

Querschnittbestimmung von Kabeln und Leitungen

Teil 2: Strombelastbarkeit

Im Teil 1 wurde die Bemessung des Querschnitts nach den Kriterien Mindestquerschnitt und Spannungsfall behandelt. Mit der Auswahl nach der Strombelastbarkeit wird die Beitragsfolge fortgesetzt. Als Grundlage für die Bemessung dient die Norm DIN VDE 0298 Teil 4 [1].

Strombelastbarkeit

Unter Strombelastbarkeit ist der zulässige Belastungsstrom zu verstehen, den ein Kabel oder eine Leitung einer bestimmten Ausführung (Leiter- und Isolierwerkstoff, Leiterquerschnitt, Aufbau) bei einer vorgegebenen Betriebsart, festgelegten Verlegebedingungen (Verlegeart, Häufung, Umgebungstemperatur) sowie äußeren Einflüssen, z. B. Sonneneinstrahlung, führen kann, ohne sich über die festgelegte Betriebstemperatur hinaus zu erwärmen. Oftmals wird der Leiterquerschnitt nur anhand der Strombelastbarkeit in Verbindung mit dem Überlastschutz bestimmt. Dabei wird übersehen, dass der damit ermittelte Wert nicht die Gewähr dafür bietet, dass alle anderen Kriterien damit automatisch erfüllt sind. So sind z. B. der Schutz beim indirekten Berühren durch automatische Abschaltung der Stromversorgung durch Leitungsschutzsicherungen, Leitungsschutzschalter oder andere Überstromschutzeinrichtungen, die Einhaltung des im Teil 1 besprochenen Spannungsfalls und der Kurzschlusschutz von der Leitungslänge abhängig. Die Leitungslänge hat aber keinen Einfluß auf die Strombelastbarkeit.

Die Wärmeentwicklung (Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebungstemperatur) in einem Leiter ist abhängig vom Leitermaterial (Cu oder Al), vom Quadratwert des Belastungsstromes, dem Leiterquerschnitt und der Zeitdauer des Stromflusses

Durch unterschiedliche elektrische Leitwerte ergeben sich bei gleicher Stromstärke, gleichem Querschnitt, gleicher Lei-

tungslänge und gleicher Stromflußdauer unterschiedliche Verlustwärmemengen. Grundlage für deren Ermittlung ist die Verlustleistung. Je Leiter gilt:

$$P_V = \frac{I^2 \cdot l}{\kappa \cdot A}$$

- P_V Verlustleistung in W
- I Belastungsstrom in A
- A Leiterquerschnitt in mm^2
- κ elektrische Leitfähigkeit in $\text{m}/(\Omega \text{ mm}^2)$
- l Leitungslänge in m

Für Wechselstrom muss der errechnete Wert mit zwei und für symmetrische Drehstrombelastung mit drei multipliziert werden, um die Verlustleistung je Leitung zu bestimmen. Die Verlustwärmemenge erhält man durch Multiplikation mit der Stromflußdauer.

Die durch den Strom erzeugte Verlustwärme wird über die Leiter- und Mantelisolierung, über Rohre und Kanäle an die umgebende Baukonstruktion (Mauerwerk, Beton) oder direkt an die Luft abgegeben. Die Wärmeabführung wird durch den Wärmewiderstand R_{th} der verlegten Leitung charakterisiert. Dieser Widerstand nimmt umgekehrt proportional zur Leitungslänge ab. Als Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebungstemperatur ergibt sich

$$\vartheta_{Ltg} - \vartheta_U = P_V \cdot R_{th}$$

- ϑ_{Ltg} Leitungstemperatur in °C
- ϑ_U Umgebungstemperatur in °C
- P_V Verlustleistung in W
- R_{th} Wärmewiderstand in K/W

Da die Verlustleistung mit der Leitungslänge zunimmt und der Wärmewiderstand im gleichen Maß abnimmt, hängt die Leitungstemperatur vom Quadrat des Belastungsstromes ab und nicht von der Leitungslänge.

Eine unzulässige Erwärmung lässt sich nur verhindern, wenn die durch den Stromfluß verursachte Wärme auch abgeführt wird. Übersteigt der Belastungsstrom und damit die Verlustleistung den zulässigen Wert, so erhöht sich die Temperatur und überschreitet die für den Leitungstyp maximal zulässige Betriebstemperatur. Die Verlegebedingungen beeinflussen die Wärmeabführung maßgeblich. Einfluß auf diesen Prozess haben vor allem die folgenden Faktoren:

Verlegeart. Je nach Verlegeart (Tafel 1) sind an der Wärmeabführung Wärmeleitung, Konvektion oder Wärmestrahlung in unterschiedlicher Weise beteiligt. Günstige Bedingungen liegen dort vor, wo ungehindert Wärme abgeführt werden kann. Das ist z. B. bei Leitungen auf Abstandschellen oder an Spannseilen der Fall. Hier nimmt bei entsprechend großem Raumvolumen die umgebende Luft die Wärme auf. Luftpolster in Rohren und Kanälen, Wärmedämmschichten, Mantelisolierungen und Hohlräume haben dagegen einen hohen Wärmewiderstand, der die Wärmeableitung behindert. Das ist besonders dort der Fall, wo in Rohre eingezogene Leitungen oder Kabel in Wärmedämmschichten eingebettet werden.

Umgebungstemperatur. Eine Wärmeabführung ist nur möglich, wenn die Umgebungstemperatur niedriger ist als die Betriebstemperatur des Kabels oder der Leitung. Je größer das Temperaturgefälle, desto mehr Wärme kann in der gleichen Zeit abgegeben werden. Kabel und Leitungen dürfen deshalb bei höheren Umgebungstemperaturen weniger belastet werden als bei niedrigeren Werten.

Häufung. Die ungehinderte Wärmeableitung wird gestört, wenn Kabel und Leitungen gehäuft verlegt werden. Sie erwärmen sich gegenseitig. Deshalb dürfen gehäuft verlegte Kabel und Leitungen nur geringer belastet werden als eine Einzelleitung. Es ist allerdings möglich, darauf zu verzichten, wenn ein Abstand vom zweifachen größten Außendurchmesser der Leitung eingehalten wird.

Wärmebeständigkeit der Isolierung. Es ist erforderlich, bei der Auswahl des Kabels oder der Leitung die zulässige Betriebstemperatur zu beachten. Sie darf nicht höher sein als der zulässige Wert. Das am häufigsten verwendete Isoliermaterial PVC hat eine zulässige Betriebstemperatur von 70 °C, sofern nicht die Ausführung mit erhöhter Wärmebeständigkeit von 90 °C gewählt wird. 90 °C sind nur zulässig, wenn die angeschlossenen Betriebsmittel ebenfalls für diese Temperatur ausgelegt sind. Die Tabelle 1 in [1] gibt eine Übersicht über die Kabel- und Leitungsbauarten mit den zulässigen Betriebstemperaturen am Leiter mit Hinweis auf die zutreffende Tabelle für die zulässige Strombelastbarkeit.

Querschnittbestimmung bei normalen Bedingungen

Normale Bedingungen liegen bei den üblichen Kabeln und Leitungen mit einer Be-

Tafel 1 Verlegearten von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in Gebäuden nach [1]

Referenzverlegeart ¹⁾	A1		A2		B1		B2	
Darstellung								
Verlegebedingung	Verlegung in wärmeisolierten Wänden oder Fußböden				Verlegung in Elektro-Installationsrohren oder geschlossenen Elektro-Installationskanälen auf oder in Wänden, in Kanälen für Unterflurverlegung (in offenen oder belüfteten Kanälen), auch in aufgestellten Fußböden und in Gebäudehohlräumen			
	Aderleitung im Elektro-Installationsrohr oder -kanal		mehradrige Kabel oder Mantelleitung im Elektro-Installationsrohr oder -kanal		Aderleitung oder einadrige Kabel/Mantelleitungen ²⁾		mehradrige Kabel oder Mantelleitungen ³⁾	
Referenzverlegeart	C		E		F		G	
Darstellung								
Verlegebedingung	Direkte Verlegung auf Wänden/Decken, auf ungelochten Kabelwannen, in Fußleistenkanälen sowie im Mauerwerk oder Beton mit einem spezifischen Wärmewiderstand $\leq 2 \text{ K m}^2/\text{W}$		Stegleitungen in Wänden/Decken		Verlegung frei in Luft, an Tragseilen sowie auf gelochten Kabelwannen, Kabelpritschen und Kabelkonsolen			
	einadrige Kabel oder Mantelleitungen		mehradrige Kabel oder Mantelleitungen		mehradrige Kabel oder Mantelleitungen		einadrige Kabel oder Mantelleitungen mit Berührung ohne Berührung, auch Aderleitungen auf Isolatoren	

1) Ausführung nach Kennziffern in Tabelle 7 2) in [1]
 2) in Gebäudehohlräumen mit kleinem Querschnitt = B2
 3) in Gebäudehohlräumen mit großem Querschnitt = B1

triebstemperatur von 70 °C vor, wenn die Strombelastbarkeit den Belastbarkeitstabellen in [1], Tabelle 3 und 4, entnommen werden kann und keine Umrechnung mit Umrechnungsfaktoren erfolgen muss. Tafel 2 gibt auszugsweise einige Werte wieder. Sie gelten bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C. In Deutschland wurde schon seit Jahrzehnten entsprechend den klimatischen Bedingungen die Strombelastbarkeit auf eine Umgebungstemperatur von 25 °C bezogen. Im Anhang A zur Norm [1] sind in den Tabellen A 1 und A 2 die zutreffenden Werte der Strombelastbarkeit ausgewiesen. Tafel 2 enthält ebenfalls Auszüge daraus. Für in Erde verlegte Kabel gelten andere Betriebsbedingungen, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Leitungen dürfen nicht in der Erde verlegt werden.

Voraussetzungen. Eine Anwendung von Tafel 2 setzt voraus, dass
 1. die Belastung nicht größer sein darf als der zulässige Tabellenwert
 (Die Tabellen sind für Dauerbelastung

mit konstantem Belastungsstrom ausgelegt. Bei niedrigerer Belastung sind Reserven vorhanden.),
 2. die Umgebungstemperatur den Bezugswert in der jeweiligen Tabelle von 30 °C oder 25 °C nicht überschreitet und
 3. keine Kabel- und Leitungshäufungen berücksichtigt werden müssen.
 Das trifft bei Einzelverlegung zu, kann aber selbst dort möglich sein, wo Kabel und Leitungen unmittelbar nebeneinander liegen und sich gegenseitig berühren. Hier ist eine Prüfung der Belastungsverhältnisse notwendig.

Bedingungen bei Einzelverlegung. Jedes Installationsrohr oder jeder Installationskanal darf, bei mehrzügigen Kanälen jeder Zug, nur einen Stromkreis mit Aderleitungen oder eine mehradrige Mantelleitung enthalten. Bei benachbarten Kabeln und Leitungen muss der lichte Abstand das Zweifache des größten Außendurchmessers betragen. Das gilt auch für das Verlegen auf Kabelwannen oder Pritschen.

Installationen in Wohnungen und ähnlichen Bauten. Sie sind ein Beispiel, wo auch bei Leitungshäufungen Umrechnungsfaktoren außer Acht bleiben können. Die Stromkreise werden in der Regel nicht gleichzeitig und auch nicht mit Dauerstrom belastet. Ausgenommen davon sind mit Dauerlast beaufschlagte Stromkreise, z. B. für Nachtstromspeicherheizungen. Hier darf auf einen Umrechnungsfaktor für Leitungshäufungen nicht verzichtet werden, weil bei der erwarteten längeren Betriebsdauer die zulässige Betriebstemperatur überschritten werden kann.

Ermittlung der Strombelastbarkeit. Es ist die zutreffende Referenzverlegeart festzulegen. Für die feste Verlegung sind dazu in [1], Tabelle 2, insgesamt acht Referenzverlegearten mit den zugehörigen Betriebsbedingungen angegeben. In der Praxis sind wesentlich mehr Verlegearten üblich. Hier muß man selbst eine Zuordnung zu der jeweils zutreffenden Referenzverlegeart vornehmen. Für häufig vorkommen-

de Verlegearten sind in Tafel 1 die zu empfehlenden Referenzverlegearten zusammengefasst. Eine weitere Hilfestellung liefert Tabelle 7 in [1].

Lässt sich eine Leitung auf ihrem Weg zum Verbraucher verschiedenen Verlegearten zuordnen, dann ist die Referenzverlegeart zu wählen, bei der das Kabel oder die Leitung am geringsten belastet werden darf. Für einen gewählten Querschnitt ist dann die Strombelastbarkeit I_r der Tafel 2 bzw. den Tabellen in [1] zu entnehmen.

Für **Wechselstromkreise** gelten die Tabellenwerte für zwei belastete Adern, weil der PE-Leiter im fehlerfreien Betrieb stromlos bleibt.

Im **Drehstromkreis** ist die Anzahl der belasteten Adern auch bei Mitführung eines

PEN- oder N-Leiters mit drei anzusetzen. Das gilt nicht, wenn der N- oder PEN-Leiter belastet, die Außenleiter aber nicht entlastet werden.

Die Gründe beruhen auf der Tatsache, dass bei einer symmetrischen Belastung mit sinusförmigen Strömen im PEN- bzw. N-Leiter kein Strom fließt, aber trotzdem die höchste thermische Beanspruchung der Leitung durch die Stromwärme erfolgt.

Bei unsymmetrischer Belastung fließt im N- bzw. PEN-Leiter nur der Ausgleichsstrom, der in der geometrischen Summe aller Ströme am Wert Null fehlt. Im Drehstromsystem ist bekanntermaßen die Summe aller Ströme gleich Null.

Durch Oberschwingungen kann abweichend vom Normalfall der Strom im N-

oder PEN-Leiter aber sogar höher sein als der Außenleiterstrom, wenn Verbraucher einen nicht sinusförmigen Strom verursachen. Ist das der Fall, dann muss auch der 4. Leiter berücksichtigt und ggf. ein größerer Querschnitt gewählt werden. Auf Einzelheiten kann in diesem Beitrag nicht detailliert eingegangen werden.

Die **zulässige Strombelastbarkeit** I_z muss bei Anwendung der Tafel 2 größer, mindestens aber genau so groß sein wie der Belastungsstrom: $I_z \geq I_b$.

Da keine abweichenden Betriebsbedingungen vorliegen, ist der **Tafelwert** I_r gleich der zulässigen Strombelastbarkeit I_z und damit gilt hier $I_z = I_r \geq I_b$.

Der **Betriebstrom** I_b ist der Nennstrom des Verbrauchsmittels, z. B. Motornenn-

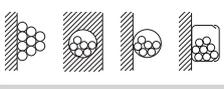
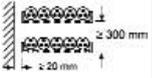
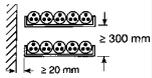
Tafel 2 Belastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in Gebäuden, Betriebstemperatur 70 °C, Umgebungstemperaturen 25 und 30 °C (nach [1])

Referenzverlegeart	A1		A2		B1		B2		C		E		F			G		
Verlegung	in Wärme gedämmten Wänden				in Elektro-Installationsrohren				auf einer Wand		frei in Luft							
Anzahl der belasteten Adern	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3 vert., hori-zont.	3 vert. hori-zont.	3 vert.	
Nennquerschnitt Cu in mm ²	Strombelastbarkeit in A																	
Umgebungstemperatur 30 °C																		
1,5	15,5 ¹⁾	13,5	15,5 ¹⁾	13,0	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18,5	-	-	-	-	-	
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	30	25	-	-	-	-	-	
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	40	34	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33 ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	51	43	-	-	-	-	-	
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	70	60	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	47 ²⁾	-	59 ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	94	80	-	-	-	-	-	
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	119	101	131	114	110	146	130	
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	148	126	162	143	137	181	162	
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	180	153	196	174	167	219	197	
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	232	196	251	225	216	281	254	
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	282	238	304	275	264	341	311	
Umgebungstemperatur 25 °C																		
1,5	16,5 ¹⁾	14,5	16,5 ¹⁾	14,0	18,5	16,5	17,5	16	21	18,5	23	19,5	-	-	-	-	-	
2,5	21	19	19,5	18,5	25	22	24	21	29	25	32	27	-	-	-	-	-	
4	28	25	27	24	34	30	32	29	38	34	42	36	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35 ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	
6	36	33	34	31	43	38	40	36	49	43	54	46	-	-	-	-	-	
10	49	45	46	41	60	53	55	49	67	60	74	64	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	50 ²⁾	-	63 ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	
16	65	59	60	55	81	72	73	66	90	81	100	85	-	-	-	-	-	
25	85	77	80	72	107	94	95	85	119	102	126	107	139	121	117	155	138	
35	105	94	98	88	133	117	118	105	146	126	157	134	172	152	145	192	172	
50	126	114	117	105	160	142	141	125	178	153	191	162	208	184	177	232	209	
70	160	144	147	133	204	181	178	158	226	195	246	208	266	239	229	298	269	
95	193	174	177	159	246	219	213	190	273	236	299	252	322	292	280	361	330	

¹⁾ Bei Wandaufbau: Äußere Beplankung 10 mm Holzfasertplatten, Wärmedämmung mit 100 mm Mineralfaser, innere Beplankung mit 25 mm Holzfasertplatte mit Wärmeleitfähigkeit 0,1 W/K m senkrecht und 0,23 W/K m parallel zur Plattenebene

²⁾ Gilt nicht für Verlegung auf einer Holzwand

Tafel 4 Umrechnungsfaktoren f_2 für Häufung (Auszug aus [1])

Anordnung	Anzahl der Wechsel- oder Drehstromkreise						
	1	2	3	4	5	6	
Gebündelt direkt auf der Wand, dem Fußboden, im Elektro-Installationsrohr oder -kanal, auf oder in der Wand 	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	
Einlagig auf der Wand oder Fußboden, mit Berührung 	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	
Einlagig auf der Wand oder Fußboden, mit Zwischenraum gleich Leitungsdurchmesser 	1,00	0,94	0,90	0,90	0,90	0,90	
Einlagig unter der Decke, mit Berührung 	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	
Einlagig unter der Decke, mit Zwischenraum gleich Leitungsdurchmesser 	0,95	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
Gelochte Kabelwanne, mit Berührung 	Anzahl der Wannen						
	1	1,00	0,88	0,82	0,79	–	0,76
	2	1,00	0,87	0,80	0,77	–	0,73
	3	1,00	0,86	0,79	0,76	–	0,71
6	1,00	0,84	0,77	0,73	–	0,68	
Ungelochte Kabelwanne, mit Berührung 	Anzahl der Wannen						
	1	0,97	0,84	0,78	0,75	–	0,71
	2	0,97	0,83	0,76	0,72	–	0,68
	3	0,97	0,82	0,75	0,71	–	0,66
6	0,97	0,81	0,73	0,69	–	0,63	

Tafel 3 Umrechnungsfaktoren f_1 bei abweichenden Umgebungstemperaturen für PVC isolierte Kabel und Leitungen mit Betriebstemperatur 70 °C (nach [1])

Umgebungstemperatur in °C	Umrechnungsfaktor f_1
10	1,22
15	1,17
20	1,12
25	1,06
30	1,00
35	0,94
40	0,87
45	0,79
50	0,71

auch steigen. Sie errechnet sich aus $I_z = I_r \cdot f_1$. Da für eine Umgebungstemperatur von 25 °C die Strombelastbarkeit der Tafel 2 verwendet werden kann, ist dafür keine Umrechnung erforderlich. Wenn jedoch der Umrechnungsfaktor für die Häufung zu beachten ist, gilt nur der Bereich der Tafel 2 für eine Umgebungstemperatur von 30 °C.

Beispiel 3: Wie hoch darf die im ersten Beispiel genannte Leitung belastet werden, wenn sie streckenweise parallel zu Heizungsleitungen verlegt wird, wo die Umgebungstemperatur 40 °C betragen kann?

Antwort: Die Strombelastbarkeit I_r für eine Mantelleitung NYM-J 5 x 6 mm² bei der Verlegeart C ist in Tafel 2 für eine Umgebungstemperatur 30 °C mit 41 A ausgewiesen. Nach Tafel 3 ist für eine Umgebungstemperatur 40 °C ein Umrechnungsfaktor $f_1 = 0,87$ zu wählen. Die Leitung kann mit

$$I_z = I_r \cdot f_1 = 41 \text{ A} \cdot 0,87 = 35,7 \text{ A}$$

belastet werden.

Häufung. Bei Kabel- und Leitungshäufungen ist ein Umrechnungsfaktor f_2 zu berücksichtigen. Er ist aus Tafel 4 zu entnehmen, sofern die darin auszugswise genannten Bedingungen zutreffend sind. Wenn ein Faktor f_2 für Häufung angewendet werden muss, so ist die Strombelastbarkeit I_z stets kleiner als I_r . Bei formaler Anwendung der Faktoren f_2 können sich nicht gerechtfertigte Belastungsreduzierungen ergeben. Deshalb sollte bei der Bestimmung dieses Umrechnungsfaktors Folgendes berücksichtigt werden:

- Die Umrechnungsfaktoren f_2 gelten für Dauerbetrieb mit konstantem Belastungsstrom. Bei geringerer Belastung können sie höher sein. So wird z. B. der

strom, Nennstrom der Steckdose oder bei Zuleitungen zu Verteilungen der Nennstrom des Überstromschutzorgans der entsprechenden Leitung.

Beispiel 1: Wie hoch darf bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C eine zum Teil auf Abstandsschellen und zum Teil auf gelochter Kabelbahn verlegte und mit Drehstrom betriebene Mantelleitung NYM-J 5 x 6 mm² Cu belastet werden?

Antwort: Nach Tafel 1 ist das Verlegen auf Abstandsschellen der Verlegeart C, das Verlegen auf einer gelochten Kabelwanne Verlegeart E zuzuordnen. Zu wählen ist die Verlegeart C, weil hier der Wärmewiderstand größer ist als bei E. Nach Tafel 2 ist für drei belastete Adern eine Strombelastbarkeit $I_r = 43 \text{ A}$ zulässig. Da keine Umrechnung notwendig ist, gilt $I_r = I_z = 43 \text{ A}$.

Beispiel 2: Wie hoch darf bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C eine im Fußboden verlegte Mantelleitung 3 x 2,5 mm² Cu belastet werden?

Antwort: Nach Tafel 1 ist Verlegeart A2 zu wählen. Das gilt für das Verlegen ohne und mit Rohr gleichermaßen. Nach Tafel 2 ist eine Strombelastbarkeit $I_r = I_z = 19,5 \text{ A}$ zulässig.

Abweichende Betriebsbedingungen

Als abweichende Bedingungen bei der Querschnittbestimmung sind zu berücksichtigen:

- eine andere Umgebungstemperatur als 30 °C oder 25 °C und
- mehrere gemeinsam verlegte Kabel und Leitungen, wenn sie sich gegenseitig berühren oder in einem Zug eines Kanals oder einem einzügigen Kanal verlegt sind oder wenn bei paralleler Verlegung ein lichter Abstand vom zweifachen Außendurchmesser des Kabels mit dem größten Querschnitt nicht eingehalten wird.

Abweichende Umgebungstemperaturen.

Diese können sowohl über als auch unter 30 °C liegen. Die Strombelastbarkeit bei höheren oder niederen Temperaturen als 30 °C errechnet sich durch Multiplikation der Strombelastbarkeitswerte I_r in Tafel 2 mit den zutreffenden Umrechnungsfaktoren f_1 für abweichende Umgebungstemperaturen. Auszugsweise sind die zutreffenden Umrechnungsfaktoren für Kabel und Leitungen mit einer Betriebstemperatur 70 °C in Tafel 3 wiedergegeben. Die Strombelastbarkeit I_z kann damit sowohl fallen als

Wert 1 erreicht, wenn vier gehäuft verlegte Leitungen jeweils mit dem halben Belastungsstrom betrieben werden. Durch die Abhängigkeit vom Quadrat des Belastungsstroms sinkt die Verlustwärme in einer Leitung auf 25 %.

- Aus den zuvor genannten Gründen ist es nicht erforderlich, Leitungen zu berücksichtigen, die unter 30 % des zulässigen Wertes belastet werden.
- Auch Gleichzeitigkeitsfaktoren sollten beachtet werden, weil sich damit die Belastungen ändern.
- Häufungen bis 1 m Länge, wie sie sich z. B. bei der Einführung in Verteiler ergeben, können außer Betracht bleiben.
- Bei gemischter Belegung besteht die Gefahr, dass Leitungen mit kleinerem Querschnitt stärker erwärmt werden. Hier ist es angebracht, Leitungen mit hohem Belastungsstrom möglichst im Abstand (zweifacher Durchmesser) oder zumindest am Rand des Bündels zu verlegen.
- Für eine unter der Decke verlegte Leitung gilt $f_2 = 0,95$, womit den Auswirkungen eines Wärmestaus entgegengetreten wird.

Die Strombelastbarkeit errechnet sich aus $I_z = I_r \cdot f_2$.

Muss außerdem der Umrechnungsfaktor für abweichende Umgebungstemperaturen f_1 berücksichtigt werden, dann ergibt sich $I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2$.

Wird der Querschnitt gesucht (Tafel 2), dann ist zu setzen

$$I_r \geq \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2}$$

Beispiel 4: Auf einer ungelochten Kabelwanne werden in einer Heizungsanlage für den Anschluss von drei mit Drehstrom betriebenen Pumpen je eine Stromkreisleitung NYM-J und eine Steuerleitung verlegt. Die Pumpen arbeiten im Dauerbetrieb. Der Betriebsstrom I_b beträgt 24 A. Von den Pumpen ist stets eine in Reserve. Die Umgebungstemperatur beträgt 25 °C. Welcher Querschnitt ist erforderlich?

Antwort: Da nur zwei Motoren gleichzeitig laufen, sind nur zwei Leitungen zu berücksichtigen. Die Steuerleitungen bleiben außer Betracht. Zu wählen ist nach Tafel 1 die Verlegeart C. Nach Tafel 4 ist für das Verlegen von 2 Leitungen auf einer ungelochten Kabelwanne mit einem Umrechnungsfaktor $f_2 = 0,84$ zu rechnen. Der Umrechnungsfaktor f_1 für 25 °C ist in Tafel 3 mit 1,06 ausgewiesen.

Der Tafelwert I_r ist aus Tafel 2 zu entnehmen, wobei gilt

$$I_r = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2} = \frac{24 \text{ A}}{1,06 \cdot 0,84} = 26,95 \text{ A}$$

Gemäß Tafel 2 ist eine Leitung NYM-J mit $5 \times 4 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ erforderlich. Der darunterliegende Querschnitt $2,5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ist nur bis 25 A belastbar.

Anmerkung. Um wirtschaftlich zu bleiben, sollte man in der Praxis Lösungen anstreben, wo sich Verlegearten mit hohem Wärmewiderstand umgehen lassen und auf Umrechnungsfaktoren nach Möglichkeit verzichtet werden kann. Patentrezept gibt es dafür nicht. Es ist aber immer zu überlegen, ob nicht ein anderer Leitungsweg gewählt werden sollte, bei dem sich die Anzahl der in einem Leitungsbündel zusammengefassten Leitungen durch eine andere Zuordnung reduzieren lässt.

H. Senkbeil

Literatur

[1] DIN VDE 0298-4 (VDE 0298 Teil 4): 1998-11 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen; Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für die feste Verlegung in Gebäuden und von flexiblen Leitungen.

Korrektur: Im ersten Teil (LuK 12/00, Seite 10, Tafel 3) ist im Zähler der Formeln vier und acht der Strom I zu streichen.

Heft 2/2001 **ep** LERNEN & KÖNNEN

Bemessung nach Überlastschutz

Passgenaue Mitarbeiter

Sechs von zehn Ausbildungsbetrieben in Deutschland bieten ihren Azubis schon während der Ausbildung oder direkt danach Gelegenheit, zusätzliche Kenntnisse zu erwerben. Zwei Drittel der Ausbildungsbetriebe rechnen mit einem in den nächsten Jahren zunehmenden Bedarf an Zusatzqualifikationen. Wichtigster Antrieb für die Unternehmen ist die Gewinnung effizienter Mitarbeiter. Das macht die Rekrutierung leistungsstarker Azubis und deren passgenaue Ausbildung nötig.

