

# Die grünen Seiten für die Aus- und Weiterbildung

# Gig

Inhalt 18/2004

## Vorhandene Innenraum-Beleuchtungsanlage beurteilen und neu planen

### Teil 1: Prüfung und Beurteilung

Jörn Martens

**Für alle, die sich mit der Planung und Beurteilung von Beleuchtungsanlagen beschäftigen, hat sich seit März 2003 mit Inkrafttreten der DIN EN 12464 einiges verändert. Wir wollen anhand eines Gruppenbüros die Prüfung einer bestehenden Beleuchtungsanlage sowie die anschließende Neuplanung Schritt für Schritt durchgehen.**

Di., 10.00 Uhr. Der frischgebackene Elektrotechnikermeister *Ole Harms* wartet auf seinen Kundenberater *Jens Raff* in der Gibgeld-Bank. *Ole Harms* hat sich vor kurzem selbstständig gemacht und es gibt noch eine Menge finanzieller Dinge zu klären. Während *Ole* wartet, fällt ihm auf, wie dunkel es im Büro ist und deshalb fragt er sich, ob die Beleuchtungsanlage wohl noch den geltenden Bestimmungen entspricht.

Nach dem Klären der finanziellen Angelegenheiten spricht *Ole* seinen Kundenberater auf die Beleuchtungssituation in dessen Büro an. *Jens Raff* berichtet, dass irgendetwas mit dem Bürolicht nicht mehr stimmt – und zwar seit dem letzten Umbau, als man, um größere Arbeitsgruppen zu bilden, die früher kleineren Einzelbüros durch Entfernen der Zwischenwände zum Gruppenbüro zusammenfasste. Die ursprünglichen Leuchten wurden aus Kostengründen nicht ersetzt.

### Gesundheitsprobleme der Mitarbeiter

Zwischen den Arbeitsplätzen stehen seitdem dunkle Raumteiler (Bild 1). *Martin Müller*, der Vorgesetzte von *Jens Raff* und Leiter der Bankfiliale, berichtet, dass er sich manchmal wie in einer Höhle vorkommt. Und auch die Kollegen klagen des Öfteren über Kopfschmerzen und Sehprobleme. Manchmal ziehen sie auch die Lamellenvorhänge zurück, aber dann spiegelt sich alles auf der Bildschirmoberfläche (Bild 1).

*Ole Harms* sagt: »Herr Raff, ich habe mich während meiner Meistersausbildung auch mit Beleuchtungstechnik beschäftigt

und den Sachkundenachweis für künstliche Beleuchtungsanlagen gemacht.« Dazu *Martin Müller* spontan: »Dann könnten Sie uns bestimmt sagen, wie die Situation zu verbessern wäre.« *Ole* bejaht dies und bietet *Martin Müller* die Überprüfung der Beleuchtungsanlage an. Der Filialleiter *Müller* und der Elektrotechnikermeister *Ole Harms* klären in einem ausführlichen Vorgespräch den Ablauf und den Aufwand der Überprüfung.

Alle kommen überein, dass die momentane Situation unhaltbar für die Mitarbeiter ist. Denn auch dem Vorgesetzten fiel der höhere Krankenstand seit der Umorganisation auf.

Bevor *Ole Harms* mit den Messungen und der Beurteilung beginnt, macht er sich Gedanken über die Gründe der Gesundheitsprobleme der Bankangestellten:



**Bild 1: Gruppenbüro Gibgeld-Bank (li.) und Direktblendung (re.)**

- Die Beschäftigten leisten Schaufgaben, für die die momentane Beleuchtungsstärke zu gering ist, denn Bildschirmarbeit lässt sich nur bei optimalen Sehbedingungen über einen längeren Zeitraum bewältigen.
- Während des Umbaus wurden die hellen Zwischenwände entfernt. Das Beleuchtungsniveau in Innenräumen hängt aber u. a. vom Reflexionsgrad der beleuchteten Flächen ab, und die hellen Wände reflektierten das einfallende Licht gut.
- Für die neue Bürosituation eignen sich die vorhandenen Lampen und Leuchten nicht oder reichen nicht aus.
- Die aufgestellten dunklen Raumteiler verstärken den dunklen Eindruck und wirken einengend und bedrückend.
- Durch Aufziehen der Lamellenvorhänge steigt zwar der Tageslichtanteil der Beleuchtungsstärke, aber hiermit ergeben sich neue Probleme durch Direkt- oder Reflexblendung auf den Bildschirmen und auf glänzenden Unterlagen oder Zeitschriften.

Dipl.-Ing. Jörn Martens, arbeitet als Fachlehrer am Bundestechnologiezentrum für Elektro- und Informationstechnik (bfe) in Oldenburg

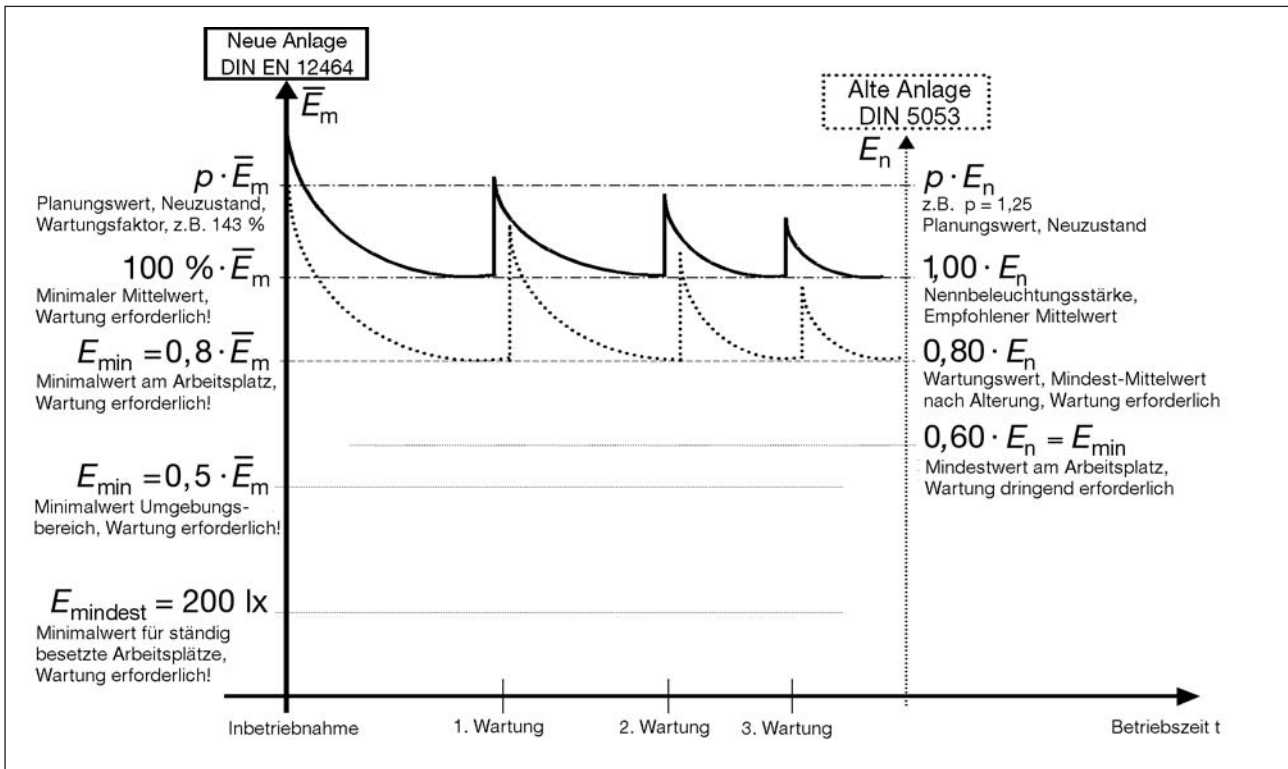


Bild 2: Unterschied der Wartungswerte zwischen DIN 5035 und DIN EN 12464

### Prüfung von Beleuchtungsanlagen

Do., 8.30 Uhr. Elektrotechnikermeister Harms trifft sich mit dem Facility-Manager der Bank *Walter Wach*, um verschiedene Planungsunterlagen der Büroräume zu erhalten. Doch leider kann sich dieser nicht erinnern, jemals Unterlagen erhalten zu haben.

Das einzige was er noch sicher weiß, ist das Errichtungsdatum der Beleuchtungsanlage: 1988. *Ole* will wissen, wann in der Bank die letzte Überprüfung der lichttechnischen Anlagen

durchgeführt wurde. *Walter Wach*: »Gute Frage, dass ist sicher schon eine kleine Ewigkeit her!«

*Ole* erinnert sich an seine Meisterausbildung: Der Unternehmer ist bzgl. der Einhaltung der Forderungen aus der Berufsgenossenschaftlichen Regel BGR 131 verpflichtet, vor der ersten Inbetriebnahme, nach Änderungen und Instandsetzungen, nach Bedarf, mindestens jedoch alle drei Jahre, die Einhaltung der erforderlichen lichttechnischen Werte durch einen Sachkundigen überprüfen zu lassen.

Do., 11.00. Elektrotechnikermeister *Ole Harms* sitzt an seinem Schreibtisch und macht sich vor der Durchführung der Messung noch einmal Gedanken über wichtige Unterschiede zwischen der alten und der neuen Norm.

- Um eine Beleuchtungsanlage zu überprüfen, muss grundsätzlich das Alter bekannt sein, d.h., man muss nach der Norm prüfen, die bei der Planung zugrunde lag. Prüft man z.B. eine nach der alten Norm DIN 5035 geplante und installierte Anlage nach der neuen Norm DIN EN 12464, so ergeben sich im Allgemeinen zu niedrige Werte – mit der Konsequenz, dass diese Anlage dann nach der neuen Norm nicht mehr zulässig ist.



Bild 3: Luxmeter Typ-Klasse B mit Aufsatz zur Ermittlung der Leuchtdichte

157	188	213	224	231	232	235	165
178	215	243	256	265	266	269	308
212	256	292	308	319	319	323	280
234	286	341	359	354	373	360	211
185	230	254	244	233	205	163	140

Bild 4: Messwerte im Messraster in Lux, auch Anlage zu Bild 5

# ELEKTROINSTALLATION

## I. Erfassung der Raumdaten

- a) Raumnutzung und Abmessungen (ankreuzen bzw. ausfüllen)
- Büroraum ohne Bildschirmarbeitsplätze (BAP)
  - Büroraum mit BAP
  - Großraumbüro
  - Verkaufsraum
  - Werkstatt
  - Besprechungsraum

Zahl der Arbeitsplätze mit Bildschirmgerät: 4  
 Zahl der Arbeitsplätze ohne Bildschirmgerät:

Abmessungen des Raumes (Länge, Breite, Höhe): 10,0 m 8,0 m 3,7 m

- b) Alter der Allgemeinbeleuchtung (evtl. geschätzt)
- Datum der Anlagenerrichtung: Mitte 1988
- Anlagenerrichtung nach März 2003 ⇒ Planung DIN EN 12464
- Anlagenerrichtung vor März 2003 ⇒ Planung DIN 5035
- Alter der Anlage in Jahren: 16

- c) Grundriss-Skizze des Raumes mit Eintragung der Messpunkte (MP1 bis MPn) für die horizontale Beleuchtungsstärke  
 Siehe Bild 4

## II. Erfassung der installierten Leuchten – Allgemeinbeleuchtung

- a) Vorhandene Leuchten

Leuchtentyp	LVK	Zahl	Abdeckung, Leuchenschlüssel beachten				Lampentyp und Leistung	Lampenzahl pro Leuchte	
Decken-einbauleuchte	Direkt strahlend		0	1	2	3	4		
	Direkt strahlend	8	0	1	2	3	4	L58W/840	2
Decken-aufbauleuchte	Vorwiegend direkt strahlend		0	1	2	3	4		
	Durchscheinende Seitenteile		0	1	2	3	4		
Pendelleuchte	Direkt strahlend		0	1	2	3	4		
	direkt/indirekt strahlend		0	1	2	3	4		
	Indirekt strahlend		0	1	2	3	4		

Abdeckung	ohne Abdeckung	Kunststoffwanne	weiße Raster	Spiegel-raster	mattierte Raster
Leuchenschlüssel	0	1	2	3	4

## III. Ermittlung der erforderlichen Beleuchtungsstärken

- a) Erforderliche Beleuchtungsstärke (100%-Wert)
- Wartungswert der Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12464:  $\bar{E}_m = \dots$
- Nennbeleuchtungsstärke nach DIN 5035 bzw. ASR 7/3:  $E_n = 5,00 \text{ lx}$
- b) Zulässiger Mindestwert (nach Alterung)
- Wartungswert der Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12464:  $\bar{E}_m = \dots$
- Mittlere Beleuchtungsstärke nach DIN 5035 bzw. ASR 7/3:  $E_{mittel} = 0,8 \cdot E_n = 4,00 \text{ lx}$
- c) Zulässiger Minimalwert am Arbeitsplatz
- $E_{min} = 0,8 \cdot \bar{E}_m = \dots$   $E_{min} = 0,6 \cdot E_n = 3,00 \text{ lx}$
- d) Zulässiger Minimalwert im Umgebungsbereich
- $E_{min} = 0,5 \cdot \bar{E}_m = \dots$

## IV. Erfassung der horizontalen Beleuchtungsstärke $E_h$

- a) Messhöhe der horizontalen Beleuchtungsstärke  $E_h$
- Arbeitsplatz: in Arbeitsebene / Nutzebene / sonstiges: 0,85 m
  - Bildschirmarbeitsplatz: (Nutzebene): 0,75 m
  - Verkehrswege: in Mittellinie: 0,20 m
  - Sportstätten: alte Normung (vor 1999): 1 m
  - Schwimmbad: 0 m

neue Normung (nach 1999): 0 m bzw. Nutzebene 20 mm

- Sicherheitsbeleuchtung nach DIN EN 1838 in Mittellinie

Messhöhe  $h = 0,75 \text{ m}$  (Arbeitsebene)

- b) Messpunkte (MP) der horizontalen Beleuchtungsstärke  $E_h$  in lx

MP1: 157	MP2: 188	MP3: 213	MP4: 224	MP5: 231	MP6: 232	MP7: 235	MP8: 165
MP9: 178	MP10: 215	MP11: 243	MP12: 256	MP13: 265	MP14: 266	MP15: 269	MP16: 308
MP17: 212	MP18: 256	MP19: 292	MP20: 308	MP21: 319	MP22: 319	MP23: 323	MP24: 280
MP25: 234	MP26: 286	MP27: 341	MP28: 359	MP29: 354	MP30: 373	MP31: 360	MP32: 211
MP33: 185	MP34: 230	MP35: 254	MP36: 244	MP37: 233	MP38: 205	MP39: 163	MP40: 140

- c) Bestimmung der mittleren Beleuchtungsstärke

$$\Sigma (MP1 + MP2 + \dots + MPn) = 10.146 \text{ lx}$$

(n = Zahl der Messwerte bzw. Messpunkte MP)

$$\bar{E}_{mittel} = \frac{\Sigma MP}{n} = 10.146 \text{ lx} / 40 = 253,65 \text{ lx}$$

$\bar{E}_{mittel} > E_{mittel}$  gemäß § Pkt. III c)? ja  nein

- d) Zulässiger unterer Grenzwert der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz
- An keinem Arbeitsplatz darf die Beleuchtungsstärke gemäß Pkt. III c) unterschritten werden.

$$E_{min} = 140 \text{ lx}$$

$E_{min} > E_{min}$  gemäß Pkt. III c)? ja  nein

- e) An ständig besetzten Arbeitsplätzen darf die minimale Beleuchtungsstärke 200 lx nicht unterschreiten. (DIN EN 12464)

$$E_{min} = 140 \text{ lx}$$

$E_{min} > 200 \text{ lx}$ ? ja  nein

## V. Ermitteln der Gleichmäßigkeit $g1$ der Beleuchtungsstärke

- a) Zulässiger Minimalwert im Umgebungsbereich (DIN EN 12464)
- Im Umgebungsbereich darf die Beleuchtung gemäß Punkt III d) nicht unterschreiten.

$$E_{min} = \dots \text{ lx}$$

$E_{min} > E_{min}$  gemäß Punkt III d)? ja  nein

- b)  $E_{min}$  = Beleuchtungsstärke am MP mit dem geringsten Lux-Wert (DIN 5035)

$$g1 = \frac{E_{min}}{E_{mittel}} \quad g1 = 140 \text{ lx} / 253,65 \text{ lx} = 0,55 \geq \frac{1}{1,5} \geq 0,667$$

ja  nein

## VI. Bewertung der Reflexionsgrade $\sigma$ der Umschließungsflächen (ankreuzen)

- Decke (günstig: weiß mit  $\sigma \approx 0,7$ ) i. O.: zu dunkel:
- Wände (günstig:  $0,5 \leq \sigma < 0,7$ ) i. O.: zu hell: zu dunkel:
- Fußboden (günstig:  $\sigma = 0,2$ ) i. O.:  zu hell:
- Arbeitsische, -fläche (günstig:  $\sigma = 0,2 \dots 0,5$ ) i. O.:  zu hell:

## VII. Allgemeine Beurteilungsmerkmale

- (zutreffendes ankreuzen; jedes Kreuz ist eine Negativaussage)
- Korrekte Lichteinfallrichtung an den Arbeitsplätzen (z.B. von links) nein:
  - Lichtreflexe auf Bildschirmen ja:
  - Lichtreflexe auf Arbeitsflächen ja:
  - Direktblendung durch Leuchten an der Arbeitsplätzen möglich ja:
  - Direktblendung durch Fensterflächen möglich (keine Vorhänge o.Ä.) ja:
  - Harte Schattenbildung möglich ja:
  - Nutzer bemängeln die Qualität der Beleuchtung ja:
- (Zum letzten Punkt ist ggf. eine zusätzliche Beschreibung erforderlich)

(Fortsetzung des Protokolls auf S. 92)

Bild 5: Protokoll zur Beurteilung einer Innenraum-Beleuchtungsanlage (Teil 1, Fortsetzung des Protokolls auf S. 92)

## VIII. Zusammenfassung der Prüfung und der vorgefundenen Mängel

Die ermittelten Beleuchtungsstärkewerte weichen deutlich von den geforderten Werten ab. Sie sind für die geforderte Schaufgabe eindeutig zu gering. Dies drückt sich in Gesundheitsproblemen der Mitarbeiter aus.

Des Weiteren sind die Leuchten nicht für den Einsatz an Bildschirmarbeitsplätzen zulässig, da die Blendungsbegrenzung nicht ausreicht, es sind Reflexblendungen auf einigen Bildschirmen sichtbar.

Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsanlage entspricht nicht den geforderten Werten. Da die Anlage nach meiner Einschätzung außerdem recht unwirtschaftlich ist, rate ich dringend zu einer neuen Beleuchtungsanlage. Außerdem sollten die Wände mit hellen freundlichen Farbtönen neu gestrichen werden.

Mit seiner Unterschrift bestätigt der Auftraggeber/Betreiber, dass er über den Zustand der vorstehend beschriebenen Beleuchtungsanlage und eventuell vorhandene Mängel unterrichtet wurde, sowie darüber, dass die Beleuchtungsanlage erst nach Beseitigung der Mängel den dafür geltenden Vorschriften und Bestimmungen entspricht.

Verantwortlicher Prüfer:  
Elektrohausen 7.7.2004 Ole Harms  
Ort, Datum, Unterschrift

Auftraggeber:  
Elektrohausen 8.7.2004 Martin Müller  
Ort, Datum, Unterschrift

## Fortsetzung des Bildes 5 von S. 91

- Die Wartungswerte haben sich verändert, so war nach der alten Norm die erste Wartung erforderlich, wenn der Wartungswert 80 % der Nennbeleuchtungsstärke erreicht hatte (Bild 2). Nach DIN EN 12464 ist eine Wartung schon bei Erreichen der 100 % erforderlich, d.h., der Wartungswert  $\bar{E}_m$  am Arbeitsplatz darf auf keinen Fall unterschritten werden. Die Wartungswerte (früher Nennbeleuchtungsstärke) sind teilweise erhöht worden, und der Planer muss den Wartungsfaktor sowie die Wartungsintervalle in Abhängigkeit der Anlagennutzung festlegen.
- Die Gleichmäßigkeit in einem Raum wird unterschiedlich bewertet, früher hat man die Gleichmäßigkeit für den ganzen Raum aus vielen Messrasterwerten errechnet. Die Gleichmäßigkeit bezog sich dann meistens auf den ganzen Raum. Nach der neuen Norm genügt es, wenn der unmittelbare Umgebungsbereich um die Schaufgabe herum mindestens eine Beleuchtungsstärke erreicht, die um eine Stufe niedriger ist. Des Weiteren verwendet man heute als Beleuchtungskonzept oftmals die arbeitsbereichsbezogene- oder teilflächenbezogene Beleuchtung.
- Nach der alten Norm DIN 5035 wird die Beleuchtungsstärke in Arbeitsbereichen meistens 0,85 m über dem Fußboden gemessen. Nach der neuen Norm misst man bevorzugt auf Höhe der Nutzebene. Ist diese Höhe nicht bekannt, gilt das alte Maß.
- Ermittelte man die Blendung früher mit Hilfe des Leuchtdichte-Grenzkurvenverfahrens, wendet man heute nach der neuen Norm und zur Beurteilung der psychologischen Blendung das vereinheitlichte UGR-Verfahren an, dem eine Blendformel zugrunde liegt.

## Die Messungen beginnen

Eine Woche später. Ole hat mit *Walter Wach* für heute einen Termin zur Durchführung der Messung um 19.00 Uhr vereinbart. Bevor er sich auf den Weg macht, prüft er nochmal die Funktion des Beleuchtungsstärkemessgeräts und steckt auch den Messaufsatz zur Bestimmung der Leuchtdichte ein (Bild 3).

Do., 19.00 Uhr. Elektrotechnikermeister *Ole Harms* ist nun vor Ort. Als Erstes schaltet er die gesamte Beleuchtungsanlage ein, da Leuchtstofflampen eine gewisse Zeit benötigen, um die Betriebstemperatur zu erreichen (die Lichtausbeute ist temperaturabhängig). In unserem Fall handelt es sich um Anbauleuchten, hier sollte man mindestens 15 min vor der Messung einschalten.

Da es sich um eine raumbezogene Beleuchtung handelt, sollten im Raum eigentlich an allen Stellen gleiche Sehbedingungen herrschen. Dieses Beleuchtungskonzept strebt man an, wenn die Anordnung der Arbeitsplätze flexibel sein soll.

## Messung der Beleuchtungsstärke

Um die Höhe der tatsächlichen horizontalen Beleuchtungsstärken festzustellen, legt *Ole* ein Messraster fest, da in diesem Raum die Einrichtungsgegenstände relativ niedrig sind. Ist dies nicht möglich, z. B. bei Räumen mit hohen Aufbauten oder mit arbeitsplatzorientierter Allgemeinbeleuchtung, bestimmt man die mittlere Horizontalbeleuchtungsstärke  $\bar{E}_m$  in Zonen mit gleichen Anforderungen an die Sehleistung.

Nach der neuen Norm DIN EN 12464 erfolgt noch eine weitere Einteilung in den Arbeits- und Umgebungsbereich (Mehr dazu folgt in den nächsten Teilen dieses Beitrags).

Das Messraster kann man in Abständen von 1 m bis 2 m festlegen. Innerhalb einer Arbeitszone (Schreibtisch) empfiehlt es sich, das Messraster zu verfeinern (z. B. 20 cm). Das Rastermaß der Messpunkte sollte übrigens nicht mit dem Rastermaß der Leuchtenanordnung übereinstimmen. *Ole* teilt den Raum in 40 Messpunkte ein (Bild 4) und misst auf Schreibtischhöhe, in unserem Fall sind das 0,75 m.

Da die Beleuchtungsanlage vor März 2003 erstellt wurde, erfolgt die Beurteilung nach DIN 5035 bzw. gemäß Arbeitsstättenrichtlinie 7/3.

Wegen der fortgeschrittenen Stunde erübrigt sich für den Elektromeister die Differenzmessung des Fremdlichtanteils. Am Tag ist dies unbedingt notwendig, um den Tageslichtanteil aus den Messergebnissen herauszurechnen.

*Ole Harms* führt nun die Messung mit einem Beleuchtungsstärkemessgerät der Klasse B durch, d.h., bei diesem Messgerät mit dem Auge angepasster Empfindlichkeitskurve beträgt der maximale Fehler  $\pm 10\%$ .

Bevor *Ole* mit der rechnerischen Auswertung beginnt, schaut er noch einmal seine Liste mit dem weiteren Vorgehen durch:

- Vertikale Beleuchtungsstärke messen (z. B. an Regalen). Der Wert sollte mindestens 30 % des geforderten horizontalen Wertes betragen.
  - Beurteilung der Helligkeitsverteilung durch Sichtkontrolle oder Messung (Leuchtdichteverhältnis 3:1).
  - Beurteilung der Blendung von Leuchten, die sich im Sichtfeld des Arbeitsplatzes befinden. Hierzu kann *Ole* auch den Messaufsatz für sein Beleuchtungsstärkemessgerät verwenden.
  - Beurteilung der Reflexionsflächen und Reflexionsgrade
  - Überprüfung der Anordnung der Leuchten bzgl. der derzeitigen Nutzung. Leuchten in Blickrichtung montiert?
  - Mechanische oder elektrische Beschädigungen der Leuchten?
  - Überprüfung der Schutzarten und Kennzeichnungen
  - Verschmutzung der Lampen und Leuchten
  - Messung der Netzspannung (wenn Abweichungen: Korrekturfaktor einrechnen; nach DIN 5035-6)
  - Einhaltung von Verordnungen und Richtlinien (z. B. Bildschirmarbeitsplatzverordnung)
  - Befragung der Nutzer bzgl. der Beleuchtungsqualität
  - Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der Beleuchtungsanlage
- Nach Abschluss aller Betrachtungen füllt *Ole* seine Prüfliste aus (Bild 5). (Fortsetzung folgt)

# Speicherprogrammierbare Steuerungen (1)

## Aufbau der Hardware

Josef von Stackelberg

**Die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) stellt in der Produktions- und Prozessautomatisierung den größten Anteil prozessorgestützter Steuerungs- und Regelsysteme. Der Grund hierfür liegt u. a. daran, dass SPSen nach einem Bausteinsystem eine große Bandbreite an Anforderungen abdecken können. Die international genormte Programmierung – nach IEC 61131-3 – vereinfacht zudem das Verständnis der Anwendungsprogramme, unabhängig vom Steuerungshersteller.**

Neben diversen Hardwarelösungen und verdrahtungsprogrammierten Steuerungen auf der einen Seite und den ausschließlich auf Software basierenden Systemen (»Soft-SPS«) auf der anderen Seite deckt die speicherprogrammierbare Steuerung in der Industrie im Bereich der Produktions- und Prozessautomatisierung die meisten Aufgabenbereiche ab. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich grundsätzlich allgemein auf speicherprogrammierbare Steuerungen. Am Beispiel der Steuerungsfamilien von Mitsubishi Electric, Ratingen, insbesondere der »Melsec System Q« werden anhand konkreter Zahlen und Graphiken die jeweiligen Erklärungen veranschaulicht.

### Grundsätzliche Funktion einer SPS

Speicherprogrammierbare Steuerungen bestehen neben dem Baugruppenträger im Wesentlichen aus einem Netzteil, einem Prozessor mit Schnittstellen und Programmspeicher, diversen binären und/oder analogen Ein- und Ausgängen und Sonderbaugruppen (Bild 1). Kleine Steuerungen fassen diese Einzelkomponenten in einem Gehäuse zusammen, verfügen eventuell sogar noch über eine Anzeigeneinheit und Bedientasten. Bei den größeren Vertretern kann man die Gesamtsteuerung aus einzelnen Modulen zusammenbauen.

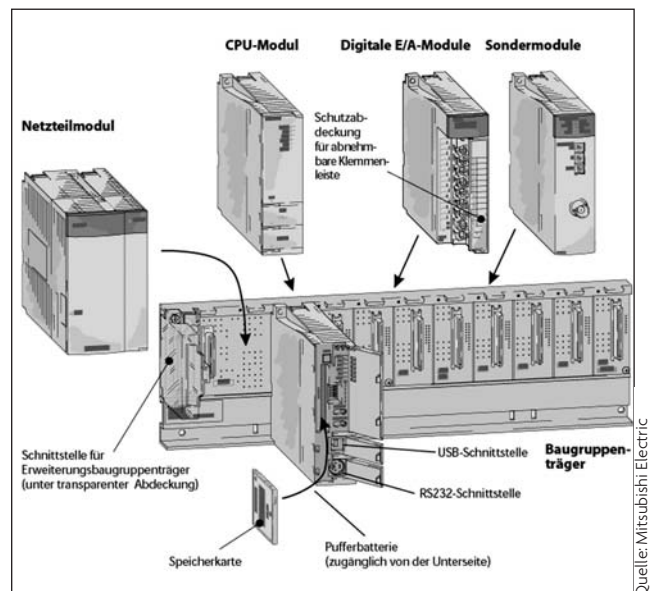
Eine SPS funktioniert dergestalt, dass als unterste Betriebssystemebene ein Systemprogramm läuft, welches die Steuerung organisiert. Dazu gehört

- die Einstellung der verschiedenen Betriebszustände »Run«, »Stop« und »Reset« ebenso wie
- die Verwaltung der Variablen des Anwenderprogramms, z. B. ob diese bei einem Reset oder beim Abschalten der Steuerung ihren Wert verlieren sollen oder nicht. Remanente Merker behalten ihren Wert.
- Weiterhin überwacht sich die Steuerung hinsichtlich des fehlerfreien Anwenderprogrammlaufes und setzt im Fehlerfall entsprechende Fehlermeldungen ab.
- Außerdem liest das Systemprogramm zyklisch die Zustände aller Eingänge ein, es erstellt ein so genanntes Prozessabbild. Dann startet es das Anwendungsprogramm, um die einzelnen Eingangszustände gemäß der Verknüpfungsvorschriften zu

Josef von Stackelberg, Redaktion »de«, nach Unterlagen von Mitsubishi Electric, Ratingen

bearbeiten und ein Ergebnisabbild des Programmes zu erstellen. Nach Bearbeitung des Anwendungsprogrammes legt es das Ergebnisabbild auf alle Ausgänge. Die Bearbeitung des Programmes erfolgt streng chronologisch nach der Programmliste, d. h., bereits eine kleine Änderung der Befehlsfolge kann ein anderes Ergebnisabbild zur Folge haben (siehe auch »Projektierung und Programmierung« in einer der nächsten Ausgaben).

- Schließlich ordnet das Systemprogramm den Eingängen und Ausgängen entsprechende Variablennamen zu. Die Zuordnung hängt meistens von der räumlichen Position des entsprechenden Ein- bzw. Ausgangsmodules am Baugruppenträger ab (Bild 2).



**Bild 1: Modulare speicherprogrammierbare Steuerungen bestehen im Wesentlichen aus einem Baugruppenträger, einem Netzteil, mindestens einer Proessoreinheit sowie diversen Eingangs-, Ausgangs- und Sonderbaugruppen; der Baugruppenträger stellt die Energieversorgung zu sowie die Datenübertragung zwischen den Modulen her**

### Auswahlmöglichkeiten bei den Modulen

Einer der Vorzüge einer speicherprogrammierbaren Steuerung liegt darin, dass sich ihre Größe und sonstigen Eigenschaften, z. B. Rechengeschwindigkeit, an die jeweilige Anwendung recht genau anpassen lassen. Weiterhin kann man bei einer späteren Veränderung der Anwendung, z. B. Vergrößerung der Maschine oder Beschleunigung des Prozesses, in weiten Grenzen die Steuerung nachführen, vorausgesetzt, man hat bei der Grundkonfiguration diese erweiterten Grenzen vorgesehen.

### Der Baugruppenträger

Der Baugruppenträger bildet die Basis einer Steuerung. Seine Aufgaben umfassen:

- Mechanischer Träger für die Funktionsbaugruppen; die meisten Systeme sind als flache Träger ausgeführt, einige wenige

SPS-Hersteller bieten Steckkartenträger mit einem Gehäuse. Grundsätzlich sind die Steckplätze für die Funktionsmodule identisch aufgebaut; eine Ausnahme stellen die Plätze für die Netzteile und die CPU dar; um später bei Instandhaltungsmaßnahmen die Steckplätze z.B. für die Eingangsmodule nur mit entsprechenden Baugruppen ausstatten zu können, hat jeder Steckplatz einen mechanischen Codierschlüssel, mit dem sich der Modultyp einstellen lässt; für unbenutzte Steckplätze gibt es Abdeckungen, um die Steckverbinder vor Verschmutzung und Beschädigung zu schützen.

- Versorgung der einzelnen Funktionsmodule mit elektrischer Energie; die elektrische Energie erhält der Baugruppenträger von einem – steckbaren – Netzteil
- Herstellen der Datenverbindung zwischen den Funktionsmodulen
- Steckeranschluss für die Datenverbindung zu weiteren Baugruppenträgern; diese Datenverbindung ersetzt nicht das Datennetz für ein dezentrales System und kann daher meistens keine sehr großen Distanzen überwinden. Bei der Melsec System Q von Mitsubishi Electric beträgt die Gesamtausdehnung über die Baugruppenträgerverbindung 13,2 m. Für den Aufbau dezentraler Systeme gibt es Sonderbaugruppen, welche verschiedene Datenübertragungsprotokolle unterstützen. Baugruppenträger gibt es in verschiedenen Standardgrößen.

#### Das Netzteil

Das Netzteil versorgt die Funktionsmodule mit der notwendigen elektrischen Energie. An dieser Stelle gibt es bei den verschiedenen Steuerungssystemen Unterschiede insofern, ob die Sensor- und Aktorversorgung über das Netzteil der Steuerung erfolgt oder nicht. In den meisten Fällen muss man hierfür jedoch eine eigene Stromversorgung vorsehen.

Die Dimensionierung des Netzteiles hängt also nur von der Menge der Funktionsbaugruppen ab.

#### Die Prozessoreinheiten

Der Auswahl der richtigen CPU sollte man etwas mehr Aufmerksamkeit schenken. Dabei gilt es, folgende Fragen zu klären:

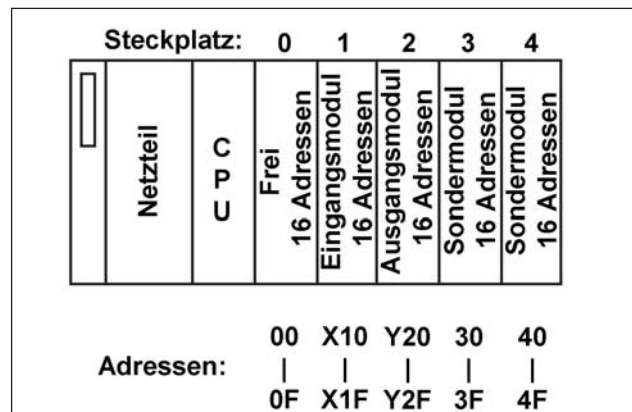
- Welche gesamte Zykluszeit – über einen kompletten Programmdurchlauf – erfordert die Anwendung? Gilt es, einen

### ECHTZEIT

Gemäß DIN 44300 läuft ein Rechensystem in Echtzeit, wenn seine »... Programme zur Verarbeitung anfallender Daten ständig betriebsbereit sind, derart, dass die Verarbeitungsergebnisse innerhalb der vorgesehenen Zeitspanne verfügbar sind. Die Daten können je nach Anwendungsfall nach einer zeitlich zufälligen Verteilung oder zu vorbestimmten Zeitpunkten anfallen.« Ein Beispiel soll diese Definition veranschaulichen.

Ein Wagen mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s soll abgestoppt werden. Der Wagen soll in seiner Endposition auf  $\pm 0,1$  m genau die Endposition einnehmen. Die Verzögerungstechnik (Bremsmotor) soll eine Positioniergenauigkeit von  $\pm 0,05$  m zulassen. Um den Bremsweg und die Ansprechverzögerung der Bremse zu kompensieren, kann man den Sensor, der die Bremsung einleitet, entsprechend positionieren.

Die Steuerung hat also eine – als Wegstrecke ausgedrückte – Reaktionstoleranz von  $\pm 0,05$  m, das entspricht bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 1 m/s einer Zeit von 50 ms. Innerhalb dieser Zeit muss die Steuerung, wenn der Sensor das Stopp-Signal gegeben hat, diese Information an die Bremse weitergeben. Die Gesamtzykluszeit des Programmes dieser Steuerung muss also  $< 50$  ms bleiben.



**Bild 2: Adressierung der Module z.B. bei der »Melsec System Q«; automatisch ordnet das System fortlaufend jeder Baugruppe 16 Adressen (hexadezimal 0...F) zu, manuell kann man aber auch andere Konfigurationen vornehmen, wenn man z.B. ein Eingangsmodul mit 32 Adressen verwenden möchte**

relativ langsamen, stetig ablaufenden Prozess zu kontrollieren oder eine dynamische Bewegungssteuerung (Motion Control) zu realisieren, bei der bestimmte Bewegungsänderungsstrecken bzw. -zeiten einzuhalten sind (Kasten »Echtzeit«)?

- Wie viele logische Operationen innerhalb der gesamten Zykluszeit muss die CPU bewältigen? Eine Programmfunktion kann dabei aus mehreren logischen Operationen bestehen.
- Kann man die Funktionen auf mehrere CPUs verteilen, welche unter Umständen sogar die geforderten Spezialfunktionen, z.B. Bewegungssteuerung, übernehmen können? Auf die Weise kann man z.B. auch die Programmzykluszeiten verkürzen bzw. bei sehr unterschiedlichen Anforderungen Teilaufgaben derart verteilen, dass keine der CPUs »über-« oder »unterfordert« ist.

Die CPUs gibt es in verschiedenen Fähigkeitsabstufungen. Bei der Melsec System Q bewegen sich z.B. die Zykluszeiten im Bereich 34...200 ns/logischer Anweisung und die Speicherumfänge im Bereich 8...252 K Schritte. 1 K Schritte entspricht 1024 Anweisungen. Die internen RAM (Schreib-Lese-Speicher) lassen sich bei Bedarf um externe Speichermodule erweitern:

- SRAM: Statischer RAM, schneller Halbleiterspeicher, 1 MByte oder 2 MByte
- Flash: auf Halbleitern basierender Speicher, welcher seine Information auch ohne Betriebsspannung behält, 2 MByte oder 4 MByte
- ATA: Auf dem ATA-Standard basierende Speicherkarten; Der ATA-Standard beschreibt ein Protokoll zum Datenaustausch bei Speichermedien; 8 MByte bis 32 MByte.

Für Anwendungen mit integrierter Visualisierung oder sonstigen datenintensiven Funktionen gibt es für die System Q eine PC-CPU mit der Ausstattung und den Eigenschaften eines Industrie-PC, z.B. 64 MByte bzw. 128 MByte Arbeitsspeicher, Festplatte, Monitor- und Tastaturanschluss usw.

Verschiedene Typen von Motion-CPU's übernehmen Bewegungssteuerungen.

Die PC-CPU der Melsec System Q stellt – gemäß ihrem Namen – einen PC dar und verfügt daher über das Betriebssystem mit Schnittstellenverwaltung »Windows« in den Versionen »NT 4.0«, »NTe« oder »2000 Professional«.

(Fortsetzung folgt)

# Geräuscharme Lüfter sind kein Zufallsprodukt

Andreas Zeiff

Die von Maschinen abgestrahlten Geräusche werden oft als lästig empfunden. Dies gilt besonders in Bereichen, die eigentlich ein ruhiges Umfeld erfordern. Aus diesem Grund legt man z.B. bei Computern, Büro-, Labor- und medizinischen Geräten Wert auf einen möglichst leisen Betrieb. Hauptschallquelle stellen hier die mechanischen Komponenten wie Antriebe und Kühlung dar. Gerade bei der Förderung des Luftstroms durch Kleinlüfter lässt sich durch geschickte konstruktive Auslegung das Betriebsgeräusch solcher Geräte signifikant absenken.

Was ist eigentlich ein Geräusch? Es sind minimale Druckschwankungen, die durch die Luft zum Ohr übertragen werden. Für den menschlichen Hörbereich spielen praktisch nur Druckwellen in der Luft im Bereich von 16 Hz bis 16 kHz eine Rolle. Dargestellt wird der Schall als Schalldruckpegel in dB(A). Dabei berücksichtigt man das frequenzabhängige Hörverhalten des menschlichen Ohrs, die so genannte A-Bewertung.

## Schallmessverfahren

Technisch durchgesetzt haben sich zwei Messverfahren. Zum einen die Messung des *Schalldruckpegels* – eine abstands- und richtungsabhängige Messgröße, sie eignet sich daher nur bedingt als Beurteilungsgröße, lässt sich aber einfach und ohne großen Aufwand messen. Die andere Bewertungsgröße ist der so genannte *Schalleistungspegel*. Hier erfasst man die gesamte Schallabstrahlung der Quelle mit mehreren Mikrofonen auf einer so genannten Hüllfläche (Bild 1). Dieses apparativ aufwändigere Verfahren liefert genauere Werte, festgelegt in der DIN 45635 T.38 und der ISO 10302. So wird z.B. der Lüfter mit Nenndrehzahl im Betriebspunkt des optimalen Wirkungsgrades vermessen. Die erforderlichen umfangreichen Messein-

Dipl.-Chem. Andreas Zeiff, Redaktionsbüro Stutensee, nach Unterlagen der Firma Papst-Motoren und dem Buch »Papst-Lüfter« von Dr. Siegfried Harmsen

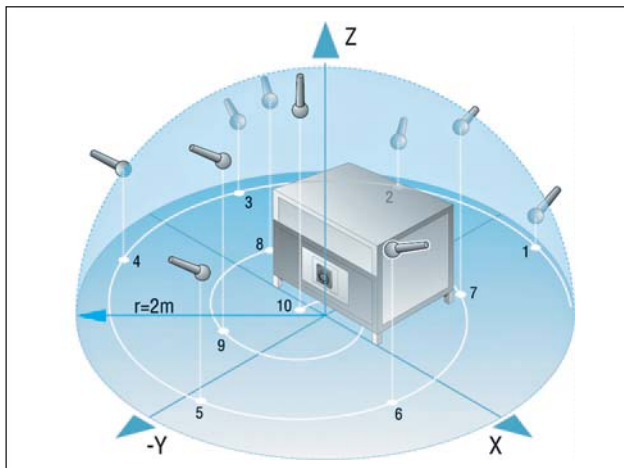


Bild 1: Aufbauschema für die Messung des Schalleistungspegels



Quelle: Papst

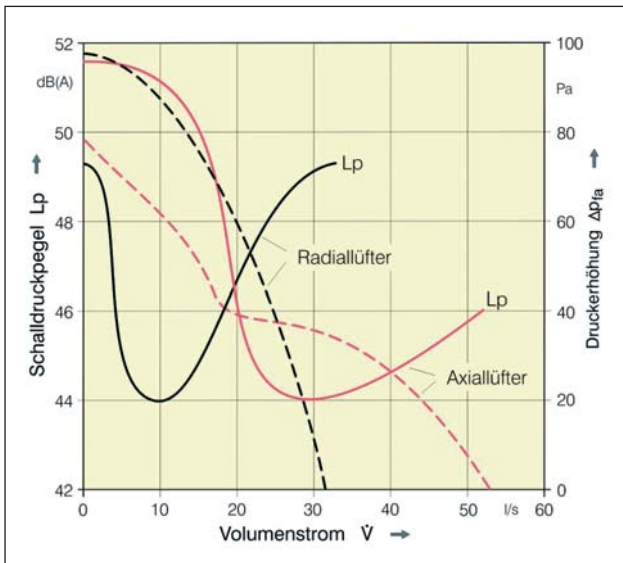
Bild 2: Der Messraum mit schallschluckenden Wänden

richtungen stehen aber nicht überall zur Verfügung. Ebm-Papst, Hersteller von Lüftern, hat aus diesem Grund einen Schallmessraum mit reflektierendem Boden und Schallschluckenden Decken- und Wandverkleidungen eingerichtet (Bild 2). Seine Größe von 5,5 m x 5,1 m x 3,1 m (L x B x H) erlaubt so neben Lüftern auch die exakte Vermessung von kompletten Geräten. Der Ruhepegel im Messraum beträgt lediglich 6 dB (A) und ermöglicht daher auch die Messung extrem leiser Geräte. Messmikrofone, Verstärker und spezielle Akustikanalysatoren unterstützen die hohe Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Messwerte.

Die akustische Kennlinie eines Lüfters – und damit die Schallabstrahlung – ändert sich mit den Betriebsbedingungen. Um Aussagen über den gesamten Betriebsbereich zu erhalten, muss ein Lüfter im Schallmessraum in eine Druckkammer blasen. Eine variable Öffnung an dieser Kammer gestattet dann, den gesamten Druck/Förderbereich des Lüfters durchzumessen – so gelangt man zu aussagekräftigen Kennlinien der akustischen Werte (Bild 3). Dabei gilt allgemein: *Die niedrigsten Geräuschwerte liegen für Radiallüfter bei relativ kleinen, bei Axiallüftern dagegen bei großen Volumenströmen.*

## Innere Werte

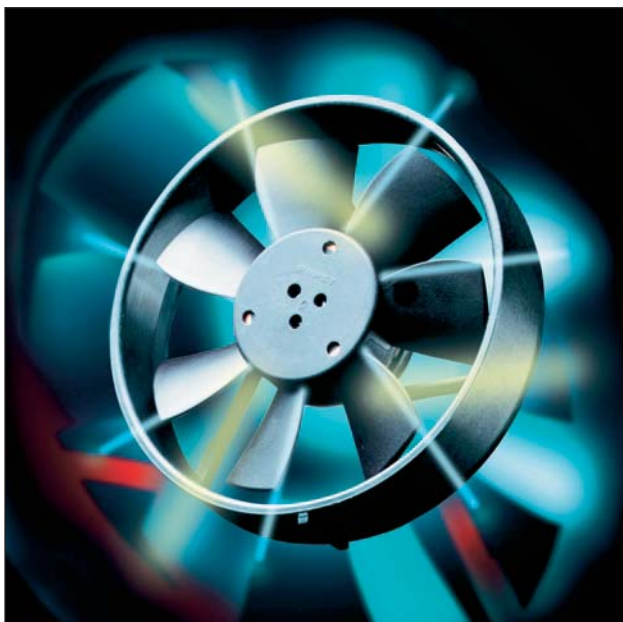
Sehr unangenehme Geräusche erzeugt ein Lüfter bei einer gestörten Anströmung, d.h., an- bzw. umströmte Hindernisse beeinflussen den Luftstrom zum Lüfter negativ. Auch Wirbelbildung erzeugt Luftschwingungen, wahrgenommen als Schall. Gerade Axiallüfter reagieren empfindlich auf eine starke Drosselung des Förderstroms. In diesem Betriebsbereich löst sich die Flügelumströmung nahe der Radnabe von den Ventilator-schaufeln ab und verwirbelt. Der Geräuschpegel des Lüfters steigt enorm an. Die Energie dieser Wirbel kann bei größeren Lüftern neben extremem Lärm sogar zum Bruch der Flügel selbst führen. Deshalb muss ein solcher Betrieb dort zuverlässig vermieden werden. Bei Kleinlüftern dagegen ist nur der hohe Lärmpegel nachteilig.



Quelle: Papst

**Bild 3: Auf einen Blick: Akustische Kennlinien zeigen Betriebsgeräuschverhalten auf**

Verwirbelungen können auch an anderer Stelle auftreten. Die Lüfterachse mit Motor und Lüfterrad muss in einem Gehäuse befestigt sein. Herkömmlich werden dazu Streben eingesetzt. Diese Streben wiederum stellen einen wirbelbildenden Strömungswiderstand dar. Die rotierenden Flügel erzeugen beim Überstreichen von geraden Streben starke Druckstöße. Außerdem können bei symmetrischer Verteilung der Streben auch Geräusche wie bei einer Lochsirene auftreten. Vermindert lässt sich dieser Effekt durch den Einsatz gebogener und asymmetrisch über den Umfang des Lüfters verteilter Streben (Bild 4). So erzielt man zum einen einen gleitenden Übergang zwischen Flügelkante und Strebe, und unterdrückt zum anderen durch die asymmetrische Anordnung eine unerwünschte Schallabstrahlung bei bestimmten Frequenzen. Gerade das menschliche Gehör reagiert empfindlich auf herausragende Frequenzbereiche innerhalb eines »Grundlärmpiegels«. Interferenzen zwischen umlaufenden Teilen (Rotor) und stationären



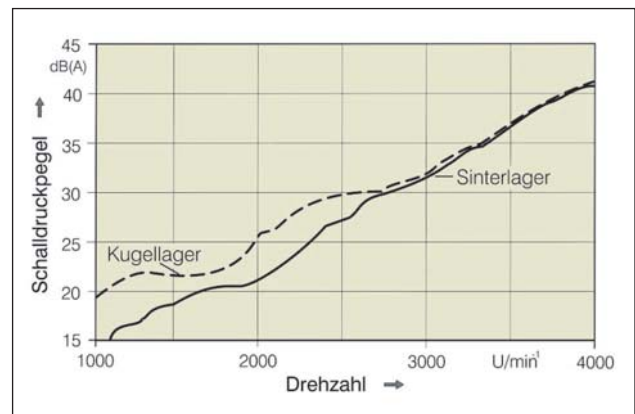
Quelle: Papst

**Bild 4: Lüfterbild mit Blick auf die Aufhängungsstreben des Motors**

Einbauten (Schutzgitter) rufen oft solche dominierenden Einzeltöne hervor.

**Auch Feintuning gefragt**

Neben den oben angeführten Hauptverursachern von Schall beim Lüfterbetrieb darf man aber auch die weniger intensiven Quellen nicht vergessen. Körperschall beispielsweise ist die mechanische Vibration oder Schwingung im festen Material. Im Lüfter entstehen solche Vibrationen unter anderem durch Ungenauigkeiten in der mechanischen Lagerung (Bild 5) sowie über die oben beschriebene Anregung der Lüfterschaufeln über Luftwirbel. Auch Ungleichmäßigkeiten der elektromagnetischen Momente und Kräfte des Antriebsmotors regen Körperschall an. Ähnliches kennt jeder als Trafobrummen bei billigen Netzgeräten. Weitere Faktoren können eine ungenügende Auswuchtung der rotierenden Teile oder auch lüfterfremde Faktoren wie ungeeignete Befestigung des Lüfters am Gerät sein.



Quelle: Papst

**Bild 5: Lagerlaufgeräusch und Gesamt-Schallpegeldruck**

Der Körperschall im Lüfter lässt sich durch geeignete Maßnahmen deutlich reduzieren. Eine weitere Reduktion bringt die mechanische Entkoppelung des Lüfters von der Befestigungswand des zu kühlenden Gerätes. Eine schwingungsdämpfende (Gummi-) Unterlage reduziert eine mögliche Schallübertragung deutlich. Im und am Gerät selbst unterschätzt man oft den Schalleffekt. Abdeckgitter in Form einfacher gelochter Bleche wirken oft wie eine Lochsirene, die ja bekanntlich eine enorme Lautstärke erreicht. Verwendet man dann auch noch zu dünne und nicht biegesteif geformte Bleche, geben diese den Körperschall wie von einer Lautsprechermembran an die Luft ab.

**Fazit**

Die Konstruktion von laufruhigen Lüftern erfordert neben interdisziplinärem Know-how vor allem auch die richtige Laborausstattung, um die erreichten Ergebnisse auch wissenschaftlich exakt erfassen zu können. Nur so ist eine Verbesserung des Produktes überhaupt möglich. Für den Einsatz beim Anwender selbst kommen zu den Lüftereigenschaften noch die Einflüsse des Endgeräts dazu. Eine geeignete Auslegung der Durchströmung mit strömungsgünstigen Gittern und Luftführungen unterstützt einen guten Lüfter wesentlich. So lässt sich dem Ziel eines wirklich flüsterleisen Lüfterbetriebs relativ nahe kommen.