

# Die grünen Seiten für die Aus- und Weiterbildung

# Gig

Inhalt 13-14/2004

## Bereiche für Schaufgaben planen

Enno Folkerts

Die im März 2003 in Kraft getretene DIN EN 12464-1 (Licht und Beleuchtung; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen) ersetzt Teile der DIN 5035. Die neue Norm definiert u. a. den »Bereich der Schaufgabe«. Der Beitrag erläutert anhand eines Beispiels die planerische Erfassung derartiger Bereiche. Der Umgang mit der Wirkungsgradformel oder/und einem entsprechenden PC-Planungsprogramm (z. B. Dialux Light) wird dabei als bekannt vorausgesetzt.

Früher wurde die Nennbeleuchtungsstärke meist als mittlere Beleuchtungsstärke innerhalb eines Raumes aufgefasst und normalerweise auf 0,85 m Höhe über dem Fußboden (ü.F.) bezogen (Bild 1). An Stelle der Begriffe Nennbeleuchtungsstärke und Verminderungsfaktor treten nun mit der neuen Norm »Wartungswert der Beleuchtungsstärke  $\bar{E}_m$ « und »Wartungsfaktor  $WF$ « (siehe auch »de« 1-2/2004, S. 33ff).

### Wartungswert der Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m$

Der Wert  $\bar{E}_m$  lässt sich jetzt auf den Bereich einer Schaufgabe (so genannte Task-Area) beschränken. Dort soll die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke  $g_1 \geq 0,7$  betragen. Die Gleichmäßigkeit  $g_1$  ist das Verhältnis von minimaler Beleuchtungsstärke  $E_{min}$  zu mittlerer Beleuchtungsstärke  $\bar{E}$  (hier also:  $\bar{E}_m$ ):  $g_1 = E_{min}/\bar{E}_m$

Bei einem auf den gesamten Raumgrundriss ausgedehntem Wert  $\bar{E}_m$  wäre der Licht- und Energieaufwand sehr

Ing. Enno Folkerts, Fachjournalist, Oldenburg

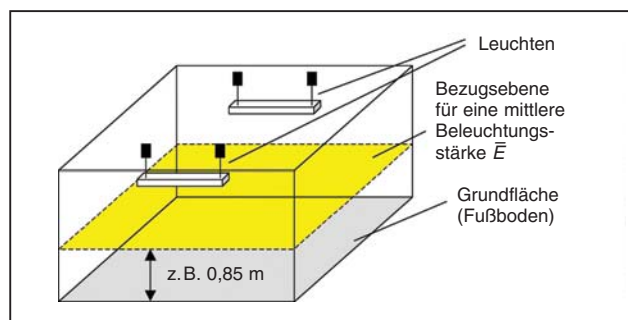


Bild 1: Mittlere Beleuchtungsstärke als Nenngröße, bezogen auf den gesamten Raumgrundriss (Standardplanung)

hoch. Eine spezielle Beleuchtungsplanung für die Schaufgaben kann wirtschaftlich sein.

*Wichtig: Der Wert  $\bar{E}_m$  darf (im Gegensatz zur Nennbeleuchtungsstärke) zeitlich nicht unterschritten werden, räumlich schon.*

Der Bereich einer Schaufgabe kann folgendermaßen angeordnet sein (Bild 2):

- in Höhe des Fußbodens (z. B. Verkehrsflächen) oder
- horizontal über der Fußbodenebene oder
- schräg zur Fußbodenebene (z. B. die Ebene eines Zeichenbrettes) oder
- vertikal zur Fußbodenebene (z. B. die Frontfläche eines zu beleuchtenden Aktenschranke).

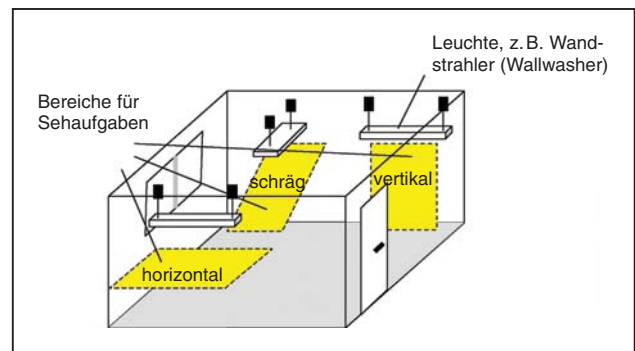


Bild 2: Verschiedene Ebenen für den Bereich der Schaufgabe

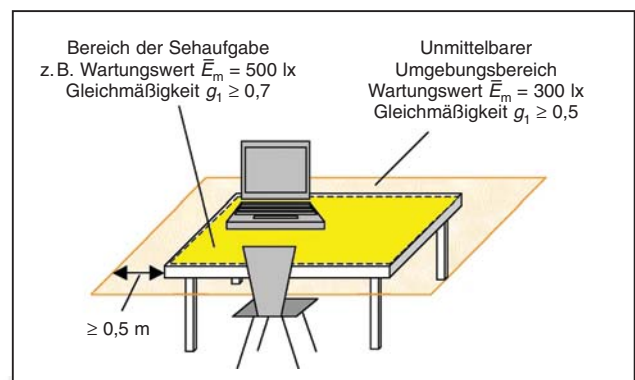


Bild 3: Bereich der Schaufgabe und unmittelbarer Umgebungsbereich

Die Skala gibt die Stufung der Wartungswerte  $\bar{E}_m$  (lx) nach DIN EN 12464-1 wieder: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 2000 – 3000 – 5000

Die Norm definiert auch einen **unmittelbaren Umgebungsbereich** zur Sehaufgabe. Als unmittelbarer Umgebungsbereich gilt eine mindestens 0,5 m breite Zone außerhalb des Bereichs der eigentlichen Sehaufgabe, die aber noch im Gesichtsfeld der arbeitenden Personen liegt (Bild 3). Hier darf der Wartungswert  $\bar{E}_m$  um eine Beleuchtungsstärkestufe niedriger liegen ( $g \leq 0,5$ ), braucht aber 500 lx nicht überschreiten.

Für die Zone außerhalb der in Bild 3 markierten Bereiche schreibt die DIN EN 12464-1 weder einen bestimmten Wartungswert noch einen Wert für die Gleichmäßigkeit vor. Im

Hinblick auf die Arbeitssicherheit müssen aber auch hier Mindeststandards erfüllt sein, z. B.  $100 \text{ lx} \leq \bar{E}_m \leq 300 \text{ lx}$ . Hierfür beachte man die berufsgenossenschaftlichen Regeln (BGR) für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Die BGR 131 (Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und Sicherheitsleitsysteme) enthält die derzeit geltende »aktualisierte Fassung« zur Beleuchtungstechnik, die allerdings von 2001 stammt und noch nicht die Anforderungen der neuen Norm berücksichtigt.

**Annahmen zum Wartungsfaktor WF**

Der Wartungsfaktor WF erfasst die Lichtstromabnahme infolge Alterung und Verschmutzung aller Komponenten einer

**Daten zur Bestimmung des Wartungsfaktor WF**

		Lampen Typ 8xx	Betriebsdauer pro Wartungsintervall				
			2000 h	4000 h	6000 h	8000 h	10000 h
Lampenfaktoren	LLiWF	L-Lampe T8	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92
		L-Lampe T5 (FH; FQ)	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92
		Kompakt-L-Lampe Dulux	0,92	0,88	0,85	0,83	0,83
	LLF	L-Lampe T8	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98
		L-Lampe T5 (FH; FQ)	0,99	0,97	0,97	0,96	0,96
		Kompakt-L-Lampe Dulux	0,99	0,98	0,98	0,94	0,50

		Leuchtaufbau	Umgebung <sup>1)</sup>	Wartungsintervall		
				1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre
Leuchten-Wartungsfaktor LWF	Lichtleiste		s	0,93	0,89	0,85
			n	0,89	0,84	0,79
			v	0,83	0,78	0,73
	mit oben offenem Reflektor		s	0,90	0,84	0,79
			n	0,86	0,80	0,74
			v	0,83	0,75	0,68
	oben geschlossener Reflektor		s	0,89	0,80	0,74
			n	0,81	0,69	0,61
			v	0,72	0,59	0,52
	geschlossen IP 2X		s	0,88	0,83	0,79
			n	0,82	0,77	0,73
			v	0,77	0,71	0,65
	indirekt strahlend		s	0,86	0,77	0,70
			n	0,81	0,66	0,55
			v	0,74	0,57	0,45

		Raumindex	Reinigungsintervall											
			Umgebung <sup>1)</sup>			1 Jahr			2 Jahre			3 Jahre		
			s	n	v	s	n	v	s	n	v	s	n	v
Raumoberflächen-Wartungsfaktor RWF	k = 0,7	Beleuchtung	1 Jahr											
			2 Jahre											
			3 Jahre											
		direkt	0,97	0,94	0,93	0,95	0,93	0,90	0,94	0,92	0,88			
			direkt/indirekt	0,90	0,86	0,82	0,87	0,82	0,78	0,84	0,79	0,74		
			indirekt	0,85	0,78	0,73	0,81	0,73	0,66	0,75	0,68	0,59		
	k = 2,5	direkt	0,98	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94			
			direkt/indirekt	0,92	0,88	0,85	0,89	0,85	0,81	0,86	0,82	0,78		
			indirekt	0,88	0,82	0,77	0,84	0,77	0,70	0,78	0,72	0,64		
	k = 5,0	direkt	0,98	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94			
			direkt/indirekt	0,94	0,88	0,85	0,89	0,85	0,81	0,86	0,82	0,78		
			indirekt	0,88	0,82	0,77	0,84	0,77	0,70	0,78	0,72	0,65		

Tabelle 1: Einzel-Wartungsfaktoren zur Bestimmung des Wartungsfaktors; Tabelle basiert auf Angaben von Osram sowie auf Daten der CIE-Schrift 97 (CIE = Internationale Beleuchtungskommission)

1) s = sauber (Reinräume u. Ä.); n = normal (Büro, Laden u. Ä.); v = verschmutzt (Stahlwerk, Holzverarbeitung u. Ä.)

### Herstellerangaben zum Beleuchtungswirkungsgrad

$\rho$ Decke	0,8		0,7		0,5			0,3	0
$\rho$ Wände	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3		0,3	0
$\rho$ Boden	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0
<b>Beleuchtungswirkungsgrad <math>\eta_B</math></b>									
<b>k = 0,60</b>	0,38	0,32	0,37	0,32	0,37	0,32	0,31	0,31	0,27
<b>k = 0,80</b>	0,47	0,40	0,45	0,40	0,45	0,40	0,39	0,39	0,35
<b>k = 1,00</b>	0,53	0,45	0,51	0,45	0,51	0,46	0,45	0,44	0,40
<b>k = 1,25</b>	0,60	0,51	0,57	0,51	0,57	0,53	0,50	0,50	0,46
<b>k = 1,50</b>	0,64	0,55	0,60	0,55	0,61	0,57	0,54	0,53	0,50
<b>k = 2,00</b>	0,70	0,59	0,65	0,59	0,65	0,62	0,58	0,57	0,54
<b>k = 3,00</b>	0,77	0,65	0,70	0,65	0,71	0,68	0,64	0,63	0,60
<b>k = 5,00</b>	0,81	0,68	0,74	0,68	0,74	0,73	0,67	0,66	0,63

**Tabelle 2: Der Beleuchtungswirkungsgrad  $\eta_B$  hängt von den Einzelreflexionsgraden  $\rho$  und dem Raumindex  $k$  ab; hier Werte einer einlampigen Spiegelrasterleuchte (direkt strahlend, oben geschlossen) für T8-Leuchtstofflampe 58 W, Ausstrahlungswinkel  $\gamma \leq 60^\circ/65^\circ$**

Beleuchtungsanlage, welche die Lichterzeugung, -lenkung und -reflexion beeinflussen. Nach DIN EN 12464-1 muss der Planer nicht nur den Wartungsfaktor  $WF$  angeben, sondern er hat auch alle für dessen Bestimmung zu Grunde gelegten Annahmen aufzuführen.

Für die Berechnung des Wartungsfaktors  $WF$  gilt unter Berücksichtigung der Einzel-Wartungsfaktoren (Tabelle 1):

$$WF = LLiWF \cdot LLF \cdot LWF \cdot RWF \quad (1)$$

**LLiWF:** Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (erfasst die Lichtstromabnahme der installierten Lampen zwischen zwei Wartungsintervallen)

**LLF:** Lampenlebensdauerfaktor (erfasst den zu erwartenden Lampenausfall)

**LWF:** Leuchten-Wartungsfaktor (erfasst die Lichtstromabnahme infolge Alterung und Verschmutzung der Leuchten)

**RWF:** Raumboflächen-Wartungsfaktor (erfasst die Lichtstromabnahme infolge Verschmutzung der Raumboflächen)

Die sich aus der Berechnung ergebenden Gesamt-Wartungsfaktoren sind i. d. R. bedeutend kleiner als die Verminderungsfaktoren nach alter Norm. In Fachkreisen diskutiert man zurzeit noch kontrovers Einzeldaten aus der Liste; möglicherweise werden einige Werte in Zukunft noch um einige Punkte nach oben hin korrigiert.

### Modifizierte Wirkungsgradformel

Die mit den Begriffen nach DIN EN 12464-1 modifizierte Wirkungsgradformel lautet:

$$\Phi_{\text{ges}} = \frac{\bar{E}_m \cdot A}{\eta_B \cdot WF} \quad (2)$$

$\Phi_{\text{ges}}$ : Summe des in Deckennähe zu installierenden Lampenlichtstroms  $\Phi_0$  (lm)

$\bar{E}_m$ : Wert der Beleuchtungsstärke (lx)

$A$ : zu beleuchtende horizontale Fläche (m<sup>2</sup>)

$\eta_B$ : Beleuchtungswirkungsgrad (Tabelle 2) nach Angaben des Leuchtenherstellers

$WF$ : Wartungsfaktor

### Hinweise zur Planungsrechnung

Bei der Planung von Eingangshallen, Fluren und Verkehrsflächen in Gebäuden wird man auch künftig den Wert  $\bar{E}_m$  als mittlere Beleuchtungsstärke über der gesamten Raumgrundfläche auffassen. Sinnvoll ist dies u. a. auch bei Räumen

- mit kleiner Grundfläche,
- hoher Arbeitsplatzdichte oder
- mit nicht eindeutig festlegbaren Arbeitsplätzen.

Dies gilt oft für Büroräume, Werkstätten sowie für Verkaufsräume, Supermärkte und Seminarräume in Schulungsstätten.

Bei der Planung von Räumen mit Arbeitsplätzen für Sehaufgaben, die unterschiedliche Wert  $\bar{E}_m$  erfordern oder bei hallenähnlichen Arbeitsstätten sollte man jedoch die Sehaufgabenbereiche planen. Bei einer Ausleuchtung mit Tisch- oder/und Standleuchten führen Versuche i. d. R. schnell zur optimalen Lösung (Aufstellen der Leuchten mit anschließendem Messen der Beleuchtungsstärke). Bei fest installierten Leuchten ist jedoch eine Planungsrechnung zweckmäßiger. Das folgende Aufgabenbeispiel behandelt und beschreibt die möglichen Arbeitsschritte.

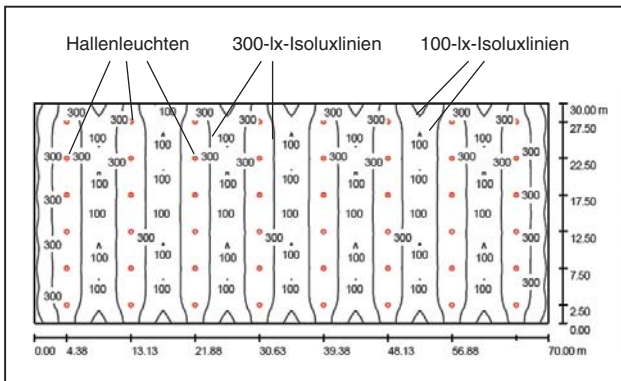
**Wichtig:** Nach der BGR 131 handelt es sich bei der Einzelplatzbeleuchtung (nur) um eine Ergänzung der Allgemeinbeleuchtung. Sie muss deshalb so installiert werden, dass sie sich erst bei eingeschalteter Allgemeinbeleuchtung in Betrieb nehmen lässt.

### Ein Beispiel zur Übung

Bild 4 zeigt den Grundriss einer Halle ( $A = 70 \text{ m} \cdot 30 \text{ m}$ ) mit der Anordnung der installierten Allgemeinbeleuchtung an der Decke – realisiert durch 48, mit Halogen-Metaldampflampen 250 W ( $\Phi_0 = 19000 \text{ lm}$ ) bestückte Hallenleuchten (Strahler). Des Weiteren erkennt man im Grundriss die auf 0,85 m ü. F. bezogenen und mit Hilfe eines PC-Planungsprogramms ermittelten 100-lx- und 300-lx-Isoluxlinien, die auf der Allgemeinbeleuchtung basieren.

**Isoluxlinien (Iso = gleich) verbinden Punkte gleicher Beleuchtungsstärke miteinander.**

Nun soll in der Halle ein zusätzlicher Bereich für eine Sehaufgabe (Arbeitsplatz) eingerichtet und mit fest installierten (arbeitsplatzorientierten) Leuchten beleuchtet werden. Dafür gelten folgende Hinweise und Daten:



**Bild 4: Hallengrundriss A = 70 m · 30 m zum Übungsbeispiel**

- Größe der Arbeitsfläche (entspricht dem Bereich der Schaufgabe):  $A_{\text{Schaufgabe}} = a \cdot b = 2,8 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m}$
- Höhe der Arbeitsfläche: 0,85 m ü.F.
- Hallenhöhe: 6,0 m
- Deckenfarbe der Halle: Dunkelgrau
- Beleuchtung der Arbeitsfläche mit einlampigen Spiegelrasterleuchten (oben geschlossen) für T8-Leuchtstofflampen 58 W/840 ( $\Phi_0 = 5200 \text{ lm}$ ); vorgesehene Pendellänge: 3,5 m (Montagehöhe ca. 2,5 m ü.F.). Die Tabelle des Leuchtenherstellers, mit der sich der Beleuchtungswirkungsgrad  $\eta_B$  bestimmen lässt, liegt vor (Tabelle 2).
- Zwischen dem Bereich der Schaufgabe und den Hallenwänden besteht ein größerer Abstand, so dass die Hallenwände das Licht der Arbeitsplatzleuchten nicht wesentlich reflektieren.
- Der Wartungsfaktor  $WF$  lässt sich im Wesentlichen mit Hilfe von Tabelle 1 bestimmen. Es gelten folgende Annahmen: Normale Verschmutzung während des Betriebs; Wartungs- und Reinigungsintervall der Beleuchtungsanlage: 3 Jahre; Lampenbetriebsdauer pro Intervall: 10000 h
- Es wird verlangt, dass der Wartungswert im Bereich der Schaufgabe  $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$  beträgt.

Nun stellt sich also die Aufgabe, die für den Arbeitsplatz erforderliche Leuchten- und Lampenzahl mit Hilfe der Wirkungsgradformel oder eines geeigneten PC-Programms zu bestimmen.

Zur Bestimmung des Beleuchtungswirkungsgrades  $\eta_B$  sind der Raumindex  $k$  zu berechnen und die Reflexionsgrade  $\rho$  festzulegen:

Abstand Leuchten-Montagehöhe/Arbeitsebene:  $h = 2,5 \text{ m} - 0,85 \text{ m} = 1,65 \text{ m}$

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{2,8 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m}}{1,65 \cdot (2,8 \text{ m} + 1,8 \text{ m})} = 0,664$$

Gewählt wird gemäß Tabelle 2  $k = 0,6$ .

Überlegungen zur Festlegung der Reflexionsgrade:

- Aufgrund des größeren Abstandes zwischen dem Bereich der Schaufgabe und den Hallenwänden kann man vereinfachend ansetzen:  $\rho_{\text{Wände}} = 0$ .
- Wegen der dunkelgrauen und relativ hohen Decke (6 m ü.F.) lässt sich der Reflexionsgrad auch hier zu  $\rho_{\text{Decke}} = 0$  annehmen.
- Wenn die Decke und die Wände nicht reflektieren, sind auch von Fußboden und Arbeitsebene keine wesentlichen Reflexionen zu erwarten. Deshalb auch hier die Annahme  $\rho_{\text{Boden}} = 0$ . Auf der Basis des Raumindex  $k$  und der Reflexionsgrade  $\rho$  kann man Tabelle 2 den Beleuchtungswirkungsgrad entnehmen:  $\eta_B = 0,27$ .

Weil alle Reflexionsgrade  $\rho = 0$  betragen, wird die alterungsabhängige Lichtstromabnahme bei den Raumschließungsflächen keinen Einfluss auf den Bereich der Schaufgabe haben. Deshalb ergibt sich für den Raumschließungsflächen-Wartungsfaktor  $RWF = 1$ . Die Teil-Wartungsfaktoren  $LLiWF$  und  $LLF$  lassen sich Tabelle 1 entnehmen, weil die Angaben zur Lampe (T8, Betriebsdauer pro Wartungsintervall 10000 h) bekannt sind:

$$LLiWF = 0,92$$

$$LLW = 0,98$$

Den Leuchten-Wartungsfaktor  $LWF$  kann man ebenfalls aus Tabelle 1 ablesen; schließlich sind der Leuchtaufbau (oben geschlossener Reflektor), die Umgebung (normal verschmutzt) und das Wartungsintervall (3 a) bekannt. Es ergibt sich:

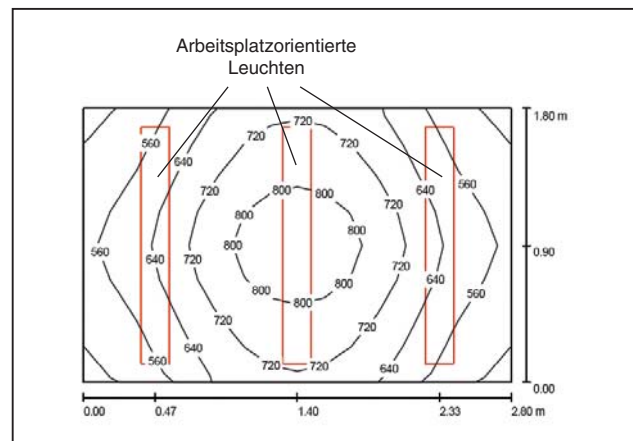
$$LWF = 0,61$$

Mit Gl. (1) folgt:

$$WF = LLiWF \cdot LLW \cdot LWF \cdot RWF$$

$$WF = 0,92 \cdot 0,98 \cdot 0,61 \cdot 1,00 = 0,55$$

Bereits die Allgemeinbeleuchtung der Halle allein erreicht fast flächendeckend eine Beleuchtungsstärke  $\bar{E} \geq 100 \text{ lx}$  (Bild 4). Um



**Bild 5: Grundriss des Bereiches der Schaufgabe zum Aufgabenbeispiel**

diesen Betrag lässt sich die Rechengröße für  $\bar{E}_m$  in der Wirkungsgradformel reduzieren:

$$\bar{E}_m = 500 \text{ lx} - 100 \text{ lx} = 400 \text{ lx}$$

Der für den Bereich der Schaufgabe zu installierende (zusätzliche) Lichtstrom beträgt dann gemäß Gl. (2):

$$\Phi_{\text{ges}} = \frac{\bar{E}_m \cdot A_{\text{Schaufgabe}}}{\eta_B \cdot WF} = \frac{400 \text{ lx} \cdot (2,8 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m})}{0,27 \cdot 0,55} = 13 \text{ 600 lm}$$

Die dafür erforderliche Lampen- bzw. Leuchtenzahl  $z$  ergibt sich damit zu:

$$z = \frac{\Phi_{\text{ges}}}{\Phi_0} = \frac{13 \text{ 600 lm}}{5 \text{ 200 lm}} = 2,62$$

Gewählt wird  $z = 3$ .

Bild 5 zeigt das Ergebnis der mit einem PC-Programm nachvollzogenen Rechnung für den Grundriss des Bereiches der Schaufgabe. Die Isoluxlinien basieren auf der Wirkung der drei Leuchten, deren Anordnung (Licht direkt von oben auf die Arbeitsebene) sich aus beleuchtungstechnischer Sicht allerdings noch verbessern lässt.

# Schwingkreise [ 4 ]

Helmuth Biechl

**Dieser Teil des Beitrags geht auf die Dämpfung und die Bandbreite ein und zeigt, wie sich diese Größen aus Widerstand, Induktivität und Kapazität berechnen lassen. Abschließend wird am Beispiel eines Bandpasses die Anwendung verdeutlicht.**

Im letzten Teil des Beitrags begannen wir, den Serienschwingkreis nach Bild 11 (siehe »de« 12/2004) genauer zu untersuchen. Hierbei lernten wir, dass sich an der Induktivität  $L$  und an der Kapazität  $C$  eine deutlich höhere Spannung  $U_L$  bzw.  $U_C$  als die Speisespannung  $U$  ergeben kann. Man bezeichnet diesen Effekt als Spannungsüberhöhung. Wir fanden auch folgenden Zusammenhang bei Resonanz, d.h.  $f = f_R$ :

$$\frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{für} \quad f = f_R = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (18)$$

Weicht jedoch die Frequenz  $f$  von der Resonanzfrequenz  $f_R$  ab, reagiert der mit der eingepprägten Spannung  $U$  gespeiste Serienschwingkreis mit einer Impedanzänderung. Die Impedanz  $Z$  ergibt sich zu (siehe Gl. (15) in »de« 12/2004):

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} \quad (19)$$

## Von der Schwingkreisgüte zur Dämpfung

Im dritten Teil des Beitrags lernten wir auch, dass man bei Berücksichtigung der so genannten Schwingkreisgüte  $Q$  für Gl. (19) Folgendes erhält:

$$Z = R \cdot \sqrt{1 + (Q \cdot \nu)^2} \quad (20)$$

mit

$$Q = \frac{X_{Res}}{R} \quad \text{und} \quad X_{Res} = \omega_R \cdot L = \frac{1}{\omega_R \cdot C}$$

Eine hohe Schwingkreisgüte bedeutet: Der Schwingkreis reagiert bei einer kleinen Abweichung der Frequenz  $f$  von der Resonanzfrequenz  $f_R$  mit einer großen Impedanzänderung. Die minimale, bei Resonanz auftretende Impedanz ist:

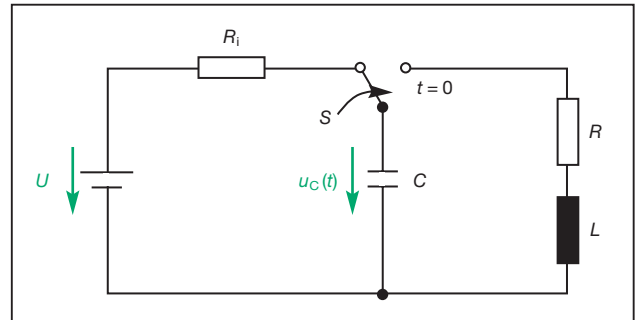
$$Z(f_R) = R$$

Teilt man beide Seiten von Gl. (20) durch  $R$ , erhält man den Faktor der Impedanzänderung:

$$\frac{Z}{R} = \sqrt{1 + (Q \cdot \nu)^2} \quad (21)$$

Die Definition der Verstimmung  $\nu$  als Maß für die relative Frequenzabweichung lautet (siehe »de« 12/2004):

$$\nu = \frac{f}{f_R} - \frac{f_R}{f} \quad (22)$$



**Bild 14: Verlustbehafteter Parallelschwingkreis**

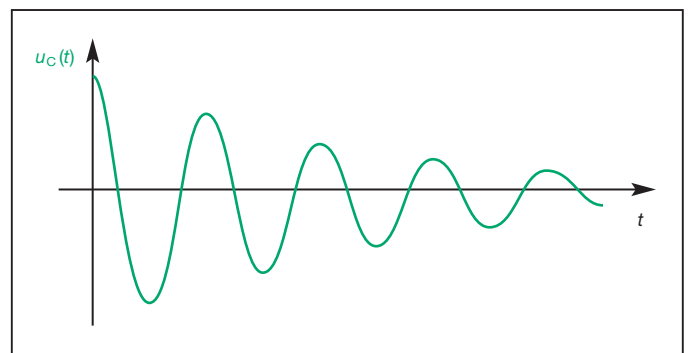
Die Güte  $Q$  ist gemäß Gl. (20) bei kleinem Schwingkreiswiderstand  $R$  groß. Um diese umgekehrte Proportionalität noch besser zum Ausdruck zu bringen, definiert man die Dämpfung  $d$ :

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{X_{Res}} \quad (23)$$

Bei kleinem Widerstand  $R$  ist also der Schwingkreis wenig gedämpft.

## Verlustbehafteter Parallelschwingkreis

Der Begriff »Dämpfung« stammt aus der Theorie des frei schwingenden Parallelschwingkreises mit realer Spule, d.h. einer Spule mit Induktivität und Wicklungswiderstand (Bild 14). Wie bereits im ersten Teil des Beitrags erläutert, ergibt sich bei zunächst aufgeladenem Kondensator  $C$  eine freie Schwingung. Doch weil der Verlustwiderstand  $R$  ständig Energie in Wärme umwandelt, sinkt die Amplitude im Verlauf der Zeit immer mehr, d.h., die Schwingung wird gedämpft (Bild 15). Dieser Abklingvorgang lässt sich mathematisch als Exponentialfunktion mit einem Dämpfungskoeffizienten darstellen.



**Bild 15: Gedämpfter Verlauf der Kondensatorspannung beim verlustbehafteten, freischwingenden Parallelschwingkreis**

*Je kleiner der Widerstand des verlustbehafteten Parallelschwingkreises, desto geringer ist die Dämpfung oder anders ausgedrückt, desto größer ist die Güte.*

## Grenzfrequenz und Bandbreite

Wenn man den Serienschwingkreis nach Bild 11 (siehe »de« 12/2004) betrachtet und mit einem Zeigerdiagramm untersucht, so findet man für die Phasenverschiebung  $\phi$  zwischen Stromzeiger  $I$  und Spannungszeiger  $U$  Folgendes:

Prof. Dr.-Ing. Helmuth Biechl, Labor für Elektrische Antriebe und Mechatronik, Fachhochschule Kempten  
Fortsetzung aus »de« 12/2004

- Bei Resonanz, also bei  $f = f_R$ , beträgt die Phasenverschiebung  $\varphi = 0^\circ$ , d.h., Stromzeiger  $\underline{I}$  und Spannungszeiger  $\underline{U}$  sind in Phase.
- Erhöht man die Frequenz ausgehend von  $f = f_R$ , eilt der Strom nach. Bei  $\varphi = 45^\circ$  beträgt  $f = f_{g2}$ .
- Verringert man ausgehend von  $f = f_R$  die Frequenz so lange, bis der Winkel  $\varphi = -45^\circ$  beträgt, nennt man dann diese Frequenz  $f_{g1}$ .

Die Differenz dieser beiden Grenzfrequenzen ( $f_{g1}$ : untere Grenzfrequenz;  $f_{g2}$ : obere Grenzfrequenz) heißt Bandbreite  $b_f$ , d.h.:

$$b_f = f_{g2} - f_{g1}$$

Wie mathematische Umformungen zeigen, auf die wir hier allerdings nicht eingehen wollen, gibt es einen Zusammenhang zwischen Bandbreite  $b_f$  und Schwingkreisgüte  $Q$  bzw. Dämpfung  $d$ :

$$b_f = \frac{f_R}{Q} = f_R \cdot d \quad (24)$$

Diese sehr interessante Beziehung bedeutet: Eine große Güte  $Q$ , d.h. eine geringe Dämpfung  $d$ , bewirkt immer eine kleine Bandbreite  $b_f$ .

Bei den beiden Grenzfrequenzen  $f_{g1}$  und  $f_{g2}$  gilt übrigens für die Impedanz:

$$Z(f_{g1}) = Z(f_{g2}) = \sqrt{2} \cdot R \quad (25)$$

Die Impedanz ist somit bei der unteren bzw. oberen Grenzfrequenz um den Faktor  $\sqrt{2}$  größer als bei Resonanz.

Bei einem Serienschwingkreis mit kleiner Bandbreite  $b_f$  erhöht sich die Impedanz  $Z$  schon bei einer geringen Abweichung von der Resonanzfrequenz  $f_R$ . Betrachten wir hierzu ein Beispiel. Gegeben sei ein Serienschwingkreis mit  $R = 10 \Omega$ ,  $L = 10 \text{ mH}$  und  $C = 10 \mu\text{F}$  und gesucht sind neben der Resonanzfrequenz  $f_R$  auch die Güte  $Q$ , die Dämpfung  $d$  sowie die Bandbreite  $b_f$ . Wir erhalten mit Gl. (18), (20), (23) und (24):

$$f_R = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{10 \cdot 10^{-3} \text{H} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{F}}}$$

$$f_R = 503,3 \text{ Hz}$$

$$X_{\text{Res}} = 2\pi \cdot f_R \cdot L = 2\pi \cdot 503,3 \text{ Hz} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{H}$$

$$X_{\text{Res}} = 31,6 \Omega$$

$$Q = \frac{X_{\text{Res}}}{R} = \frac{31,6 \Omega}{10 \Omega} = 3,16$$

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{1}{3,16} = 0,32$$

$$b_f = f_R \cdot d = 503,3 \text{ Hz} \cdot 0,32 = 161,1 \text{ Hz}$$

Als Näherung lässt sich ansetzen:

$$f_{g1} \approx f_R - \frac{b_f}{2} \quad \text{und} \quad f_{g2} \approx f_R + \frac{b_f}{2} \quad (26)$$

Mit Gl. (26) folgt:

$$f_{g1} \approx 503,3 \text{ Hz} - \frac{161,1 \text{ Hz}}{2} \approx 422,8 \text{ Hz}$$

$$f_{g2} \approx 503,3 \text{ Hz} + \frac{161,1 \text{ Hz}}{2} \approx 583,9 \text{ Hz}$$

Wir können nun noch  $Z(f_{g1})$  sowie  $Z(f_{g2})$  berechnen und dadurch überprüfen, ob sich für beide Grenzfrequenzen auch Gl. (25) ergibt. Damit wir Gl. (21) heranziehen können, müssen wir erst mit Gl. (22) die Verstimmung  $\nu$  berechnen:

$$\nu(f_{g1}) = \frac{f_{g1}}{f_R} - \frac{f_R}{f_{g1}} = \frac{422,8 \text{ Hz}}{503,3 \text{ Hz}} - \frac{503,3 \text{ Hz}}{422,8 \text{ Hz}} = -0,35$$

$$\frac{Z(f_{g1})}{R} = \sqrt{1 + [Q \cdot \nu(f_{g1})]^2} = \sqrt{1 + [3,16 \cdot (-0,35)]^2} = 1,49 \approx \sqrt{2}$$

$$\nu(f_{g2}) = \frac{f_{g2}}{f_R} - \frac{f_R}{f_{g2}} = \frac{583,9 \text{ Hz}}{503,3 \text{ Hz}} - \frac{503,3 \text{ Hz}}{583,9 \text{ Hz}} = 0,30$$

$$\frac{Z(f_{g2})}{R} = \sqrt{1 + [Q \cdot \nu(f_{g2})]^2} = \sqrt{1 + (3,16 \cdot 0,3)^2} = 1,38 \approx \sqrt{2}$$

Wir sehen, unsere Überlegungen stimmen. Eine genauere Übereinstimmung ergibt sich deshalb nicht, weil die untere bzw. obere Grenzfrequenz mathematisch nicht exakt um  $\pm b_f/2$  von der Resonanzfrequenz abweichen, sondern – wie beschrieben – nur in gewisser Näherung.

Wenn wir nun den in diesem Beispiel betrachteten Widerstand um den Faktor 10 reduzieren, d.h.  $R = 1,0 \Omega$ , ergeben sich andere Verhältnisse. Wir erhalten dann mit Gl. (20), (23) und (24):

$$Q = \frac{X_{\text{Res}}}{R} = \frac{31,6 \Omega}{1 \Omega} = 31,6$$

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{1}{31,6} = 0,032$$

$$b_f = f_R \cdot d = 503,3 \text{ Hz} \cdot 0,032 = 16,11 \text{ Hz}$$

Die Güte  $Q$  wird also 10-mal größer, die Dämpfung  $d$  10-mal kleiner und die Bandbreite  $b_f$  schrumpft ebenfalls um den Faktor 10. Gleichzeitig steigt übrigens auch die Spannungsüberhöhung auf den 10-fachen Wert. Mit anderen Worten: Der Schwingkreis reagiert bei kleinem 1- $\Omega$ -Widerstand bei einer Abweichung von der Resonanzfrequenz mit einer deutlich größeren Impedanzänderung als beim ursprünglichen 10- $\Omega$ -Widerstand (Bild 16).

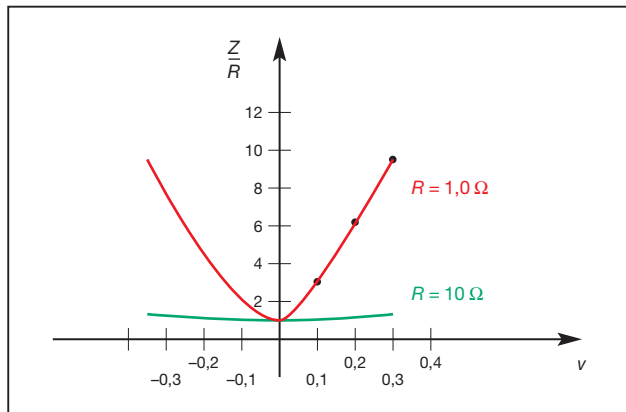
### Serienschwingkreis in der Praxis

Um die Fragen zu beantworten, wo man einen derartigen Serienschwingkreis braucht und wozu man all die Größen

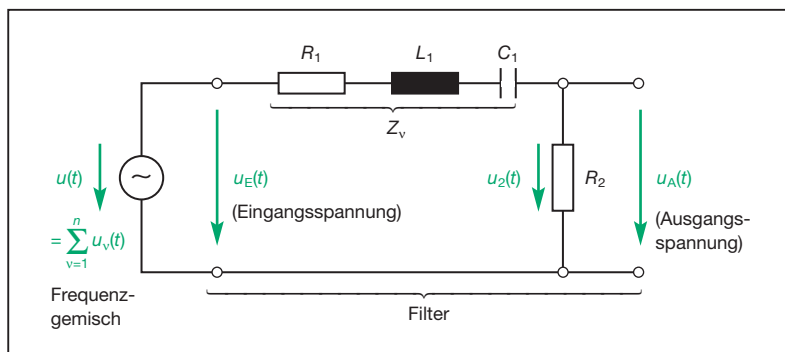
### COUNTDOWN ZUM WETTBEWERB »AZUBI DES JAHRES 2005«

Je fundierter die Ausbildung, desto besser die beruflichen Chancen für Lehrlinge. Doch die fachliche Qualifikation allein reicht nicht aus. Immer entscheidender für den Erfolg sind die Persönlichkeit und die Sozial-, Selbst- und Methoden-Kompetenzen. Denn nur wer weiß, wie er sich richtig im Umgang mit Vorgesetzten und Kollegen verhält, wie das persönliche Arbeitsverhalten optimiert werden kann und welche Methoden helfen, Arbeitsresultate zu verbessern, ist tatsächlich jobfit.

Eine Initiative um das Fuldaer Beratungs- und Trainingsunternehmens Neuland & Partner gibt jetzt 24 Lehrlingen in Trainings und Seminaren die Chance, die eigene Persönlichkeit zu bilden, um dann am Wettbewerb »Azubi des Jahres 2005« teilzunehmen. »Durch diese Qualifizierung steigern die Azubis ihr Ansehen bei ihren Arbeitgebern und verbessern deutlich ihre persönlichen Berufschancen«, sagt Geschäftsführerin Michèle Neuland. Den Lehrling, der während der Aktion den größten persönlichen Entwicklungssprung schafft, kürt eine Jury abschließend zum »Azubi des Jahres 2005«. Die Siegerin oder der Sieger erhält zusätzlich ein Prämienpaket. Man kann sich bis 31. Juli 2004 unter [www.neuland-partner.de/azubi](http://www.neuland-partner.de/azubi) bewerben.



**Bild 16: Relative Impedanzänderung des Serienschwingkreises als Funktion der Verstimmung für zwei verschiedene Widerstände**



**Bild 17: Filter, der eine Frequenz bevorzugt durchlässt (Bandpass)**

benötigt, die wir bis jetzt kennen gelernt haben, betrachten wir die Schaltung in Bild 17. Man erkennt eine Quelle, die eine periodische Wechselspannung erzeugt und mit dem Eingang eines so genannten Vierpols verbunden ist. Die Wechselspannung soll sich aus mehreren Spektralanteilen zusammensetzen, d.h., es liegt ein Frequenzgemisch vor, das sich mathematisch als Summe von sinusförmigen Spannungsanteilen darstellen lässt:

$$u(t) = \sum_{v=1}^n \hat{U}_v \cdot \cos(\omega_v \cdot t + \varphi_{u,v})$$

Wenn wir nun hieraus einen einzigen Spektralanteil mit der Frequenz  $\omega_1$  herausfiltern wollen, so muss unsere Impedanz  $Z_v$  für alle Frequenzanteile  $\omega_v$  sehr hoch sein – außer für die Frequenz  $\omega_1$ . Nachdem es sich bei dem Vierpol um einen Spannungsteiler handelt, fällt an  $R_2$  genau dann für  $\omega_1$  eine hohe Spannung ab, wenn diese mit der Resonanzfrequenz  $\omega_R$  des Serienschwingkreises übereinstimmt, d.h.  $\omega_1 = \omega_R$ . Für alle anderen Frequenzen hingegen ergibt sich eine kleine Spannung, da die Impedanz  $Z_v$  dann sehr hoch wird.

Über diesen Weg haben wir einen Filter realisiert, der hauptsächlich die sinusförmige Wechselspannung mit der Frequenz  $\omega_1$  durchlässt und alle anderen Spektralanteile mehr oder weniger sperrt. Einen derartigen Filter bezeichnet man als Bandpass. Er lässt Frequenzen innerhalb eines bestimmten Frequenzbandes bevorzugt durch.

(Fortsetzung folgt)

## Rüstzeug für den neuen Lehrling

Christiane Decker

**Ein Werkzeug-Rucksack für den neuen Lehrling wird ihm nicht nur gefallen, er kann ihm auch als wichtiges Rüstzeug für den Start ins Berufsleben dienen.**

Mit jedem neuen Ausbildungsjahrgang das Handwerk in die Zukunft. Gutes Rüstzeug ist dabei für den Lehrling wichtig. Eine pfiffige Idee dazu kommt nun vom Remscheider Werkzeughersteller Brinko, der ausschließlich über den Fachgroßhandel liefert und statt der althergebrachten Werkzeutasche etwas Zeitgemäßes für den Berufsstart bietet.

Im alltagstauglichen, strapazierfähigen Rucksack Elektro 7502 ist vieles von dem zusammengestellt, was man in seinen Lehrjahren (und durchaus noch danach) benötigt: Abisolier-, Kombinations- und Mechanikerzange, Seitenschneider, Kabelmesser, Elektrikermeißel, Schlosserhammer, diverse VDE-Schraubendreher, Malerspachtel, Gipsmulde und Wasserpinsel.

Bei diesem Sortiment handelt es sich um eine kleine Auswahl an Remscheider Qualitätswerkzeugen, die manchem Elektrohandwerker durch die im Fachgroßhandel aufgestellten Brinko-Werkzeugschränke ([www.brinko.de](http://www.brinko.de)) vertraut sind. Der Verkaufspreis für die Starthilfe ins Berufsleben liegt bei ca.



Quelle: Brinko Werkzeugfabrik Fellermann

180 €. Trotz des Gesamtgewichts von etwa 6 kg lässt sich der Werkzeug-Rucksack bequem schultern.

Dipl.-Ing. (FH) Christiane Decker, Redaktion »de«

# Aus der Praxis: Fehlerhafte Elektroinstallationen [ 3 ]

Christiane Decker

Als abenteuerliche Elektroinstallationen lassen sich die von unseren Lesern eingereichten Bilder zum Fotowettbewerb »Aufgepasst und mitgemacht« bezeichnen. Viele weitere unveröffentlichte Fotos finden de-Abonnenten unter [www.online-de.de/exklusiv/fotos.html](http://www.online-de.de/exklusiv/fotos.html)

Andreas Kühn aus Burgstädt berichtet zu seinem eingereichten Foto (Bild 19) Folgendes: »... 'meisterhafte' Anschluss- und Zugentlastungsvariante einer provisorischen Verteilung (Provisorium seit 1,5 Jahren in einem Treppenhaus der AWG Burgstädt. Man ist sich auch keines Fehlverhalten schuldig und bringt ganz offen den Aufkleber mit der Firmenanschrift an.

Dipl.-Ing. (FH) Christiane Decker, Redaktion »de«  
Fortsetzung aus »de« 11/2004



**Bild 19:** Oben wie unten Pfusch: freiliegende Adern direkt in beiseite geschobenen Berührungsschutz eingeführt; ein Zähler und ein Knoten bilden keine zulässige Zugentlastung

Quelle: Andreas Kühn

## FOTOWETTBEWERB

Unter dem Motto »Aufgepasst und mitgemacht« läuft bei »de« ein Fotowettbewerb. Gesucht werden Fotos (Digitalfotos/Papierabzüge) von fehlerhaften Elektroinstallationen in Deutschland. Für Bilder, die veröffentlicht werden, erhält der Absender ein Fachbuch »Kaufmännisches Handbuch für das Elektrohandwerk«. Bitte vermerken Sie kurz und präzise den Fehler und teilen Sie uns auch Ihren Namen und Ihre Anschrift mit.

Senden Sie die Fotos bitte an:  
Redaktion »de«  
Aufgepasst und mitgemacht  
Lazarettstraße 4  
80636 München  
[decker@online-de.de](mailto:decker@online-de.de)



*Böse Zungen behaupten, damit hätte es bei einem Unfall der Staatsanwalt leichter.*

Auch Walter Schestag, Oststeinbek, beteiligt sich mit mehreren Aufnahmen am Fotowettbewerb. U. a. fand er in einer Tischlerei eine Elektroinstallation, die sich wohl nicht als solche bezeichnen lässt (Bild 20).



Quelle: Walter Schestag

**Bild 20:** Abenteuerliche Elektroinstallation in einer Tischlerei

Helmut Reichel aus Nürnberg beteiligt sich mit einem Foto einer neuen Installation (Bild 21), von der die ausführende Fachfirma ihm und dem Kunden gegenüber behauptete, dass die Arbeiten mängelfrei sind.



Quelle: Helmut Reichel

**Bild 21:** Doppelsteckdose im Schutzbereich der Badewanne

(Fortsetzung folgt)