



INITIATIVE
EnergieEffizienz+
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Lufttechnik: Planung und Optimierung lufttechnischer Anlagen.

Lebenszykluskostenanalyse + Auslegung der Anlage +
Auswahl der Einzelkomponenten und der Regelstrategie +
Bau und Betrieb.

Lebenszykluskostenanalyse.

Der Betrieb lufttechnischer Anlagen kann ein entscheidender Kostenfaktor sein. Insbesondere die Energiekosten können über die Lebensdauer einer solchen Anlage die anfänglichen Anschaffungskosten um ein Vielfaches überschreiten. Es wäre daher wenig sinnvoll, bei der Planung einer lufttechnischen Anlage vorrangig die Anschaffungskosten vor Augen zu haben. Ein

systematischer Ansatz zur Erfassung und Optimierung der Gesamtkosten ist die Lebenszykluskostenanalyse (englisch: Life Cycle Costing, LCC). Detaillierte Hinweise zu dieser Methode finden sich an verschiedenen Stellen bei der *Initiative EnergieEffizienz*, unter anderem in den Infoblättern Drucklufttechnik sowie Pumpen und Pumpensysteme. Diese finden Sie im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de > Service/Publikationen.

Auslegung der Anlage.

Am Anfang der Planung steht die Festlegung des Bedarfs und der Anforderungen.

Die Lebenszykluskosten der Anlage hängen wesentlich davon ab, wie gut die Anlagenleistung zu jedem Zeitpunkt an den tatsächlichen Bedarf angepasst ist. Überdimensionierte Anlagen, unnötig weit gehende Aufbereitung und Klimatisierung und schlechte Anpassung an Teillastanforderungen sind die häufigsten Ursachen für unnötig hohe Lebenszykluskosten. Informationen zur Auslegung von lufttechnischen Anlagen und das Zusammenwirken der verschiedenen Systemkomponenten finden Sie neben diesem Dokument auch im Infoblatt „Systemauslegung und Energieeffizienz“.

Volumenstrom minimieren, Kanalnetz optimieren.

Bei der Dimensionierung der Anlagenleistung sollte die Devise gelten: „So viel wie nötig, so wenig wie möglich!“ Angesichts des großen Anteils der Betriebskosten ist es nicht sinnvoll „auf Vorrat“ zu dimensionieren. Stattdessen sollte nach Möglichkeiten gesucht werden, den Luftvolumenstrom zu minimieren. Dies kann z.B. durch die räumliche Begrenzung von Schadstofffrachten geschehen. Da Zigarettenrauch die erforderlichen Luftaustauschzahlen drastisch steigert, sollte das Rauchen auf wenige Raucherzonen beschränkt werden. Räume, in denen gesundheitsgefährdende oder störende Stoffe freigesetzt werden, sollten auf einem niedrigeren Druckniveau gehalten werden, so dass sich diese Belastungen nicht verteilen können. Zur Reduzierung der Anlagenlaufzeiten sollten Räume mit stark unterschiedlichen Nutzungszeiten einzeln versorgt werden. Es ist wenig sinnvoll, die Lüftungsanlage im gesamten Betrieb laufen zu lassen, wenn eigentlich nur die EDV-Zentrale belüftet werden müsste.

Pneumatische Transportanlagen sollten auf die Strecken beschränkt werden, auf denen sie eindeutige Vorteile haben. Meistens ist ein mechanischer Transport energieeffizienter.

Im Gegensatz zur Dimensionierung der Ventilatoren sollten beim Kanalnetz von Anfang an größere Durchmesser eingeplant werden, wenn spätere Leistungssteigerungen abzusehen sind. Anders als bei Ventilatoren und Luftbehandlungseinrichtungen ist bei den Kanälen eine Kapazitätssteigerung nicht ohne erheblichen Kostenaufwand möglich. Die Strömungsgeschwindigkeiten in Kanälen sollten möglichst gering sein. Dies mindert den Energieverbrauch und die Lärmbelastung. Runde Querschnitte sind bei gleicher Fläche effizienter als quadratische und jene wiederum besser als rechteckige.

Tab. 1: **Empfohlene Strömungsgeschwindigkeiten**
Quelle: Schweizer SIA-Norm 382

Luftvolumenstrom der Anlage	maximale Luftgeschwindigkeit
bis 1.000 m ³ /h	3 m/s
bis 2.000 m ³ /h	4 m/s
bis 4.000 m ³ /h	5 m/s
bis 10.000 m ³ /h	6 m/s
über 10.000 m ³ /h	7 m/s

Die Planung des Kanalnetzes sollte mit der Raum- und Aufstellungsplanung koordiniert werden. Bei einer nachträglichen Anpassung an bestehende räumliche Gegebenheiten ist eine energiesparende, geradlinige und kurze Kanalführung oft nicht mehr möglich.

Auswahl der Einzelkomponenten und der Regelstrategie.

Nachdem die grundlegende Planung abgeschlossen wurde und die erforderlichen Luftleistungen feststehen, sind die einzelnen Komponenten auszuwählen. Hier kann noch einmal entscheidend Einfluss auf die späteren Betriebskosten genommen werden. Der Energieverbrauch kann im Wesentlichen durch die folgenden drei Ansätze reduziert werden:

- Optimierung der Ventilatorlaufzeiten
- Annäherung der Ventilatorleistung an den tatsächlichen momentanen Luftbedarf
- Maximierung des Gesamtwirkungsgrades

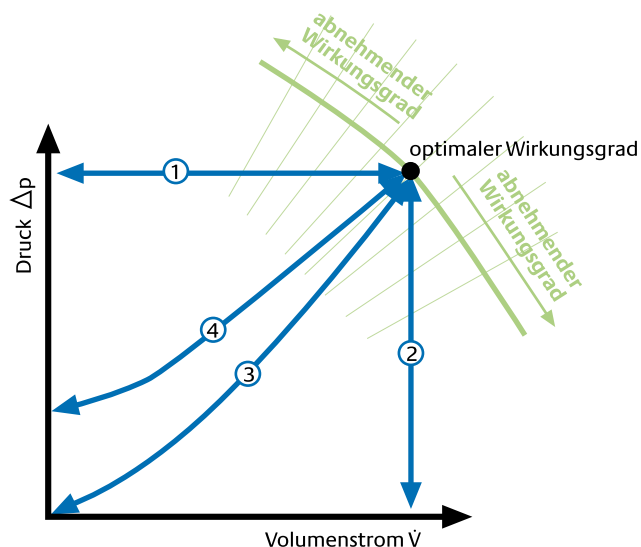
Der Gesamtwirkungsgrad ist das Produkt der Wirkungsgrade der Einzelkomponenten. Auch die Wartungskosten hängen stark von der Qualität der Einzelkomponenten ab. Zur Minimierung der Lebenszykluskosten sollten Komponenten gewählt werden, die mit dem RAL-Gütezeichen für raumlufttechnische Geräte ausgezeichnet wurden (RAL-GZ 652).

Der Ventilator und dessen Betriebspunkt sind mit Bedacht zu wählen.

Ventilatoren unterscheiden sich stark in ihren Wirkungsgraden und Betriebsverhalten. Hinweise zu unterschiedlichen Ventilatorbauarten finden sich im Infoblatt „Ventilatoren und Antriebe“. Bei der Auswahl von Ventilatoren können die Hersteller mit eigenen Auslegungsprogrammen behilflich sein. Dabei sollte unbedingt der voraussichtliche Energieverbrauch ermittelt werden. Wichtig ist, dabei nicht irgendeinen mittleren Betriebspunkt anzusetzen, sondern den realen Lastverlauf möglichst genau zu berücksichtigen. Zwei Aspekte sind besonders zu berücksichtigen:

1. Der Regelweg
2. Die zeitliche Verteilung der Lastzustände

Abb. 1: Typische Regelwege



Typische Regelwege sind in Abb. 1 dargestellt.

Weg 1 steht für eine Anlage, bei der der Volumenstrom variieren kann, aber die Druckdifferenz konstant bleibt. Dies kann bei einem Ventilator der Fall sein, der aus einem Lackierraum mit konstantem Unterdruck Luft absaugt oder Luft in einen Reinraum mit konstantem Überdruck hinein befördert.

Weg 2 steht für eine Anlage, bei der auch bei variierender Druckdifferenz der Volumenstrom konstant gehalten werden soll. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn durch einen Filter, der sich zusetzt, immer ein konstanter Luftstrom gefördert werden soll.

Weg 3 zeigt einen quadratischen Zusammenhang von Druckdifferenz und Volumenstrom. Dies könnte z. B. ein Lüftungskanal sein, durch den ein variabler Volumenstrom gefördert wird.

Weg 4 ist eine Kombination aus 3 und 1. Ein Beispiel wäre ein Lüftungskanal, an dessen Ende sich ein Raum mit konstantem Überdruck befindet.

Bei einer Anlage, die auf dem Weg 1 geregelt wird, sollte der Maximal-Betriebspunkt rechts vom Punkt mit dem besten Wirkungsgrad liegen. Der Abstand vom Bestpunkt ist eine Frage der Optimierung und hängt von der Frage ab, wie lange bei welchen Teillastgraden operiert wird. Tritt der Regelweg 2 auf, sollte der Maximal-Betriebspunkt links vom Bestpunkt liegen. Beim Regelweg 3 sind Bestpunkt und Betriebspunkt möglichst genau übereinander zu legen. Der Betriebspunkt bewegt sich dann auf der Linie des besten Wirkungsgrades. Bei Weg 4 sollte der Maximal-Betriebspunkt etwas rechts vom Bestpunkt liegen, je nachdem wie stark der Einfluss des konstanten Druckes ist und wie lange in Teillast gefahren wird.

Der Lastgang einer lufttechnischen Anlage fluktuiert in der Regel über den Tag und oft auch über das Jahr. Zur Bestimmung des optimalen Auslegungspunktes sollte abgeschätzt, berechnet oder gemessen werden, wie viele Stunden die Anlage in den einzelnen Betriebspunkten fährt. Relativ einfach ist dies bei Anlagen, deren Betriebspunkt sich eindimensional auf einem der oben beschriebenen Regelwege bewegt. Zunächst sollte anhand der Kennlinien verschiedener in Frage kommender Ventilatoren und deren Wirkungsgraden in dem betrachteten Leistungsbereich entschieden werden, welcher Ventilortyp am besten zu dem geforderten Betriebsverlauf passt. Innerhalb einer Baureihe gibt es dann noch Variationsmöglichkeiten, z. B. durch die Baugröße, Regelungsart und die Ventilator Drehzahl. Zur Optimierung stehen bei Ventilatorherstellern entsprechende Auslegungsprogramme bereit. Für eine Annäherung an das Optimum kann der Lastverlauf in drei oder vier Leistungsstufen aufgeteilt werden. Der Bereich des optimalen Wirkungsgrades sollte in etwa da liegen, wo das Produkt aus Leistung und bei dieser Leistung gefahrenen Betriebsstunden (= Druck * Volumenstrom * Zeit) am größten ist.

Kraftübertragung, Regelung und Motor.

Eine direkte Kraftübertragung vom Motor auf den Ventilator bedeutet immer weniger Antriebsverluste als der Einsatz eines Riemenantriebes. Wenn ein Ventilator zur Verfügung steht, der bei der Motornendrehzahl eine geeignete Kennlinie hat oder wenn eine elektronische Drehzahlregelung eingesetzt werden kann, ist die direkte Kupplung dem Riemenantrieb vorzuziehen. Der Betrieb bei einer nicht-optimalen Drehzahl kann jedoch in vielen Fällen mehr unnötige Energiekosten verursachen als ein Riemenantrieb. Der Leistungsbedarf des Ventilators ist proportional zur dritten Potenz der Drehzahl. Der Energieverlust eines gut gewarteten Riemenantriebes ist weniger gravierend, als eine unnötig hohe Ventilatorleistung. Bei der Entscheidung dieser Fragestellung ist nicht nur der Energiebedarf für den Ventilator sondern auch der für die Behandlung des Luftstroms zu berücksichtigen. Auch die Wartungskosten spielen eine Rolle. Letztere sind bei direkten Antrieben fast immer geringer als bei drehzahlübersetzten.

Hinweise zu den Vor- und Nachteilen der einzelnen Regelvarianten können im Infoblatt „Regelungstechnik“ nachgelesen werden. Bei der Auswahl des Motors ist auf eine möglichst gute Effizienzklasse zu achten. Eine Orientierung bietet das CEMEP-Gütesiegel. Motoren mit dem Label eff 1 sind die effizientesten innerhalb dieser Klassifizierung.

Bau und Betrieb.

Ausschreibung, Vergabe, Inbetriebnahme.

Der Bau der Lüftungsanlage ist möglichst durch eine Fachfirma auszuführen, die schon von Anfang an in die Planung eingebunden wurde. Bei der Vergabe sind die Leistungs- und Qualitätsanforderungen schriftlich zu fixieren. Hier kann es sinnvoll sein, die Hilfe eines unabhängigen Beraters in Anspruch zu nehmen. Auch die Abnahmeprozedur und die Optimierung sollten vereinbart werden. Bestandteile der Leistungsabnahme sollten eine Vollständigkeits- und Funktionsprüfung sowie eine Leistungsmessung sein. Hinweise zur Abnahme gibt die VDI-Richtlinie 2079. Bereits während der Inbetriebnahme werden Regler und Steuerungen parametrisiert. Zu diesem Zeitpunkt muss auch schon ein Druckabgleich vorgenommen werden. Diese Prozedur kann für weit verzweigte Kanalnetze relativ aufwendig sein und mehrere Stunden dauern.

Abb. 2: Logo eff1



Betrieb, Optimierung und Instandhaltung.

Eine lufttechnische Anlage arbeitet umso effizienter, je besser sie an die spezifischen Besonderheiten der jeweiligen Arbeitsumgebung angepasst ist. Durch die Planung und den Bau der Anlage werden die entscheidenden Rahmenbedingungen geschaffen. Bei der Inbetriebnahme wird die Anlage bereits soweit angepasst, dass die Funktion vollständig erfüllt werden kann und die Regelungen möglichst gut arbeiten. Für eine endgültige Optimierung sollten jedoch Erfahrungen im Alltagsbetrieb vorliegen, die Anlage „eingefahren“ sein und die vielfältigen Lastzustände mindestens einmal aufgetreten sein. Der beste Zeitpunkt für eine Optimierung ist etwa ein Jahr nach der Inbetriebnahme. Anhand der Nutzererfahrungen können Steuerungen neu parametrisiert, Soll-Luftvolumenströme und Temperaturen angepasst und die Betriebszeiten optimiert werden. Durch die Optimierung der Anlage kann der Energieverbrauch in vielen Fällen noch einmal um bis zu zehn Prozent gesenkt werden.



Wenn die lufttechnische Anlage erst einmal störungsfrei funktioniert, ist die Gefahr groß, dass sie aus dem Blickfeld gerät. Ein solche „allein gelassene“ Anlage mag zwar über viele Jahre hinweg zuverlässig die geforderten Luftvolumenströme bereitstellen, der Betrieb wird aber in den meisten Fällen mit deutlich höheren Kosten verbunden sein, als dies nötig wäre. Um dies zu vermeiden, ist es wichtig, dass die Verantwortlichkeit für die Lüftungsanlage zu jedem Zeitpunkt klar einer Person zugeordnet ist. Dieser Person müssen die Herstellerunterlagen zur Verfügung stehen und die Möglichkeit gegeben sein, sich bei Unklarheiten oder Nutzungsänderungen über eine Hotline an den Hersteller zu wenden. Instandhaltungsroutinen müssen festgelegt werden. Die Erstellung von Arbeitsanweisungen ist zu empfehlen.

In regelmäßigen Abständen sollte die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Anlage überprüft werden. Zur Beurteilung können Leistungskennwerte herangezogen werden. Der Leistungskennwert ist die installierte Leistung [kW] geteilt durch den Luftvolumenstrom [m^3/s]. In der Raumlufttechnik können Leistungskennwerte sowohl für die Leistung der Zuluftventilatoren als auch die

der Abluftventilatoren gebildet werden ($P_{\text{Zul}}/V_{\text{Zul}}$ bzw. $P_{\text{Abl}}/V_{\text{Abl}}$). Leistungskennwerte besser als $1 \text{ kW}/\text{m}^3$ in RLT-Anlagen sind sehr gut. Kennwerte schlechter als $3 \text{ kW}/\text{m}^3$ deuten auf eine ineffiziente Anlage hin.

Fazit:

Der Betrieb einer lufttechnischen Anlage kann mit erheblichen Dauerkosten verbunden sein. Auf die Höhe dieser Kosten können der Anlagenbauer und der Betreiber an vielen Stellen auch nach der Inbetriebnahme Einfluss nehmen. Allein die Tatsache, dass die Anlage ihre Aufgabe zuverlässig erfüllt ist daher kein ausreichendes Gütekriterium. Bei der Planung und bei regelmäßigen Optimierungen während der Lebensdauer, sollte die Leistung der Anlage möglichst genau an die tatsächlichen Erfordernisse angepasst werden. Eine bewusste Auswahl der Komponenten, Optimierung der Steuerung und eine regelmäßige Instandhaltung können eine hohe Energieeffizienz gewährleisten.

Tipps:

Wenn Sie neu bauen:

- Optimieren Sie die Gebäudestruktur bezüglich Raumaufteilung, thermischer Lasten und natürlicher Konvektion.
- Vermeiden Sie überdimensionierte Anlagen und Komponenten.
- Schauen Sie auch auf Lösungen für ähnliche Aufgabenstellungen in anderen Branchen.
- Fragen Sie in Ihren Ausschreibungen immer auch Wirkungsgrade und am besten auch Angaben zu Lebenszykluskosten an.

- Holen Sie immer mehrere Vergleichsangebote ein.

- Beachten Sie auch die unten genannten Punkte.

Bei bestehenden Anlagen:

- Steuern und Regeln Sie die Anlagenleistung bedarfsgerecht.
- Sichern Sie die Wirtschaftlichkeit Ihrer Anlage durch kontinuierliche Messung und Überprüfung der grundlegenden Leistungsdaten.
- Sorgen Sie für eine regelmäßige – am besten zustandsorientierte - Instandhaltung

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Ohne lufttechnische Anlagen kommt in den Sektoren Industrie und Gewerbe kaum ein Unternehmen aus. Die Lufttechnik ist ein fester Bestandteil moderner Fertigungsstätten. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Lufttechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Lufttechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Lufttechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de