

Vermeiden von unzulässigen Temperaturen in Verteilern (1)

H. Senkbeil, Berlin

Als Echo auf den Artikel „Erwärmung von Installationsverteilern“ [1] wurde der Wunsch nach eingehenderer Behandlung dieser Thematik gefordert. Gefragt wird vor allem nach vereinfachenden Lösungen, mit denen sich aufwendige Wärmebilanzen umgehen oder ersetzen lassen. In den folgenden Ausführungen wird hierauf eingegangen – unter Berücksichtigung nebenstehender Voraussetzungen.

1 Verteilersortiment und zulässige Verlustleistungen

Ausgangspunkt und Grundlage sollten stets die Festlegungen in den Normen sein. Um sich hier orientieren zu können, sollte man mit DIN VDE 0660 Teil 504 [2] beginnen, der Norm für Niederspannungs-Schaltgeräte-Kombinationen, zu deren Bedienung Laien Zutritt haben. Im Abschnitt 2.1.10 ist der Begriff „Installationsverteiler“ definiert. Nach [2] enthalten die abgehenden Stromkreise der Installationsverteiler Überstromschutzrichtungen mit jeweils einem Bemessungsstrom bis 125 A und einer Gesamteinspeisung bis 250 A einschließlich der Schalt- und Schutzrichtungen, Klemmen für N- und PE-Anschlüsse, Melde- und Steuergeräte usw. Zur Vermeidung einer unzulässigen Erwärmung ist der informative „Nationale Anhang NA“ von Bedeutung. Hier ist der Nachweis

der Einhaltung der Grenztemperaturen mit Ablaufplan beschrieben, der auch Grundlage für die nachstehenden Vereinfachungen ist. Außerdem sind dort die zulässigen Verlustleistungen P_{zul} in Abhängigkeit von vorgegebenen Übertemperaturen ΔT für allseitig geschlossene Installationsverteiler mit Abmessungen entsprechend den Erzeugnisnormen der Reihe DIN 43 870 [3] vorgegeben. Installationsverteiler nach [2] müssen zusätzlich den Anforderungen nach DIN VDE 0660 Teil 500 [4] entsprechen, sofern in [2] nichts anderes festgelegt ist. Die zulässigen Verlustleistungen P_{zul} für den sehr häufig zum Einsatz kommenden Kleinverteiler nach DIN 43 871 [5] wird in dieser Erzeugnisnorm direkt ausgewiesen. Der erwähnte informative Anhang NA zu [2] ist auch für die Kleinverteiler [5] von Bedeutung, obwohl jeder Hinweis darauf fehlt, sowohl in [2] als auch in [5]. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass in DIN VDE 0660-507 [6] ein Rechenverfahren aufgenommen wurde, das angewendet werden soll, wenn eine Erwärmungsprüfung von partiell typgeprüften Schaltgerätekombinationen nicht durchführbar oder aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu vertreten ist. Die vorgenannten Zusam-

1. Die Ausführungen beziehen sich auf den ungestörten Betrieb einer Anlage. Kurzschlüsse und deren Auswirkungen sind nicht berücksichtigt und müssen jeweils gesondert betrachtet werden.
2. Die Gesamtverlustleistung bei Belastung darf nicht größer sein als die im Verteiler bei einer vorgegebenen Übertemperatur zulässige Verlustleistung. Da es auf die Einhaltung von Grenzwerten ankommt, genügen Überschlagswerte.
3. Die in [1] am Beispiel eines Kleinvertailers abgehandelten Ausführungen gelten für alle Installationsverteiler, wo in geschlossenen Gehäusen anfallende Verlustwärme durch Strahlung, Wärmeleitung und Konvektion abgeführt wird.

menhänge zwischen den Normen sind der Übersicht zu entnehmen (Bild 1). In der Praxis werden auch Verteilersortimente eingesetzt, die den Erzeugnisnormen [3][5] nicht entsprechen. Hier sollten in jedem Fall die Herstellerangaben über die zulässigen Verlustleistungen P_{zul} beachtet werden, die ebenfalls einer vorgegebenen Übertemperatur ΔT zugeordnet sein müssen.

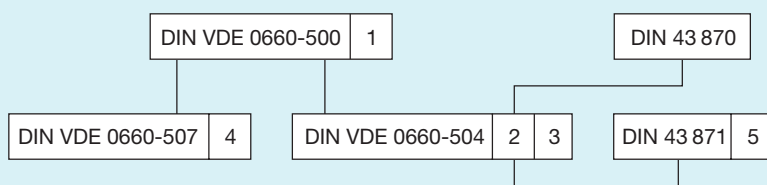
2 Verlustleistungen der Einbaugeräte und Betriebsmittel

Genau so wichtig wie die zulässige Verlustleistung P_{zul} der Verteiler ist die Höhe der Verlustleistungen P_b der im Verteiler eingesetzten Einbaugeräte und Betriebsmittel. Entsprechende Werte sind den einschlägigen Sicherheitsnormen zu entnehmen – sofern dort Festlegungen enthalten sind. Werden diese zugrundegelegt, dann liegt man auf der sicheren Seite und verfügt noch über Reserven, z. B. für spätere Erweiterungen, da Hersteller zum Teil erheblich niedrigere Wärmeverluste ausweisen.

Autor

Obering *Heinz Senkbeil* ist freier Fachjournalist, Berlin.

Sicherheitsnormen für Schaltgerätekombinationen (TSK und PTSK)



Erzeugnisnormen

1 Übersicht über Sicherheits- und Erzeugnisnormen für Installationsverteiler

- 1 Grundnorm
- 2 besondere Anforderungen an Installationsverteiler als Ergänzung zur Grundnorm: Verfahren zum Nachweis der Einhaltung von Grenztemperaturen
- 3 Angaben über zulässige Verlustleistungen in Verteilern nach DIN 43 870
- 4 Verfahren zur Ermittlung der Erwärmung von PTSK durch Extrapolation (nicht vorrangig für Installationsverteiler)
- 5 mit Angaben der zulässigen Verlustleistungen für dieses Erzeugnisortiment

Tafel 1 Verlustleistungen von LS-Schaltern

Bemessungsstrombereich I_n [A]	Höchstzulässige Verlustleistung P_b [W] nach VDE 0641 Teil 11	Schupakatalog
≤ 10	3,00	2,2 ¹⁾ 2,0 ²⁾
$10 < I_n \leq 16$	3,50	2,0 ³⁾ 2,1 ⁴⁾
$16 < I_n \leq 25$	4,50	2,7 ⁵⁾ 3,1 ⁶⁾
$25 < I_n \leq 32$	6,00	4,5
$32 < I_n \leq 40$	7,50	4,2
$40 < I_n \leq 50$	9,00	4,5
$50 < I_n \leq 63$	13,00	6,0
über 63	keine Angaben	

- 1) für Bemessungsstrom 6 A
- 2) für Bemessungsstrom 10 A
- 3) für Bemessungsstrom 13 A
- 4) für Bemessungsstrom 16 A
- 5) für Bemessungsstrom 20 A
- 6) für Bemessungsstrom 25 A

Die Werte für LS-Schalter nach DIN VDE 0641 Teil 11 [7] sind den Katalogwerten eines Produzenten in Tafel 1 gegenübergestellt. Auf Herstellerangaben ist zurückzugreifen, wo in Normen Angaben fehlen. Verlustleistungen von ausgewählten FI-Schutzeinrichtungen eines Herstellers enthält Tafel 2.

Wichtig ist, die Verlustleistungen von Leitungen im Verteiler nicht zu vernachlässigen. Ihr Anteil ist in der Regel recht bedeutsam. Für 1 m lange Kupferleiter unterschiedlichen Querschnitts bei ausgewählten Umgebungstemperaturen und unterschiedlicher Strombelastung sind die Werte in Tafel 3 zusammengestellt.

Angaben über Verlustleistungen von Betriebsmitteln, deren Verluste vom Quadrat des Belastungsstroms abhängig sind, gelten im Regelfall für Belastung mit dem Bemessungsstrom. Beachtet werden muss, dass einige Betriebsmittel davon nicht betroffen sind und ihre Verlustleistung sich deshalb nicht verändert (Halteleistungen von Spulen, z. B. von Schützen usw.).

Es empfiehlt sich, Angaben über Verlustleistungen zusammenzufassen und auf dem neuesten Stand zu halten. Sie sind sowohl für detaillierte Wärmebilanzen als auch für Vereinfachungen eine entscheidende Grundlage.

3 Einhaltung der Grenzübertemperaturen bei gleichzeitiger Nutzung aller Verbraucher

Die Stromkreise eines Verteilers mit den angeschlossenen Verbrauchern dauernd und gleichzeitig zu betreiben, tritt häufiger auf als zunächst vermutet werden kann. Dauerbelastung ist eine gleichbleibende Belastung, bei der sich nach Ablauf einer Erwärmungszeit ein Beharrungszustand einstellt, in dem sich die zu- und abgeführten Wärmemengen im Gleichgewicht befinden. Die Temperatur erreicht dabei ihren oberen Grenzwert und bleibt auf gleichem Niveau. Als Beispiele sind Anlagen zum Aufladen von Speicherheizungen und zur Beleuchtung in Räumen zu nennen, die auch während des Tages dauernd eingeschaltet bleiben müssen.

Mit fest vorgegebener Belastung ist nur dort zu rechnen, wo Verbraucher fest abgeschlossen sind. Hier wird vorausgesetzt, dass die Forderung in der Anmerkung 5 im Abschnitt 5.2 in DIN VDE 0100 Teil 430 erfüllt ist. Danach wird ein Aufbau der Anlage gefordert, der eine Überlast von längerer Dauer ausschließt [8].

Überlast von kürzerer Dauer, die beim Erreichen oder Überschreiten des großen Prüfstroms I_2 der Überstromschutzeinrichtung abgeschaltet wird, kann nur zu einer kurzzeitigen Überlastung führen und die Grenztemperatur nicht wesentlich beeinflussen.

Tafel 2 Verlustleistungen von FI-Schutzeinrichtungen (Auswahl)

Pohlzahl	I_n [A]	$I_{\Delta n}$ [mA]	Baubreite [mm]	Typ ¹⁾ NPMI ...	Verlustleistung ¹⁾ P_B [W]
2	25	30	35	25.030.2.1	3
		300		25.300.2.1	2
	40	30		40.030.2.1	7,5
		300		40.300.2.1	5
	63	30		63.030.2	5,1
		300		63.300.2	5,9
4	25	30	52,5	25.030.4.31	4,5
		300		25.300.4.31	3,5
	40	30		40.030.4.31	8
		300		40.300.4.31	9
	63	30		63.030.4	17,3
		300		63.300.4	17,3
	500	63.500.4	13,9		

¹⁾ Angaben der Firma Schupa.

Tafel 3 Verlustleistungen von 1 m langen Kupferleitern bei ausgewählten Umgebungstemperaturen (Grundlage [4])

Querschnitt [mm ²]	Betriebsstrom I_b [A]	Verlustleistung P_b [W/m] bei Umgebungstemperatur	
		35 °C	40 °C
1,5	16	3,73	3,8
	16	2,21	2,26
2,5	20	3,46	3,53
	25	5,4	5,51
4	25	3,36	3,42
	32	5,5	5,6
6	32	3,66	3,73
	40	5,7	5,82
	50	8,9	8,93
10	50	5,19	5,29
	63	8,25	8,4
16	63	5,43	5,54
	80	8,76	8,93

Tafel 4 Betriebsströme und Anteile der Verlustleistungen in Stromkreisen in Abhängigkeit vom Verhältnis des Betriebs- zum Bemessungsstrom

Verhältnis I_b/I_n	Betriebsstrom I_b [A] in Stromkreisen mit dem Bemessungsstrom I_n [A]						Verlustleistungsanteil ¹⁾ (P_b/P_n) ²
	16	20	25	32	40	50	
1	16	20	25	32	40	50	1
0,9	14,4	18	22,5	28,8	36	45	0,8
0,8	12,8	16	20	25,6	32	40	0,65
0,7	11,2	14	17,5	22,4	28	35	0,5
0,6	9,6	12	15	19,2	24	30	0,35
0,5	8	10	12,5	16	20	25	0,25
0,4	6,4	8	10	12,8	16	20	0,15
0,3	4,8	6	7,5	9,6	12	15	0,10

¹⁾ Werte gerundet.

3.1 Vereinfachtes Rechenverfahren

Die Anschlussleistung eines Stromkreises ist mit der Anzahl und Leistung der Verbraucher vorgegeben. Sie ist fast immer kleiner als die Bemessungsleistung. Dementsprechend reduziert sich auch der Betriebsstrom.

Einfluss des Belastungsstroms. Beim Ermitteln der Wärmeverluste ist die Überlegung hilfreich, dass die Höhe der Verlustleistung vom Quadrat des Belastungsstroms abhängig ist. In einem zu 70 % ausgelasteten Stromkreis oder Verbraucher können nur ca. 50 % und bei 50 % iger Auslastung nur 25 % der bei Vollbelastung entstehenden Wärmeverluste auftreten, wenn es sich um Betriebsmittel mit belastungsabhängigen Verlustleistungen handelt. Bei anderen Belastungen ergeben sich dementsprechend andere Werte. Ist die auf den Bemessungsstrom bezogene Verlustleistung eines Betriebsmittels oder Stromkreises bekannt, dann lässt sich der beim Betriebsstrom I_b entstehende Wert durch Multiplikation mit dem Faktor $(I_b/I_n)^2$ errechnen. In einer Übersicht wurden den Faktoren von 0,3 bis 1,0 die entsprechenden Betriebsströme in Stromkreisen von 16 A bis 50 A und die Verlustleistungsanteile $(I_b/I_n)^2$ zugeordnet (Tafel 4).

Verlustleistungsermittlung. Zur Ermittlung der im Verteiler entstehenden Verlustleistungen lassen sich aus Tafel 4 die bei einem Betriebsstrom I_b in einem Strom-

kreis entstehenden Wärmeverluste als anteilige Werte entnehmen. Da nicht für jeden Betriebsstrom ein Verlustleistungsanteil ausgewiesen ist, muss bei abweichender Stromstärke jeweils entschieden werden, ob der nächstliegende größere oder kleinere Betriebsstrom als Ausgangsgröße dienen kann. Bei Stromkreisen mit gleichem Bemessungsstrom werden die Anteile addiert und anschließend auf den tatsächlichen Wert umgerechnet. Damit entfällt die in [1] dargestellte mühevoll Kleinarbeit zur Ermittlung der absoluten Beträge der Verlustleistungen in jedem einzelnen Stromkreis, so dass sich die Berechnung bei ausreichender Genauigkeit vereinfacht.

Für Stromkreise mit unterschiedlichem Bemessungsstrom sind die Verlustleistungen in gleicher Weise, aber gesondert zu ermitteln. Die Gesamtwärmeverluste in allen Stromkreisen ergeben sich aus der Gesamtaddition.

Datensammlung. Auch bei diesem vereinfachten Verfahren muss allerdings die bei maximaler Belastung auftretende Verlustleistung bekannt sein. Einmal ermittelt, können diese Werte beliebig oft verwendet werden. Deshalb empfiehlt sich eine tabellarische Zusammenfassung (Tafel 5). Auf Stromkreise mit LS-Schaltern 10 A wurde verzichtet, weil ihr Einsatz auch in Beleuchtungsanlagen in der Praxis kaum erfolgt. Beim Einbau zusätzlicher Betriebsmittel,

z. B. Stromstoßschalter oder Schütze, sind die Angaben zu ergänzen, wobei sich die Verlustleistung dann erhöht.

Die Datensammlung in Tafel 5 ist nur ein Beispiel. Bei anderer Bestückung, z. B. mit Sicherungen, anderen Leitungslängen, Einbau von Relais oder Schaltern, ergeben sich selbstverständlich Veränderungen.

■ Berechnungsbeispiel

Die im Bild 2 dargestellten Stromkreise sind in einem 3-reihigen Kleinverteiler nach [5] für Wandaufbau unterzubringen, der im Nebenraum montiert werden soll. Die Raumtemperatur beträgt +15 °C. Ist der gewählte Verteiler geeignet?

1. Ermittlung der Verlustleistung im Verteiler

Drehstromkreise 20 A:

Aus Spalte 6 in Tafel 5 wird die Verlustleistung $P_b = 6,6$ (4,8) W pro LS-Schalter entnommen. Statt der Belastung der Stromkreise mit 12,5 A wird mit 12 A gerechnet, so dass gemäß Tafel 4 ein Verlustleistungsanteil von $0,35 \times P_{bmax}$ pro LS-Schalter ergibt. Für sechs LS-Schalter ergibt sich die Verlustleistung

$$P_b = 6 \times 0,35 \times 6,6 \text{ (4,8) W}$$

$$P_b = 13,86 \text{ (9,66) W.}$$

Analog wird in den anderen Stromkreisen verfahren.

Drehstromkreis 16 A:

Aus Tafel 5 wird $P_b = 4,9$ (3,5) W pro LS-Schalter entnommen. Statt der Belastung der Stromkreise mit 10 A wird mit 9,6 A gerechnet, so dass sich gemäß Tafel 4 ein Verlustleistungsanteil von $0,35 \times P_b$ pro LS-Schalter ergibt. Die Verlustleistung für sechs Einheiten beträgt

$$P_b = 6 \times 0,35 \times 4,9 \text{ (3,5) W}$$

$$P_b = 10,29 \text{ (7,35) W.}$$

Wechselstromkreise 16 A:

Aus Tafel 5 wird die Verlustleistung $P_b = 8,1$ (6,7) W pro LS-Schalter entnommen. Bei der Belastung mit 8 A ergibt sich ein Verlustleistungsanteil von $0,25 \times P_b$ pro Einheit. Für zwei Pole errechnet sich die Verlustleistung zu

$$P_b = 2 \times 0,25 \times 8,1 \text{ (6,7) W}$$

$$P_b = 4,05 \text{ (3,35) W.}$$

FI-Schutzeinrichtung:

Aus Tafel 2 wird für einen 2-poligen FI-Schutzschalter 25/0,03 A die Verlustleistung $P_b = 3$ W entnommen.

$$\text{Belastung } 2 \times 8 \text{ A} = 16 \text{ A}$$

Aus Tafel 4 ergibt sich bei 15 A ein Verlustanteil von $0,35 \times P_{bmax}$. Die Verlustleistung beträgt dann $0,35 \times 3$ W gleich 1 W.

Die Gesamtverlustleistung ergibt sich durch Addition zu 29,2 (21,78) W.

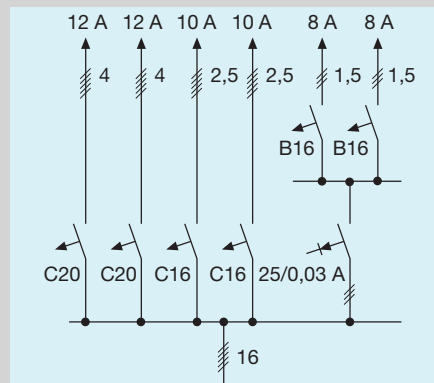
2. Vergleich der Gesamtverlustleistung mit der zulässigen Verlustleistung im Verteiler

Die Umgebungstemperatur eines FI-Schutzschalters ist mit +40 °C festgelegt. Dieser

Tafel 5 Maximale Verlustleistung pro Pol von Stromkreisen mit LS-Schalter und Kupferleitungen von 0,6 m Länge

Stromkreis	Betriebsmittel LS-Schalter [A]	Leitung [mm ²]	LS-Schalter ¹⁾	Verlustleistung pro Strompfad P_b [W]		
				Leitung (bei Umgebungstemperatur 40 °C)	genau ²⁾	Gesamt für den Überschlag
Drehstrom	16	2,5	3,5 (23,1)	1,36	4,9 (3,5)	5,0
	20		4,5 (2,7)	2,12	6,6 (4,8)	6,5
	25		4,5 (3,1)	3,31	7,9 (6,4)	8,0
	25	4	4,5 (3,1)	2,06	6,6 (5,2)	6,5
	32	4	6,0 (4,5)	3,36	9,4 (7,9)	9,5
	40	6	7,5 (4,2)	3,49	11,0 (7,7)	11,0
Wechselstrom	16	1,5	3,5 (2,1)	4,56 ³⁾	8,1 (6,7)	8,0
	16	2,5	3,5 (2,1)	2,71 ³⁾	6,2 (4,8)	6,0
	20	2,5	4,5 (2,7)	4,23 ³⁾	8,7 (6,9)	8,5
	25	4	4,5 (3,1)	4,10 ³⁾	8,6 (7,2)	8,5

¹⁾ Werte in Klammern: Herstellerangaben Fa. Schupa; ²⁾ Werte in Klammern: Mit Werten Fa. Schupa; ³⁾ Hin- und Rückleitung = 1,2 m.



2 Kleinverteiler für Wandaufbau mit Bestückung gemäß Berechnungsbeispiel 1:
– Gleichzeitigkeitsfaktor $g = 1$
– Übertemperatur $\Delta T = 25$ K

Wert wird deshalb der Bestimmung der Grenztemperatur im Verteiler zugrunde gelegt. Da die Umgebungstemperatur im Raum mit +15 °C vorgegeben ist, wird von einer Temperaturdifferenz von 25 K ausgegangen. Gemäß Vorgabe (Tafel 6) ist bei einer Übertemperatur $\Delta T = 25$ K in einem 3-reihigen Verteiler eine Verlustleistung $P_{zul} = 22$ W gestattet. Legt man die in [7] angegebene Verlustleistungen von LS-Schaltern zugrunde, ergibt sich bei $P_{bges} = 29,2$ W eine Übertemperatur > 30 K und damit eine Temperaturerhöhung auf etwa +45 °C. Bei Vorgaben mit den kleineren Herstellerwerten ist bei einer Temperatur von +40 °C in einem 3-reihigen Verteiler kaum noch eine Reserve vorhanden. Bei diesem Grenzfall sollte man sich besser für einen 4-reihigen Verteiler mit $P_{zul} = 27$ W entscheiden. Die Differenz von etwa 5 W kann ggf. Nachinstallationen ermöglichen. Außerdem ist zu bedenken, dass die Verlustleistungen in der Zuleitung, an Klemmen usw. nicht berücksichtigt wurden.

3.2 Berechnung mit Überschlagswerten

3.2.1 Klassische Methode

Die Werte in den Übersichten (Tafeln 4 und 5) lassen sich auch zu überschläglichen Ermittlungen nutzen. Die maximalen

Tafel 6 Zulässige Verlustleistungen in Kleinverteilern für Wandaufbau nach DIN 43 871 [5]

Größe	Zulässige Verlustleistung P_{zul} für Wandaufbauten bei Übertemperatur ΔT				
	10 K [W]	15 K [W]	20 K [W]	25 K [W]	30 K [W]
1-reihig	5,5	9,0	12,5	16,5	21,0
2-reihig	6,5	11,0	15,0	20,0	25,0
3-reihig	7,0	12,0	17,0	22,0	28,0
4-reihig	8,5	14,5	20,5	27,0	34,0

Tafel 7 Anzahl der bei Teilbelastung an Stelle eines voll belasteten Stromkreises/-pfades in einem Verteiler zulässigen Stromkreise/-pfade (Bedingung: Gleiche Betriebsmittel und Bemessungströme)

Belastung I_b/I_n [%]	Anzahl der Stromkreise bzw. Strompfade
100	1
90	1,2
80	1,5
70	2
60	3
50	4
40	6
30	11
25	16

Verlustleistungen pro LS-Schalter von Stromkreisen sind auf volle oder halbe Werte gerundet und in der letzten Spalte der Tafel 5 gesondert aufgeführt. Bei der Berechnung der beim Betriebsstrom entstehenden Verlustleistungen in den Stromkreisen wird ebenfalls mit gerundeten Werten gearbeitet.

Für das Berechnungsbeispiel ergibt sich folgende Überschlagsrechnung:

- Drehstromkreise 20 A:
 $P_b = 6 \times 6,5 \text{ W/LS } 20 \times 0,35 = 39 \text{ W} \times 0,35$
 $P_b = 13,65 \approx 14 \text{ W}$
- Drehstromkreise 16 A:
 $P_b = 6 \times 5,0 \text{ W/LS } 16 \times 0,35$
 $P_b = 30 \times 0,35 = 10,5 \text{ W}$

- Wechselstromkreise 16 A:
 $P_b = 2 \times 8,0 \text{ W/LS } 16 \times 0,25$
 $P_b = 16 \times 0,25 = 4 \text{ W}$
- FI-Schutzeinrichtung:
 $P_b = 1 \times 3 \text{ W/} \times 0,35 = 1 \text{ W}$
Gesamtverlustleistung 29,5 W

3.2.2 Verlustleistungsermittlung durch Vergleich mit der zulässigen Bestückung
 Mit einem etwas anderen Herangehen lässt sich der Aufwand für Vergleiche noch weiter verringern, was den Forderungen der Praxis sehr entgegenkommt. Wenn die zulässigen Verlustleistungen im Verteiler (Tafel 6) und die maximale Verlustleistung der Stromkreise (Tafel 5) bekannt sind, kann die zulässige Zahl der voll belasteten Stromkreise oder -pfade berechnet werden. Wieviel teilbelastete an Stelle eines voll belasteten Strompfades eingesetzt werden können, ist der Gegenüberstellung zu entnehmen (Tafel 7). Wer genauer rechnen will, muss mit Zwischenwerten arbeiten, die dann zu interpolieren sind. Für das Berechnungsbeispiel ergibt sich folgende Lösung:

- Drehstromkreise 20 A:
 Die sechs mit 12 A belasteten Strompfade sind zu jeweils 60 % ausgelastet. An Stelle eines voll belasteten sind drei teilbelastete

einsetzbar (Tafel 7). Die sechs teilbelasteten entsprechen zwei voll belasteten Strompfaden. Mit je 6,5 W pro LS 20 (Tafel 5) ergeben sich insgesamt 13 W.

- Drehstromkreise 16 A:
 10 A entsprechen einer 60 %igen Auslastung, so dass wiederum drei teilbelastete einem voll belasteten Strompfad entsprechen. Die sechs teilbelasteten sind zwei voll belasteten Strompfaden gleichzusetzen (Tafel 7) mit je 5 W pro LS 16 (Tafel 5), insgesamt 10 W.
- Wechselstromkreise 16 A:
 Die zwei Strompfade sind mit je 8 A zu 50 % belastet. Vier teilbelastete entsprechen einem voll belasteten Strompfad (Tafel 7). Die zwei teilbelasteten Strompfade sind einem halben voll belasteten Strompfad mit 8 W (Tafel 5) gleichzusetzen, insgesamt 4 W.
- FI-Schutzeinrichtung:
 Mit 16 A ist sie zu 60 % belastet, was einem Verlustanteil von 0,35 entspricht (Spalte 8 in Tafel 4).
 Mit $P_b = 3 \text{ W}$ (Tafel 2) ergibt sich eine Verlustleistung von etwa 1 W.
 Daraus errechnet sich die Gesamtverlustleistung $P_{bges} = 28 \text{ W}$.
 Die Rechnung führt zum gleichen Ergebnis. Der bereits erwähnte 4-reihige Vertei-

ler ist bei $\Delta T = 25 \text{ K}$ und $P_{zul} = 27 \text{ W}$ für den Einsatz geeignet.

Literatur

- [1] Senkbeil, H.: Erwärmung von Installationsverteilern. Elektropraktiker, Berlin 53(1999)1, S. 30-34.
- [2] DIN VDE 0660 Teil 504:1992-04 Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen; Besondere Anforderungen an Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen, zu deren Bedienung Laien Zutritt haben.
- [3] DIN 43870 Teil 1:1991-02 Zählerplätze.
- [4] DIN VDE 0660 Teil 500:1994-04 Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen; Typgeprüfte und partiell typgeprüfte Kombinationen.
- [5] DIN 43871:1992-11 Installationskleinverteiler für Einbaugeräte bis 63 A.
- [6] DIN VDE 0660 Teil 507:1997-11 Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen; Verfahren zur Ermittlung der Erwärmung von partiell typgeprüften Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen (PTSK) durch Extrapolation.
- [7] DIN VDE 0641 Teil 11:1992-08 Leitungsschutzschalter für den Haushalt und ähnliche Anwendungen.
- [8] DIN VDE 0100 Teil 430:1991-11 –; Schutzmaßnahmen; Schutz von Kabeln und Leitungen bei Überstrom.
- [9] DIN VDE 0100-300:1996-01 Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V; Bestimmungen allgemeiner Merkmale.
- [10] DIN 18 015-1:1992-03 Elektrische Anlagen in Wohngebäuden; Planungsgrundlagen.
- [11] DIN 18 015-2:1996-08 –; Teil 2: Art und Umfang der Mindestausstattung. ■