

Wirtschaftliche Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen

Gummersbach, F.

Der Konstrukteur ist durch immer strengere gesetzliche Bestimmungen und Kundenforderungen gezwungen, Lärminderungsmaßnahmen im Konstruktionsprozeß zu berücksichtigen. Dabei ist nicht nur das maschinenakustische Wissen von Bedeutung, sondern es müssen zur Auswahl von Lärminderungsmaßnahmen auch Informationen über die resultierenden Kosten vorliegen.

Acoustical concerns are more and more important due to legal and market demands. To select appropriate noise reduction measure the designer has also to consider economical aspects.

1 Einleitung

Für eine wirtschaftliche Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen müssen vergleichende Größen ermittelt werden. Dies können zum einen absolute Kosten und zum anderen relative Kosten sein. Dabei muß Klarheit darüber herrschen, welche Kosten berücksichtigt werden müssen, um einen Beitrag zur Stärkung des Unternehmens zu leisten.

Die Problematik wird u.a. darin deutlich, daß bei dem Vergleich zweier Angebote (z.B. Werkzeugmaschinen) die preiswertere Maschine eine wesentlich höhere Schallabstrahlung besitzt und letztendlich zu höheren Fehlzeiten von Fachkräften (Maschinenbediener) führt. Neben der gesundheitlichen Belastung des Fachpersonals, treten hierbei -bedingt durch den Produktionsausfall- höhere Kosten auf, welche in diesem Fall nicht mit berücksichtigt wurden und somit zu einer Fehlentscheidung führten.

1.1 Zielbildung

Rationale Entscheidungen können nur getroffen werden, wenn man seine Handlungsmöglichkeiten auf ein Ziel hin vergleichen kann /1/. Die Notwendigkeit eines Ziels begründet sich daraus, daß ohne konkrete Beurteilungskriterien keine Zielrichtung vorgegeben wird und somit ein nebulöses Herumgestocher in Gestaltungsalternativen hervorruft. Des weiteren müssen Regeln bekannt sein, um konfliktäre Beziehungen unter den Zielen aufzulösen.

In der Zieldefinition werden aus der Vielfalt aller möglichen Ziele jene genauer beschrieben, die von Interesse sind. So ist es u.a. auch aus unternehmenspolitischen Gründen sehr wichtig, dem konstruktiven Bereich alle hierfür relevanten Unternehmensziele vorzugeben, so daß diese zu Anforderungen an ein Produkt formuliert werden und gegebenenfalls weiter detailliert werden können. Anforderungen bezogen auf die Lärminderung sind Betriebsforderungen, die den Bereich der "Mensch-Maschine-Beziehung" zugeordnet werden können. Das heißt, sie geben an, "Wie" die Maschine ihre Aufgabe zu erfüllen hat. Hierzu sind natürlich auch Angaben über Grenzwerte für den Konstrukteur notwendig. Zu einer besseren Bewertung sollte sich ein Unternehmen auch klarmachen, wieviel einem eine bestimmte Anforderung wert ist, denn nichts gibt es umsonst. Bezüglich der Lärminderung also: "Wieviel ist mir eine Geräuschminderung um xy dB(A) wert?"

Die Beantwortung dieser Frage ist vielschichtig und zudem vom Betrachter abhängig. Unter unternehmerischen Gesichtspunkten ist eine Werterhöhung eines Produktes (z.B. durch eine geringere Geräuschemission) wünschenswert, wenn diese mit möglichst geringen Kosten einher geht. Grundsätzlich unterschieden werden muß, ob ein Grenzwert zwingend eingehalten werden muß und somit die Einhaltung der Anforderung zur Unternehmenserhaltung beiträgt oder durch diese Werterhöhung, aufgrund eines geringeren Lärmpegels und der einhergehenden Wettbewerbsvorteile, ein höherer Erlös erzielt werden kann. Dies ist unabhängig davon ob dies nun gesetzliche oder marktspezifische Forderungen sind. Stellt man sich nun die Frage der Motivation nach der Lärminderung, kann diese immer unter sozialen und bzw. oder monetären Aspekten gesehen werden. Der soziale Aspekt begründet sich dabei aus der gesundheitlich schädigenden Wirkung des Lärms. So entsteht ein volkswirtschaftlicher Schaden aufgrund der hohen Anzahl von Schwerhörigkeit als anerkannte Berufskrankheit. Mikroökonomisch gesehen entsteht ein wirtschaftlicher Schaden durch krankheitsbedingte Fehltag, Motivationshämmung bis hin zu Wesensänderungen in der Persönlichkeit von Perso-

nen in lärmexponierten Betriebsbereichen. Dies führt schließlich auch wieder zu höheren Kosten durch steigende Unproduktivität. Letztendlich ergibt sich in der Regel eine Notwendigkeit zur Lärminderung aufgrund monetärer Aspekte. Aus unternehmerischer Sicht wäre hier der

Gewinn pro Lärminderung

zu sehen.

Vereinfacht läßt sich die Frage für den Konstrukteur formulieren:

"Um wieviel darf das Produkt pro dB-Lärminderung teurer werden?"

Dieser Frage wird im nächsten Kapitel unter verschiedenen Gesichtspunkten nachgegangen.

Erhält der Konstrukteur die Anforderung, einen schalltechnischen Grenzwert einzuhalten, ist dieser gezwungen, entsprechende Gestaltungsmöglichkeiten zu finden. Bei verschiedenen Gestaltungsalternativen, müssen unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten, die besten ermittelt werden.

1.2 Relevante Kosten für Lärminderungsmaßnahmen

Für den Konstrukteur ist es nun sehr wichtig zu wissen, welche Kosten er bei einer wirtschaftlichen Betrachtung seiner Gestaltungsalternativen zu betrachten hat. Nach /2/, /3/ und /4/ ist es sinnvoll, eine Unterteilung in investitions- und betriebsabhängige Kosten, Personalkosten, sonstige Kosten, Folgekosten sowie Erlöse aus Förderungsmaßnahmen vorzunehmen.

Zur Ermittlung der exakten Kostenarten für die Teilkostenrechnung sind die oben aufgezeigten Gruppen genau nach Einzel- und Gemeinkosten und damit nach variablen und fixen Kosten zu unterscheiden. Die Differenzierung aller Kosten hängt von der eingesetzten Kostenrechnung eines Unternehmens ab und kann daher an dieser Stelle nicht vorgenommen werden.

Zu den Betriebs-, Instandhaltungs- und den Investitionskosten ist anzumerken, daß sie in besonderem Zusammenhang mit der Nutzungsdauer der Lärminderungsmaßnahme stehen. Es gibt Produkte, die keine oder fast keine Betriebs- oder Instandhaltungskosten aufweisen (z.B. Gabelschlüssel, Schwingungsisolierung etc.). Hier kommt es nur darauf an, die Investitionskosten pro Nutzungsdauer möglichst gering zu halten. Es gibt aber auch Produkte (z.B. Wasserpumpen, Ventilatoren etc.), die überwiegend Betriebsko-

sten (hier Energiekosten) aufweisen, d.h. die Investitionskosten werden während der Nutzungsdauer gegenüber den Betriebskosten vernachlässigbar klein. Um die Produktgesamtkosten zu senken, erscheint es sinnvoll, ein Produkt mit womöglich höheren Investitionskosten jedoch niedrigeren Betriebskosten zu wählen. /3/

Es muß an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß eine optimale Entscheidung nur getroffen werden kann, wenn eine exakte Zielbildung für jede Kostenart vorliegt.

Im folgenden Beispiel wird die Betrachtung auf betriebsab- und -unabhängige Kosten gelegt.

2 Bewertung einzelner Maßnahmen am Beispiel einer Volumenstromregelung

Bei lufttechnischen Anlagen muß der Volumenstrom geregelt werden, was durch folgende Maßnahmen erreicht werden kann:

- Drosselregelung
- Drallregler
- Drehzahlregelung

In **Bild 1** ist der Leistungsbedarf über dem Volumenstrom für die Drehzahlregelung und die Drosselung dargestellt.

Welche dieser drei Möglichkeiten zur Volumenstromregulierung am geeignetsten ist, hängt von den jeweils geforderten Betriebsbedingungen ab, die über den gesamten Nutzungszeitraum betrachtet werden müssen. Die Auswahl muß letztendlich unter ökonomischen Gesichtspunkten erfolgen. **Bild 2** zeigt, daß bezüglich der Geräusentwicklung die Volumenstromregulierung durch Drehzahländerung den beiden anderen Methoden überlegen ist, da ein Betrieb im Unterlast- und Überlastbereich sehr gut anzupassen ist.

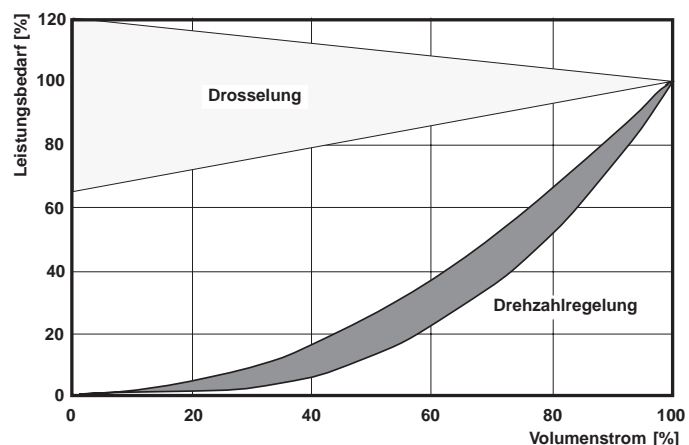


Bild 1: Leistungsbedarf bei verschiedenen Volumenstromregulierungen /5/

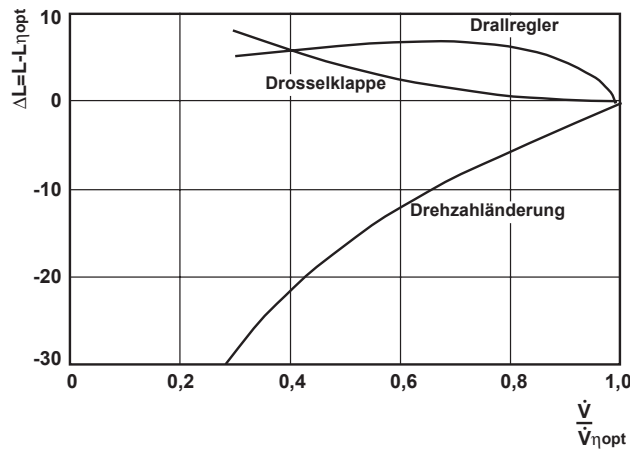


Bild 2: Geräuschentwicklung bei verschiedenen Volumenstromregulierungen /6/

Bei Anwendung der Drehzahlregelung reduziert sich der Leistungsbedarf des Laufrades mit der 3. Potenz der Drehzahl bzw. des Volumenstroms. Dabei ist der Volumenstrom direkt proportional zur Drehzahl.

Bei der Halbierung der Drehzahl sinkt der Leistungsbedarf auf ein Achtel des Wertes bei voller Drehzahl. Wieviel von dieser Leistungsminderung als Ersparnis bezüglich der Energiekosten übrig bleibt, hängt sehr stark von der Charakteristik des Antriebsmotors und des Drehzahlsteuergerätes ab. Die folgende Berechnung der Energiekostensparnis stellt eine Überschlagsrechnung dar und kann je nach Antriebsmotor davon abweichen. Die Berechnung vermittelt aber eine Vorstellung, in welchen Größenbereichen sich die Energiekostensparnis bewegt.

2.1 Berechnungsbeispiel

Der Radialventilator habe eine Leistungsaufnahme von 1,74 kW bei einer Nenn Drehzahl von 1385 U/min. Der Preis für eine kWh betrage 0,25 DM. Der Radialventilator läuft in einem Jahr insgesamt 8000 Stunden. Davon 5000 Stunden bei halber Drehzahl und 3000 Stunden bei voller Drehzahl. Der Kostenvergleich wird anhand der Drosselung und der Drehzahlregelung für den festgelegten Betriebszustand durchgeführt. Wie aus dem **Bild 1** hervorgeht, schwankt der Leistungsbedarf bei der Volumenstromregulie-

rung mit Hilfe der Drosselung zwischen 65% und 120% bei sinkendem Volumenstrom. Daher wird bei der Berechnung der Energiekosten für die Drosselung ein Leistungsbedarf von 100% in allen Drehzahlbereichen festgelegt, **Tabelle 1**.

Mit Hilfe der berechneten Werte für den Leistungsbedarf ergeben sich für die Energiekosten, hochgerechnet für 10 Jahre, die in **Tabelle 2** berechneten Kosten.

Hieraus ergibt sich eine Energiekostensparnis bei der Volumenstromregulierung mit Hilfe der Drehzahlregelung gegenüber der Drosselung von 19032 DM in dem festgesetzten Zeitraum von 10 Jahren mit einer Laufzeit von 80 000 Betriebsstunden. Daraus ergibt sich eine Ersparnis nur für die Energiekosten pro Jahr von 1903,2 DM.

Bei Halbierung der Drehzahl reduziert sich der Geräuschpegel um 15 dB (A). Bei der Drosselung

Tabelle 1: Abgeschätzter Leistungsbedarf bei verschiedenen Volumenstromregulierungen /7/

	Drosselung (DS)	Drehzahlregelung (DR)
Leistungsbedarf bei voller Drehzahl $n = n_0$	$P_{L, DS} = P_{L, 0} = 1,74 \text{ kW}$	$P_{L, DR} = P_{L, 0} = 1,74 \text{ kW}$
Leistungsbedarf bei halber Drehzahl $n = 0,5 n_0$	$P_{L, DS} = P_{L, 0} = 1,74 \text{ kW}$	$P_{L, DR} = P_{L, 0} \times \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 = 0,2175 \text{ kW}$

steigt der Geräuschpegel bei halber Drehzahl um ca. 5 dB(A), **Bild 2**. Als Gesamtunterschied ergibt sich demzufolge 20 dB(A). Geht man nun davon aus, daß die Immissionsgrenzwerte am Arbeitsplatz im Nennlastbereich gerade noch eingehalten werden, würden sie bei Verwendung einer Drosselung überschritten, so daß weitere Lärm-minderungsmaßnahmen (z.B. Kanalschalldämpfer) nötig wären.

Tabelle 2: Energiekosten für die Volumenstromregulierung pro Jahr /7/

	Drosselung (DS)	Drehzahlregelung (DR)
Energiekosten bei voller Drehzahl $n = n_0$ und 30000 Stunden	$E_{k_{DS, 30000}} = 30000 \text{ h} \times 1,74 \text{ kW} \times 0,25 \text{ DM/kWh} = 13050 \text{ DM}$	$E_{k_{DR, 30000}} = 30000 \text{ h} \times 1,74 \text{ kW} \times 0,25 \text{ DM/kWh} = 13050 \text{ DM}$
Energiekosten bei halber Drehzahl $n = 0,5 n_0$ und 50000 Stunden	$E_{k_{DS, 50000}} = 50000 \text{ h} \times 1,74 \text{ kW} \times 0,25 \text{ DM/kWh} = 21750 \text{ DM}$	$E_{k_{DR, 50000}} = 50000 \text{ h} \times 0,2175 \text{ kW} \times 0,25 \text{ DM/kWh} = 2718,75 \text{ DM}$
SUMME (80000 Stunden in 10 Jahren)	34800 DM	15768 DM
Energiekosten pro Jahr	3480 DM/Jahr	1576,8 DM/Jahr

Zur Drehzahlregelung stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Dabei unterscheidet man grundsätzlich Drehzahlregelungen bei Gleichstrommotoren, einphasigen Wechselstrommotoren und Drehstrommotoren. Der hier zu bewertende

Radialventilator wird durch einen Drehstrommotor angetrieben, die Drehzahlregelung kann mittels eines Frequenzumrichters oder eines Trafo-Drehzahlstellers durchgeführt werden. Zunächst erfolgt eine Aufstellung der Schallpegelveränderung und des Anschaffungspreises für die Drosselung, den Frequenzumrichter und den Trafo-Drehzahlsteller, **Tabelle 3**. Anschließend werden die Gesamtkosten pro Jahr für die einzelnen Maßnahmen berechnet, **Tabelle 4**.

Tabelle 3: Schallpegelerhöhung und Anschaffungskosten der Maßnahmen

Drosselung (DS)	
Schallpegelerhöhung:	$\Delta L_{pA, DS} = + 5 \text{ dB(A)}$
Anschaffungskosten Drosselung:	$A_{DS} = 200 \text{ DM}$
Frequenzumrichter (FU)	
Schallpegelminderung:	$\Delta L_{pA, FU} = -15 \text{ dB(A)}$
Anschaffungskosten Frequenzumrichter:	$A_{FU} = 6900 \text{ DM}$
Trafo-Drehzahlsteller (TD)	
Schallpegelminderung:	$\Delta L_{pA, TD} = -15 \text{ dB(A)}$
Anschaffungskosten Trafo:	$A_{TD} = 2000 \text{ DM}$

Die Betrachtung der Gesamtkosten aller Maßnahmen zeigt, daß sich für den Frequenzumrichter, auf zehn Jahre betrachtet, geringere Gesamtkosten pro Jahr ergeben (die Differenz beträgt 558 DM), obwohl der Anschaffungspreis des Frequenzumrichters das 34,5 fache des Preises der Drosselung beträgt. Dies resultiert aus den wesentlich geringeren Energiekosten durch die Volumenstromregelung mittels Drehzahländerung. Besonders groß ist der Kostenunterschied zwischen Drosselung und Trafo-Drehzahlsteller. Der Trafo-Drehzahlsteller liegt sehr niedrig im Anschaffungspreis gegenüber dem Frequenzumrichter. Der Frequenzumrichter

bietet jedoch mehr Möglichkeiten bei der Drehzahlregelung. Die Entscheidung, ob Frequenzumrichter oder Trafo, richtet sich somit nach den jeweiligen Anforderungen und müsste im Einzelfall beantwortet werden.

3 Zusammenfassung

Wie das zuvor beschriebene Beispiel zeigt, müssen Lärminderungsmaßnahmen letztendlich keine zusätzlichen Kosten verursachen. Im allgemeinen kann man jedoch davon ausgehen, daß die Investitionskosten für die jeweiligen Maßnahmen erst einmal Kosten verursachen, diese jedoch immer im Rahmen einer Kostenrechnung gesehen werden müssen. Zudem wird häufig das Einsparungspotential von zusätzlichen Personalkosten durch die Reduzierung von lärmbedingt auftretenden Fehltagen nicht berücksichtigt.

Denn: „Können Sie effektiv arbeiten, wenn neben ihnen jemand mit einer Kreissäge oder einem Aufreißhammer arbeitet?“

4 Literatur

- /1/ Matschke, M.J.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre I+II; Vorlesungsskripte des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der TU Clausthal; 1994
- /2/ VDI-Richtlinie 3800: Kostenermittlung für Anlagen und Maßnahmen zur Emissionsminderung; VDI-Verlag; Düsseldorf 1979
- /3/ VDI-Richtlinie 2235: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren –Methoden und Hilfen-; VDI-Verlag; Düsseldorf 1987
- /4/ Greim, H.-R.: Kosten alternativer Lärminderungsmaßnahmen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Dortmund 1981
- /5/ Neise, W.: Turbulenz und Geräuschminderung bei Ventilatoren; Kraftwerkstechnik 63; Heft 11; 1983

/6/ Katalog Lärminderungsmaßnahmen: Zentralinstitut für Arbeitsschutz beim Staatssekretariat für Arbeit und Löhne (ZIAS). Dresden 1976

/7/ Liehmann, K.: Konstruktive Untersuchung zur Auswahl von Geräuschminderungsmaßnahmen; Diplomarbeit TU Clausthal; 1997

Tabelle 4: Berechnung der Gesamtkosten/Jahr für Drosselung, Frequenzumrichter und Trafo-Drehzahlsteller /7/

	Drosselung	Frequenzumrichter	Trafo-Drehzahlsteller
Kapitalkosten: kalkulatorische Abschreibung	$A_{DS}/10 \text{ Jahre}=20 \text{ DM/Jahr}$	$A_{FU}/10 \text{ Jahre}=690 \text{ DM/Jahr}$	$A_{TD}/10 \text{ Jahre}=200 \text{ DM/Jahr}$
kalkulatorische Zinsen (10% von A)	20 DM/Jahr	690 DM/Jahr	200 DM/Jahr
Sonstige fixe Kosten: Instandhaltung	5 DM/Jahr	10 DM/Jahr	10 DM/Jahr
Variable Kosten: Energiekosten	3480 DM/Jahr	1576,8 DM/Jahr	1576,8 DM/Jahr
Gesamtkosten:	3525 DM/Jahr	2966,8 DM/Jahr	1986,8 DM/Jahr