einem energieeffizienten und somit ökonomischen und ökologischen Betrieb von lufttechnischen Anlagen führen. Es handelt sich nicht um synthetische Beispiele, sondern um Anlagen mit tatsächlich ausgeführten Sanierungsmaßnahmen und belegbaren Ergebnissen.

Einen Überblick über die Gebäudearten gibt nachfolgende Aufzählung:

- Verwaltungsgebäude
- Turnhalle
- Krankenhaus
- Schulzentrum
- Verkaufsstätte
- Schweißerei
- Industriehalle
- Recyclingarbeitsplatz
- Messehalle

Zunächst wird das Gebäude und die lufttechnische Anlage beschrieben. Die Größe und Nutzung der betreffenden Räume sowie die Leistungsdaten der lufttechnischen Anlage werden soweit möglich angegeben. Im Weiteren wird stichpunktartig beschrieben, mit welchen Maßnahmen die betreffende lufttechnische Anlage saniert wurde und welche Ergebnisse damit erzielt wurden. Es werden Angaben zu der Investitionshöhe und der dadurch erzielten Kosteneinsparung gemacht. Zudem wird die Amortisationszeit der Sanierungsmaßnahme berechnet und angegeben. Bei den dargestellten Beispielen beträgt die Bandbreite der Amortisationszeit 0,6 bis 5,2 Jahre.

Als besonders effektive und deshalb häufig umgesetzte Maßnahmen sind zu nennen:

- Austausch der Altventilatoren gegen optimierte Radialventilatoren
- Verwendung von leistungsangepassten Energiesparmotoren
- Verwendung von Flachriemenantrieben
- Einbau von Frequenzumrichtern
- Nutzung der Wärmerückgewinnung

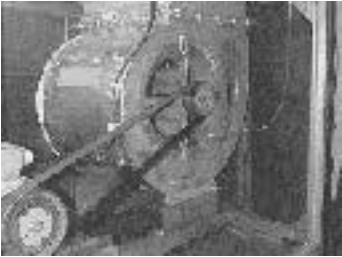
9.1 Verwaltungsgebäude

Objekt:	Bürogebäude der SV-Versicherung in Mannheim Bürofläche ca. 10.000 m²	
Außenansicht:		
Anlage:	Zu-/ Abluftanlage 2-Kanal- bzw. 4-Kanalanlagen für Klimatisierung 10 Klimageräte mit Zu- und Abluftventilatoren - Baujahr 1976	
Ausführende Firma:	ÖVA-Haustechnik in Zusammenarbeit mit Gebhardt Ventilatoren GmbH & Co., Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	- Austausch aller Ventilatoren - Einbau neuer Ventilatoren - Einbau neuer Antriebsmotoren	
Sanierung:	1996	
Ergebnisse:	vor der Sanierung	nach der Sanierung
Volumenströme:	425.300 m ³ /h	434.730 m ³ /h
Antriebsleistung: (gesamt)	348 kW	233 kW
Investitionen:	71.455 € (inkl. Leistungsmessungen)	
Einsparung:	115 kW, das entspricht 33% - Bei einer jährlichen Laufzeit von 3125 Stunden und einem Strompreis von 11,7 Cent/kWh ergibt das eine Kosteneinsparung von 41.900 €/a - Hinzukommen noch eingesparte Wartungs- und Instandhaltungskosten	
Amortisationszeit:	1,7 Jahre	

9.2 Turnhalle

Objekt:	Turnhalle des Ganerben-Gymnasium, Künzelsau - Hallenfläche 21 x 36 m = 756 m² - Hallenhöhe 7 m, Raumvolumen 5.292 m³	
Anlage:	Zu-/ Abluftanlage - Lüftungsgerät mit zwei Radialventilatoren - Baujahr 1980	
Zentralgerät der lufttechnischen Anlage:		
Ausführende Firma:	Gebhardt Ventilatoren GmbH & Co., Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	- Austausch der Altventilatoren - Einbau neuer energieoptimierter Ventilatoren mit rückwärtsgekrümmten und profilierten Schaufeln - Einbau neuer Antriebsmotoren und Flachriemenantriebe - Einbau eines Stromzählers	
Blick ins Zentralgerät: Radialventilator mit neuem Antriebsmotor und Flachriemenantrieb		
Sanierung:	1998	
Ergebnisse:	vor der Sanierung	nach der Sanierung
Volumenströme:	15.950 m ³ /h	16.500 m ³ /h
Antriebsleistung: (gesamt)	10,6 kW	6,3 kW
Investitionen:	5.015 €	
Einsparung:	4,3 kW, das entspricht 41% - Energiekosteneinsparung von ca. 2.100 €/a - Ersatz eines defekten Antriebmotors war notwendig	
Amortisationszeit:	2,4 Jahre	
Bemerkung:	Die Umbaumaßnahme erfolgte im Rahmen der Aktion „Klimafreundliche Schule“. Sie wurde aus einem Topf der Schule finanziert, in den bereits früher entstandene Einsparungen geflossen sind. Die jetzt eingesparten Energiekosten werden dem Ganerben-Gymnasium über einen Zeitraum von vier Jahren von der Stadt Künzelsau für andere Anschaffungen erstattet.	

9.3 Krankenhaus

Objekt:	Kreiskrankenhaus Alsfeld
Außenansicht	
Anlage:	mehrere Zu- und Abluftanlagen • Baujahr 1979/1980
Ausführende Firma:	Trüschler & Geiling in Zusammenarbeit mit der krankenhauseigenen Technischen Abteilung
Durchgeführte Maßnahmen:	• Austausch der Ventilatoren • Einbau optimierter Radialventilatoren • Reduzierung der Antriebsmotorenleistung • Einbau von Flachriemenantrieben • Frequenzumrichter und Druckregelung installiert • Entfernung unnötiger Schalldämpfer • Einbau von Luftleitblechen  Optimierter Radialventilator mit Flachriemenantrieb
Sanierung:	1998
Investitionen:	42.950 €
Einsparung:	• 64.000 € Energiekosteneinsparung für Lüftung • 6.400 € Energiekosteneinsparung für Heizen und Kühlen
Amortisationszeit:	0,6 Jahre
Bemerkung:	Die Haustechnische Abteilung des Kreiskrankenhauses ist gerne bereit, über die durchgeführten Maßnahmen ausführlicher zu berichten oder auch vor Ort zu präsentieren. Weitere Informationen unter: http://www.kreiskrankenhaus-alsfeld.de/Technik/Luftung/luftung.html

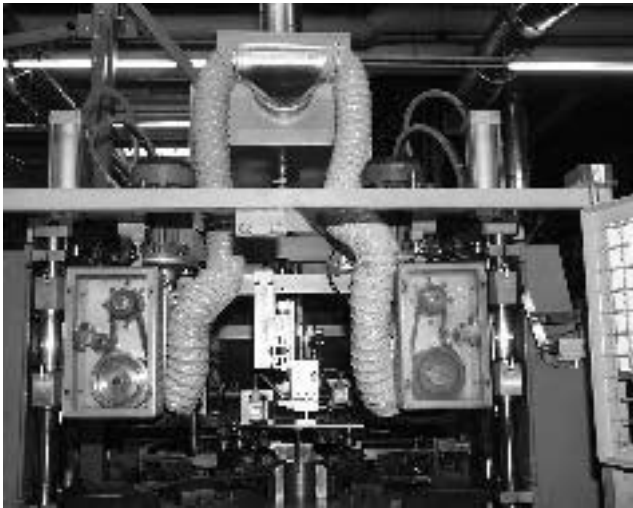
9.4 Schulzentrum

Objekt:	Kreisberufsschulzentrum Schwäbisch Gmünd • 72 Klassenzimmer, 24 Fachräume und diversen Funktionsräume und Werkstätten mit einem umbauten Raum von 112.000 m³ • Fläche der klimatisierten Klassen- und Fachräume ca. 8.000 m².	
Außenansicht:		
Lufttechnische Anlage:	Zu- und Abluftanlage • Vier große Dachzentralen mit jeweils mehreren Klimageräten • Baujahr 1974	
Ausführende Firma:	Kreipl + Mannert OHG, Feuchtwangen Gebhardt Ventilatoren GmbH & CO, Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	• Austausch der 11 Altventilatoren • Einbau energieoptimierter Radialventilatoren • Einbau leistungsangepasster Antriebsmotoren und Flachriemenantriebe • Einbau von Frequenzumrichtern • Optimierung der Kanalanschlüsse • Entfernung unnötiger Kühlregister • Brandschutzmaßnahmen	
Sanierung:	2000	
Ergebnisse:	vor der Sanierung	nach der Sanierung
Volumenströme:	287.990 m ³ /h	281.470 m ³ /h
Antriebsleistung: (gesamt)	134 kW	70 kW
Investitionen:	ca. 178.000 € • ca. 50 % für die energetische Optimierung der Anlage • ca. 50 % für die Verbesserung der Anlagenregelung zur Komforterhöhung in den Räumen und für Brandschutzmaßnahmen	
Einsparung:	• 64 kW, das entspricht 48%. • Die Energiekosteneinsparung beträgt ca. 17.800 €/a. • Zusätzliche Einsparung von Wartungs- und Instandhaltungskosten.	
Amortisationszeit:	5 Jahre	
Bemerkung:	Die Zufriedenheit des Auftraggebers (Landratsamt Ostalbkreis) mit der Sanierungsmaßnahme führte dazu, dass sofort im Anschluss die Lüftungsanlagen des Berufsschulzentrums Aalen in gleicher Weise und mit gleichem Erfolg saniert wurden.	

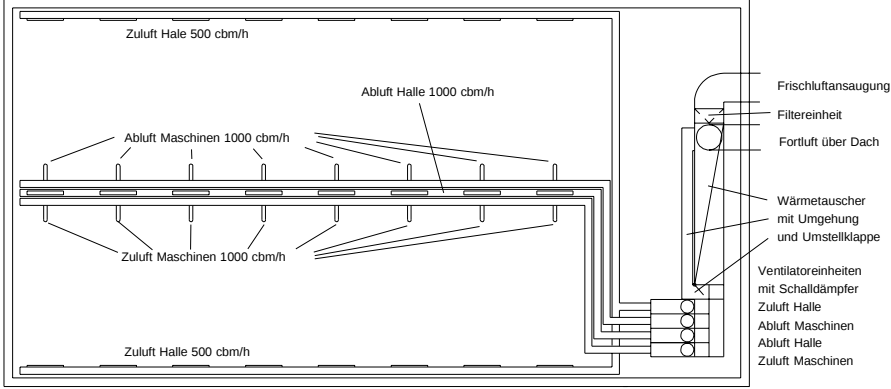
9.5 Verkaufsstätte

Objekt:	Modehaus
Außenansicht:	
Anlage:	Umbau und Erweiterung einer vorhandenen Kälteanlage • Erneuerung der Kälteanlage • Erhöhung der Kälteleistung mittels Eisspeicher  Eisspeicher im Keller
Ausführende Firma:	JULIUS GAISER GmbH & Co., Ulm
Durchgeführte Maßnahmen:	Die vorhandene mit Stadtwasser gekühlte Kältemaschine wurde durch eine luftgekühlte Split-Kälteanlage ersetzt. Wegen fehlender, zusätzlicher elektrischer Anschlussleistung konnte die Erhöhung der Kälteleistung nur über den Einbau von Eisspeichern erreicht werden.
Sanierung:	2001
Investitionen:	ca. 34.000 €
Einsparung:	ca. 11.400 €/a Wasser- und Abwasserkosten
Amortisationszeit:	3 Jahre
Bemerkung:	Es hat sich gezeigt, dass sich auf der Elektroseite in der Summe keine Reduzierung ergeben konnte, da die Einsparung in die erhöhte Antriebsleistung investiert wurde. Der Vorteil liegt in der Erhöhung der Kälteleistung bei etwa gleicher Antriebsleistung und der Begrenzung der Anlaufströme. Der ursprüngliche Stadtwasserverbrauch wurde auf Null reduziert.

9.6 Schweißerei

Objekt:	Halle mit Schweißautomaten
Innenansicht (Schweißautomaten und Anbindung an die lufttechnische Anlage):	
Anlage:	Zentrale Abluftanlage mit Erfassungseinrichtungen direkt am Emissionsort
Blick ins Innere eines Schweißautomaten:	
Ausführende Firma:	JULIUS GAISER GmbH & Co., Ulm
Durchgeführte Maßnahmen:	Ergänzung der lufttechnischen Anlage • Einbau einer Zuluftanlage • Einbau eines regenerativen Wärmerückgewinners
Sanierung:	2001
Investitionen:	ca. 114.000 €
Einsparung:	ca. 27.200 €/a
Amortisationszeit:	4,2 Jahre
Bemerkung:	• Durch die Rückgewinnung der Schweißwärme aus der Abluft kann auf eine Nachheizung der Zuluft nahezu verzichtet werden • Deutliche Verbesserung der Luftqualität am Arbeitsplatz • Reduzierung der Umweltbelastung

9.7 Industriehalle

Objekt:	Industriehalle mit Werkzeugbau • metallspanende Maschinen • Erodiermaschinen • Grundfläche 170 m² • Hallenhöhe 5m
Anlage:	Zu- und Abluftanlage für Raum und direkt an Maschinen
	
Ausführende Firma:	Dreher GmbH, Lüftungsbau, Sigmaringen
Volumenströme:	Zuluftstrom Raumluft: max 1000 m ³ /h (stufenlos einstellbar) Zuluftstrom direkt an Maschinen: max 1000 m ³ /h (einstellbar)
Ventilatoren:	2 Zuluftventilatoren (Leistungsaufnahme max je 280 Watt) 2 Abluftventilatoren (Leistungsaufnahme max je 280 Watt)
Baujahr:	2001
Einsparung:	Durch die Wärmerückgewinnung und die inneren Wärmelasten kann auf eine Beheizung der Halle weitgehend verzichtet werden.
Wärmerückgewinner	
Investition:	20.000 €
Bemerkung:	• stufenlose Regelung der Luftströme nach Bedarf, • günstige Lage des Außenluftdurchlasses (Ostseite des Gebäudes) zum Ansaugen von kühler Außenluft • Anpassung der Rückwärme- bzw. Rückkühlzahl durch Bypassschaltung • spezielle Zuluftausblaskästen mit stufenlos verstellbaren Lamellen ermöglichen an jedem Arbeitsplatz eine individuelle und bedarfsgerechte Einstellung der Luftführung

9.8 Messehalle

Objektbeschreibung	Messehalle 8, Messe Frankfurt GmbH • 30.223 m² Brutto-Ausstellungsfläche • fünffach unterteilter Innenraum • 1 Ebene • Höhe: 11,75 m	
Außenansicht:		
Anlage:	Zuluftanlage aus dem Jahre 1974 • 20 Zuluftventilatoren	
Ausführende Firma:	Ulrich Müller GmbH, Waldenburg	
Durchgeführte Maßnahmen:	• Austausch der Ventilatoren • Einbau optimierter Radialventilatoren mit Spiralgehäuse • Angepasste Antriebsmotoren und Flachriemenantriebe • Sollvolumenstrom reduziert • Andere defekte Anlagenteile erneuert • Anlage gereinigt und abgedichtet	
Sanierung:	2000	
Ergebnisse:	vor der Sanierung	nach der Sanierung
Volumenströme:	935.455 m ³ /h	852.808 m ³ /h
Antriebsleistung: (gesamt)	680 kW	224 kW
Investitionen:	158.500 €	
Einsparung:	• 456 kW, das entspricht 67% • Bei einer jährlichen Laufzeit von 1000 Stunden und einem Strompreis von 6,65 Cent/kWh ergibt das eine Kosteneinsparung von 30.324 €/a • Hinzu kommen noch eingesparte Wartungs- und Instandhaltungskosten	
Amortisationszeit:	5,2 Jahre	
Bemerkungen:	• Nach dem Umbau und der Sanierung wurden deutlich niedrigere Lauf- und Strömungsgeräusche festgestellt • Trotz der Größe des Objekts handelt es sich bei der ausführenden Firma um einen kleinen mittelständischen Betrieb	

9.9 Recyclingarbeitsplatz für Elektromotoren

Objekt:	Industriehalle für die Produktion und Reparatur von Elektromotoren	
Arbeitsplatz:	Abreißanlage bestehend aus Abreißarbeitsplatz und Abbrennarbeitsplatz	
  Abbrennarbeitsplatz (links unter der Haube) und Abreißarbeitsplatz (rechts) Aufsägen der Wicklungen am Abreißarbeitsplatz unter starker Staub und Rauchentwicklung.		
Tätigkeiten:	• Aufsägen der Wicklungen • Erwärmen der Wicklungen mittels Heizstab • Abbrennen der Wicklungen mittels Gasbrenner • Herausreißen der Wicklungen aus dem Motorgehäuse	
Stoffemission:	• Stäube • Rauche	
Lufttechnische Anlage	• Dezentrale Abluftanlage • Sammelhaube über dem Abreißarbeitsplatz • Absaughaube über dem Abbrennarbeitsplatz • Einstell- und Absperrmöglichkeit mittels Schieber • Zuluft über Nachströmöffnungen in den Wänden	
Ausgangssituation:	• geringe Erfassungswirkung • Einhaltung der Stoffgrenzwerte nicht gesichert	
Ursachen:	• Zu großer Abstand zwischen Hauben und Motorgehäusen; damit verbunden sind eine starke Abnahme der Saugwirkung und Stoffausspülungen durch Hallenluftbewegungen. • Durch die Erwärmung der Wicklungen und des Motorengehäuses bildet sich ein Thermikstrahl aus. In den Thermikstrahl wird unbelastete Hallenluft induziert. Der kontaminierte Luftvolumenstrom nimmt auf dem Weg nach oben stark zu und muss mit entsprechend hohem Aufwand abgesaugt werden. • Auch bei einer vollständigen Erfassung wird der kontaminierte Thermikstrahl bei dieser Anordnung immer durch den Atembereich des Bearbeiters geführt.	

Empfohlene Maßnahmen:

- Seitliche Abschirmung der Abreißanlage; z.B. durch temperaturbeständigen Vorhang. Dadurch werden das Absaugen von unbelasteter Hallenluft und die Stoffausspülung durch Störluftbewegungen weitgehend vermieden.
- Einbau eines Erfassungselements am Abreißarbeitsplatz zur direkten Stofffassung am Motorengehäuse.
- Ersetzen der vorhandenen Absaughaube über dem Abbrennarbeitsplatz durch eine Einströmdüse mit Flansch (bessere Tiefenwirkung).
- Einbau einer Traversiereinrichtung zur individuellen Positionierung der Einströmdüse. Der Abstand zwischen Einströmdüse und Motorengehäuse ist so gering, wie verfahrenstechnisch möglich, zu wählen. Danach wird vom Bearbeiter der Luftstrom so eingestellt, dass alle Emissionen sicher erfasst werden. Die Wärmeentwicklung beim Abbrennen darf dabei nicht beeinträchtigt werden.
- Einbau eines Frequenzumrichters zur Anpassung des durch die Maßnahmen deutlich reduzierten abzusaugenden Luftstroms.



Einströmdüse mit Flansch (höhenverstellbar) für den Abreißarbeitsplatz



Einströmdüse mit Flansch (frei positionierbar) für den Abbrennarbeitsplatz

10 Fazit

Der Betrieb von lufttechnischen Anlagen verursacht im Verhältnis zu den notwendigen Investitionskosten sehr hohe Energiekosten. Deshalb ist es meist lohnenswert, bestehende Anlagen dahingehend zu überprüfen, ob diese durch entsprechende Maßnahmen energetisch optimiert werden können.

Zu Beginn einer jeden Optimierungsmaßnahme steht eine genaue Inspektion der betreffenden lufttechnischen Anlage. Die Inspektion sollte eine Leistungsmessung enthalten. Im Rahmen einer Betriebsanalyse sollte zudem der aktuelle Lüftungsbedarf ermittelt werden. Oft haben sich die bei der ursprünglichen Auslegung zu Grunde gelegten Daten wie z.B. Belegung, Produktionsprozess, Lastgänge usw. geändert. Des weiteren ist es sinnvoll zu prüfen, in wie weit der Lüftungsbedarf gesenkt werden kann, indem Wärme- und Stofflasten direkt am Entstehungsort erfasst werden.

Meist können mit relativ einfachen Maßnahmen, wie beispielsweise dem Austausch des Ventilators und der Optimierung der Einbausituation, deutliche Einsparungen erzielt werden. Darüber hinaus gibt es weitere Systeme, Techniken und Methoden, mit denen der Energiebedarf und damit die Betriebskosten gesenkt

werden können. Beispiele hierfür sind: Wärmerückgewinnung, solarunterstützte Wärme- und Kälteerzeugung, Nachtlüftung, sowie der Einsatz moderner Regelungs- und Steuerungstechnik.

Die aufgeführten Praxisbeispiele aus Industrie, Gewerbe, Verwaltung und öffentlichen Gebäuden zeigen exemplarisch, dass für die Sanierung von Lüftungsanlagen notwendige Investitionen durchaus ökonomisch sind. In den genannten Beispielen liegen die erzielten Einsparungen zwischen 33% und 67%. Daraus ergeben sich oftmals kurze Amortisationszeiten.

Bei bestimmten energiesparenden Investitionen besteht zudem die Möglichkeit, zinsverbilligte Darlehen, Zulagen und Zuschüsse des Bundes und des Landes in Anspruch zu nehmen.

Neben der erzielten Energie- und Kosteneinsparung ergeben sich meist als zusätzlicher Nebeneffekt deutlich verbesserte Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter.

Wenn das Energie-Einsparpotenzial auf diesem Gebiet voll ausgeschöpft wird, bedeutet Anlagenoptimierung gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz.

- 11 Literaturverzeichnis**
- /1/ **Clima Commerce International CCI.:** Alt gegen neu – ein Ventilatortausch spart Energie, Geld und CO₂. Promotor Verlag, Karlsruhe, Ausgabe Nr. 10, September 1993
- /2/ **Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen** (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV v. 26.10.1993). BGBl. I S. 1782, zuletzt geänd. durch Artikel 2 der Verordnung zur Umsetzung von EG-Richtlinien über den Schutz der Beschäftigten gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (v. 27.1.99). BGBl. I S. 50
- /3/ **TRGS 402:** Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen. Bundesarbeitsblatt (1997), 11, 27 - 33. Anhang 1 und 2. Bundesarbeitsblatt (1988), 10, 40 - 41, Anhang 3. Bundesarbeitsblatt (1993), 9, 77 - 78
- /4/ **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft- TA Luft** (v. 27.2.1986). GMBI. S. 95, berichtigt am 4.4.1986. GMBI. S. 202
- /5/ **Wieland, Heinz:** Sanierung raumluftechnischer Anlagen durch Einsatz energetisch und akustisch verbesserter Ventilatoren; Vortragsmanuskript, 1996
- /6/ **Wieland, Heinz:** Energieeinsparung bei Ventilatoren; Vortragsmanuskript, 1994
- /7/ **Recknagel, Sprenger, Schramek:** Taschenbuch für Heizung u. Klimatechnik. München: Oldenbourg-Verlag 2000, Seite 1111
- /8/ **Ventilatorenfibel,** Promotor Verlag, Karlsruhe, 1999
- /9/ **Wieland, Heinz:** Energieeinsparung durch Einsatz optimierter Ventilatoren in bestehenden raumluftechnischen Anlagen; Vortragsmanuskript DKV, Köln, 1997
- /10/ **Wieland, Heinz:** Leitfaden für die Praxis- Überprüfung und Optimierung von Ventilatoren in bestehenden raumluftechnischen Anlagen. Eigenverlag, 2002.
- /11/ **Wieland, Heinz:** Zur Problematik der Druck-/Volumenstrom-Messung an raumluftechnischen Anlagen; HLH Nr.4; 1984
- /12/ **Arbeitsschutzgesetz** (v. 7.8.1996). BGBl. I S. 1246, zuletzt geänd. durch Artikel 6 c des Gesetzes zu Korrekturen in der Sozialversicherung und zur Sicherung der Arbeitnehmerrechte (v. 19.12.1998). BGBl. S. 3843
- /13/ **Kaltschmitt Martin:** Erneuerbare Energien, 2. Aufl., Springer-Verlag, 1997
- /14/ **Bach, H. u. a.:** Gezielte Belüftung der Arbeitsbereiche in Produktionshallen zum Abbau der Schadstoffbelastung. 2. Aufl. Verein der Förderer der Forschung im Bereich Heizung, Lüftung, Klimatechnik e.V. (Hrsg.). Stuttgart: 1993.
- /15/ **Kruppa, B.:** Positive und negative Auswirkungen raumluftechnischer Anlagen auf die Gesundheit, Befindlichkeit und Leistungsfähigkeit. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2002.

Anhang

A.1 Normen und Richtlinien

DIN-Normen und VDI-Richtlinien können beim Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, Tel. 030/2601-2260, Fax -1260 bezogen werden.

Normen

DIN 1946- Teil 1	10/88	Raumluftechnik: Terminologie und graphische Symbole (VDI-Lüftungsregel)
DIN 1946- Teil 2	01/94	-; Gesundheitstechnische Anforderungen
DIN 24 163- Teil 1	01/85	Ventilatoren; Leistungsmessung, Normkennlinien
DIN 24 163- Teil 2	01/85	-; Leistungsmessung, Normprüfstände
DIN EN 12238	12/01	Lüftung von Gebäuden – Luftdurchlässe- Aerodynamische Prüfung und Bewertung für Anwendung bei Mischströmung
DIN EN 12239	11/01	-, Aerodynamische Prüfung und Bewertung für Anwendung bei Verdrängungsströmung
DIN EN 12599	08/00	-;- Prüf und Messverfahren für die Übergabe eingebauter Raumluftechnischer Anlagen
ISO 3966	06/77	Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen; Netzmessung mittels Staudrucksonden

VDI-Richtlinien

VDI 2044	08/93	Abnahme- und Leistungsversuche an Ventilatoren
VDI 2071	12/97	Wärmerückgewinnung in Raumluftechnischen Anlagen
VDI 2079	03/83	Abnahmeprüfung von Raumluftechnischen Anlagen
VDI 2080	04/96	Messverfahren und Messgeräte für Raumluftechnische Anlagen
VDI 2262- Blatt 1	04/93	Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe; Allgemeine Anforderungen
VDI 2262- Blatt 2	08/97	-; Verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen
VDI 2262- Blatt 3	05/94	- ; Lufttechnische Maßnahmen
VDI 2640	06/93	Netzmessungen in Strömungsquerschnitten; Allgemeine Richtlinien und mathematische Grundlagen
VDI 3802	12/98	Raumluftechnische Anlagen für Fertigungsstätten
VDI 6022- Blatt 1	07/98	Hygienische Anforderungen an RLT-Anlagen; Büro- und Versammlungsräume

A.2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Einheit	Erklärung	Indizes	Erklärung
<i>A</i>	m ²	Fläche	0	Anfangs-, Bezugswert
<i>ARB</i>	-	Arbeitsbereich	1	Eintritt,
<i>a/b</i>	m	Seitenlängen	2	Austritt
<i>B</i>	mm	Breite	<i>A</i>	Analyse
<i>c</i>	m/s	Geschwindigkeit	<i>AB</i>	Abluft
<i>d</i>	m	Durchmesser	<i>AU</i>	Außenluft
<i>f</i>	hz	Frequenz	<i>a</i>	Umgebung
<i>f</i>	-	Faktor	<i>alt</i>	Zustand vor Sanierung
<i>FU</i>	-	Frequenzumrichter	<i>d</i>	dynamisch
<i>GW</i>	mg/m ³ , ppm	Grenzwert	<i>E</i>	Einbauzustand
<i>h</i>	mm	Höhe	<i>E</i>	Energie
<i>h</i>	kJ/kg	spezifische Enthalpie	<i>ER</i>	Erfassungsluft
<i>I</i>	A	Stromstärke	<i>ext</i>	extern
<i>K</i>	-	Kosten	<i>e</i>	elektrische Arbeit
<i>k</i>	-	Preis	<i>el</i>	elektrische Leistung
<i>L</i>	mm	Länge	<i>fa</i>	frei ausblasend
<i>$\dot{m}$</i>	kg/s	Massenstrom	<i>FU</i>	Frequenzumrichter
<i>n</i>	1/min	Drehzahl	<i>I</i>	Investition
<i>P</i>	W	Leistung	<i>k</i>	Komponente
<i>p</i>	Pa	Druck	<i>L</i>	Luft
<i>Q</i>	-	Qualitätszahl	<i>M</i>	Motor
<i>R</i>	J/(kg K)	Gaskonstante	<i>M</i>	Montage
<i>T</i>	K	Thermodynamische Temperatur	<i>neu</i>	Zustand nach Sanierung
<i>w</i>	m/s	Geschwindigkeit	<i>nenn</i>	Nennzustand
<i>u</i>	m/s	Umfangsgeschwindigkeit	<i>PR</i>	Primärenergie
<i>U</i>	m	Umfang	<i>R</i>	Riemenantrieb
<i>$\dot{V}$</i>	m ³ /s	Volumenstrom	<i>S</i>	Stoff
<i>x</i>	g/kg	absolute Luftfeuchte	<i>st</i>	statisch
griechische Buchstaben			<i>t</i>	theoretisch
Δ	-	Differenz	<i>t</i>	total
ε	-	Leistungszahl	<i>t</i>	Zeit
ζ	-	Wärmeverhältnis	<i>V</i>	Ventilator
η	-	Wirkungsgrad	<i>W</i>	Welle
η	-	Erfassungsgrad	<i>W</i>	Wärme
μ	-	Belastungsgrad	<i>x,y,z</i>	kartesische Koordinaten
ρ	kg/m ³	Dichte	<i>ZU</i>	Zuluft
φ	-	Volumenzahl		
φ	-	Volumenzahl		
φ	%	relative Luftfeuchte		
ψ	-	Druckzahl		

A.3 Checkliste zur Datenerhebung bei der Grobanalyse (Beispiel)

Anlagenbetreiber

Name / Firma	.....
Anschrift	.....
Ansprechpartner	 Tel.

Lufttechnische Anlage

Anlagenbezeichnung	.....		
Hersteller	.....		
Wartung durch	.....		
Druckerhöhung ohne Druckabfall im Gerät	$\Delta p_{\text{ext}} =$	Pa	
Volumenstrom, Druckerhöhung	$\dot{V} =$ m ³ /h	$\Delta p =$	Pa
Ventilatorraum Innenmaße	$L =$ mm	$B =$ mm	
		$H =$ mm	
Funktion/Aufbau der Anlage	Zuluft	Wärmerückgewinnung	
	Abluft	2-Kanal-Anlage	

Aufbau (Skizze)

--

Ventilator

Hersteller	.....	Typ	.....
Drehzahl	$n =$ min ⁻¹	Baujahr	.....

Motor-Nennndaten

Hersteller	.....	Typ	.....
Drehzahl	$n =$ min ⁻¹	Baujahr	.....
Leistung, Frequenz	$P =$ kW	$f =$ Hz	
Spannung, Strom	$U =$ V	$I =$ A	

Daten für die Wirtschaftlichkeit

Energiepreis	elektrische Arbeit	cent/kWh
	elektrische Leistung	€/kW·a
Laufzeit	h/a (bei 100 % el. Leistung)	h/a (bei 75 % el. Leistung)
	h/a (bei 50 % el. Leistung)	h/a (bei 25 % el. Leistung)

A.4 Informationsstellen in Baden-Württemberg (Auswahl)

Benennung	Ansprechpartner		
	Name	Telefon / Fax	E-Mail / Internet
Landesgewerbeamt Baden-Württemberg Informationszentrum Energie Willi-Bleicher-Str. 19, 70174 Stuttgart	Herr Bouse	0711/123-2522 0711/123-2649	dieter.bouse@lgabw.de www.lgabw.de/ie
Fachverband Elektro- und Informations-technik Baden-Württemberg Voltastr. 12, 70376 Stuttgart	Herr Mayerl Herr Häusler	0711/95590666 0711/551875	info@fv-eit-bw.de franz.mayerl@fv-eit-bw.de www.fv-eit-bw.de
Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Baden-Württemberg Viehhofstr. 11, 70188 Stuttgart	Herr Zahn Herr Knapp	0711/483091 0711/46106060	info@fvshkbw.de www.fvshkbw.de
Industrieverband Technische Gebäude-ausrüstung Baden-Württemberg e.V. Burgenlandstr. 44 d, 70469 Stuttgart	Herr Meyer	0711/1353150 0711/814049	verband@itga-bw.de www.itga-bw.de
Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH Griesbachstr. 10, 76185 Karlsruhe	Herr Bunk	0721/984710 0721/9847120	helmut.bunk@kea-bw.de www.kea-bw.de
Verband der Elektrizitätswirtschaft Baden-Württemberg e.V. Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Herr Dr. Schneider	0711/267089 0711/267087	info@vdew-bw.de www.vdew-bw.de
Verband der Gas- und Wasserwerke Baden-Württemberg e.V. Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Frau Müller	0711/2622980 0711/2624175	vgw-dvgw-bw@t-online.de
Verband für Energiehandel Südwest-Mitte e.V. Tullastraße 18, 68161 Mannheim	Herr Funke	0621/411095 0621/415222	info@veh-ev.de www.veh-ev.de
Universität Stuttgart, IKE- Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik Pfaffenwaldring 35, 70550 Stuttgart	Herr Claus Herr Kolarik	0711/ 685-2090 0711/ 685-2096 0711/ 685-7239 0711/ 685-2096	gunther.claus@po.uni-stuttgart.de www.lhr.ike.uni-stuttgart.de fred.kolarik@po.uni-stuttgart.de
Architektenkammer Baden-Württemberg Danneckerstr. 54, 70182 Stuttgart	Herr Dieterle	0711/ 2196-110 0711 /2196-149	dieterle@akbw.de www.akbw.de
Großabnehmerverband Energie Baden-Württemberg e.V. Breitlingstr. 35, 70184 Stuttgart	Herr Rudolf	0711/237250 711/2372599	
Ingenieurkammer Baden-Württemberg Geschäftsbereich Energie und Umwelt Zeller Str. 26, 70180 Stuttgart	Herr Volz	0711/64971-0 0711/64971-55	ingkbw@ingenieure.de www.ingenieure.de
Rationalisierungs-Kuratorium der deutschen Wirtschaft e. V. (RKW) Landesgruppe Baden-Württemberg e.V. Königstr. 49, 70190 Stuttgart	Herr Kowollik	0711/229980 0711/2299810	info@rkw-ba.de www.rkw-bw.de
Verband Beratender Ingenieure (VBI) Landesverband Baden-Württemberg e.V. Langestraße 4, 76199 Karlsruhe	Herr Dr. Breinlinger	07461/184-0 07461/184-100	vbi@vbi.de www.vbi.de
Weitere Informations- und Beratungsstellen: z.B. Fördereinrichtungen, Banken, Energielieferanten, Kommunen, Handwerkskammern, Industrie- und Handelskammern, Energieagenturen u.a.			

Das Landesgewerbeamt - Partner und Förderer der mittelständischen Wirtschaft

Seit 150 Jahren unterstützt das Landes- Gewerbeamt kleine und mittlere Unternehmen in Baden- Württemberg mit dem Ziel, größenbedingte Nachteile auszugleichen und ihnen die Anpassung an den technischen Wandel zu erleichtern. Die Fördermaßnahmen sind dabei nicht Instrumente einer Subventionspolitik, sondern "Hilfe zur Selbsthilfe":

Wir beschränken uns darauf, ideelle und finanzielle Anstöße zu geben sowie landesweit für den gesamten Mittelstand Einrichtungen und Dienstleistungen zur Verfügung zu stellen.

Unsere Angebote finden Sie in den Bereichen:

- * Berufliche Bildung
- * Existenzgründung
- * Unternehmenssicherung
- * Erschließung ausländischer Märkte
- * Grenzüberschreitende Zusammenarbeit
- * EU- Fragen und -Programme

Diese Einrichtungen des Landesgewerbeamts stehen Ihnen mit ihren Dienstleistungen zur Verfügung:

- * Design Center Stuttgart
- * Informationszentrum Technik
- * Informationszentrum Patente
- * **Informationszentrum Energie**
- * Informationszentrum für betrieblichen Umweltschutz
- * Informationszentrum für Existenzgründungen
- * Europäisches Referenzzentrum
- * Staatliche Modeschule Stuttgart

Zudem erfüllen wir **hoheitliche Aufgaben** - unter anderem mit der Eichverwaltung, dem Beschußamt und der Landesstelle für Bautechnik.

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg

Zentrale: Haus der Wirtschaft

Willi-Bleicher-Straße 19

D-70174 Stuttgart

Telefon 0711/123-0

Telefax 0711/123-2576

E-Mail: poststelle@lgabw.de

Internet: <http://www.lgabw.de>

Direktion Karlsruhe:

Karl-Friedrich-Straße 17

D- 76133 Karlsruhe

Telefon 0721/926-4010

Telefax 0721/123-4020

E-Mail: dirka@lgabw.de

Internet:

<http://www.lgabw.de/direktion-karlsruhe>

HAUS DER WIRTSCHAFT

