

WHITEPAPER

**GEGENÜBERSTELLUNG DES
KUPFERQUERSCHNITTES UND
DER ÜBERTRAGUNGSVERLUSTE
FÜR KABEL UND LEITUNGEN
IN AC- UND DC-SYSTEMEN**

GEGENÜBERSTELLUNG DES KUPFERQUERSCHNITTES UND DER ÜBERTRAGungsverluste FÜR KABEL UND LEITUNGEN IN AC- UND DC-SYSTEMEN



INHALT

1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Berechnungen zum Kupfereinsatz und Energieeffizienz bei AC- und DC-Kabeln bei gleichem Leistungsumsatz
4. Berechnungsbeispiele für Industrienetze

1. EINLEITUNG

Eines der Kernziele der Europäischen Union ist es, eine nachhaltige und effiziente Energiewirtschaft zu etablieren. Besonders in Industrieanlagen entfallen etwa 70 % des Strombedarfs auf elektrisch angetriebene Systeme¹. Da sich für solche Fälle ein hohes Einsparpotential an elektrischer Energie ergibt, existiert bereits seit 2011 eine Mindestanforderung an die Energieeffizienz von Elektromotoren seitens der Europäischen Union. Mit den Wirkungsgradklassen für Motoren wurden bisher normativ und gesetzlich nur die elektromechanischen Komponenten und deren Beitrag zur Energieeffizienz von Maschinen und Anlagen betrachtet.

Die Verbesserung der Energieeffizienz wird seit 2017 durch die Normenreihe IEC 61800-9 unterstützt. Darin werden energetische Analysen und Verlustwertbetrachtungen über den gesamten Stell- und Lastbereich des gesamten elektrischen Antriebssystems bei der Versorgung aus einem AC-Netz vorgenommen.

Weitere Steigerungen zur Energieeffizienz lassen sich bei der Versorgung von drehzahlgeregelten Antrieben und Motoren in einem DC-Netz realisieren². Diese Betrachtungen sind nicht Bestandteil der IEC 61800-9, jedoch bilden sie den Schwerpunkt des vorliegenden Dokumentes. Als Grundlage dient die Versorgung eines drehzahlgeregelten Motors (Frequenz f_{var}) aus einem AC-Netz mit B6-Brückengleichrichter, Zwischenkreis und Wechselrichter (Fall 1) und einem DC-Netz mit Zwischenkreis und Wechselrichter (Fall 2). Dies ist in Abbildung 1 dargestellt.

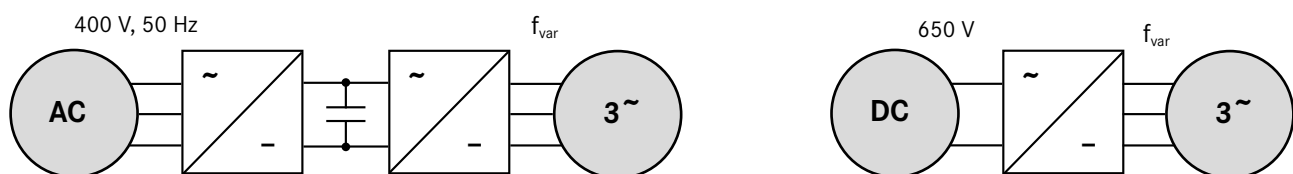


Abbildung 1: Darstellung der Versorgung eines drehzahlgeregelten Motors aus einem AC-Netz (links, Fall 1) und DC-Netz (rechts, Fall 2)

¹ T. Kuhlmann, E. Fosselmann et. Al.: „Nutzen von industriellen DC-Netzen“, World Sustainable Energy Days, 28.02.-3.03.2023, Wels/Austria

² ZVEI & Konsortium DC Industrie 2: Systemkonzept DC Industrie 2, online verfügbar unter: <https://dc-industrie.zvei.org/publikationen/systemkonzept-fuer-dc-industrie-2>; letzter Zugriff am 24.02.2023

Nachfolgend wird gezeigt, wie durch die DC-Versorgung eine Reduzierung des Kupferquerschnitts sowie geringere Verluste bei der Energieübertragung / -verteilung realisiert werden können. Dem Leistungsfaktor kommt eine wesentliche Bedeutung zu, der im AC-System erheblich von der Art und Verwendung von Netzfiltern oder -drosseln abhängig ist. Der Leistungsfaktor λ berücksichtigt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung bei 50 Hz sowie Verzerrungen durch Oberschwingungen.

Das vorliegende Dokument geht zunächst auf relevante Grundlagen für die späteren Betrachtungen ein:

- **Art der Erzeugung der DC-Spannung**
- **Maßnahmen zur Reduzierung der Oberschwingungen:**
Netzdrosseln und -filter
- **Leistungsfaktor und Leistungsberechnung**

2. GRUNDLAGEN

2.1 Erzeugung der DC-Spannung

Zentraler Einspeisegleichrichter und Netzspannung im DC-System

Im industriellen Umfeld weit verbreitet sind geregelte Einspeisungen mit AIC (Active Infeed Inverter, d. h. Einspeiser mit Filtertechnik). Diese AC/DC-Wandler können nur eine DC-Spannung erzeugen, die oberhalb der gleichgerichteten AC-Spannung (= Scheitelwert der verketteten AC-Spannung) liegt. Sinkt die DC-Spannung unter diesem Wert, verliert der AIC seine Steuerbarkeit.

Beim Anschluss an ein Drehstromsystem mit 400 V können DC-Spannungen in einem Spannungsband von 600–750 V erzeugt werden. Die Grenzen dieses Spannungsbandes sind abhängig von der Versorgertopologie und dem versorgenden AC-Netz. Dieses Band ermöglicht die Lastflusssteuerung der Leistungsquellen (insbesondere in Netzinstallationen mit mehr als einer Einspeisung) über eine kennlinienbasierte Regelung. Als Nennspannung wird ein Wert von 650 V festgelegt und für die nachfolgenden Berechnungen verwendet. Diese Annahmen stammen aus dem Projekt DC Industrie 2³.

³ ZVEI & Konsortium DC Industrie 2: Systemkonzept DC Industrie 2, online verfügbar unter: <https://dc-industrie.zvei.org/publikationen/systemkonzept-fuer-dc-industrie-2>; letzter Zugriff am 24.02.2023

Ungesteuerte Versorgungsgeräte (z. B. B6-Brückengleichrichter)

Aufgrund eines guten Wirkungsgrades und geringeren Kosten sind die meisten industriellen Frequenzumrichter ungesteuerte Gleichrichter. Sie erzeugen eine DC-Spannung, die dem Gleichrichtwert entspricht und üblicherweise bei Nennlast $1,35 \cdot U_{AC}$ beträgt.

Beispielsweise besteht die Ansteuerung von drehzahlgeregelten Motoren aus dem AC-Netz aus einem Gleichrichter, Zwischenkreis und Wechselrichter (s. Abbildung 1, links, Fall 1). Für die Gleichrichter werden häufig Dreiphasengleichrichter in Form von Brückenschaltungen und einer Pulszahl von sechs verwendet. Die Pulszahl gibt an, wie viele Gleichrichterzweige innerhalb einer Periode leitend werden. Aus den Differenzen der momentanen positiven und negativen Außenleiterspannungen ergibt sich eine pulsierende Gleichspannung. Im Gegensatz zu AIC entstehen bei ungesteuerten Versorgungsgeräten Oberschwingungen im vorgelagerten AC-Netz, die zu einer Verzerrung des Wechselstromes führen. Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Signalverläufe für einen sinusförmigen (unverzerrten) Wechselstrom ($\lambda = 1$) und eine typische verzerrte Stromform mit einem Leistungsfaktor von $\lambda = 0,63$.

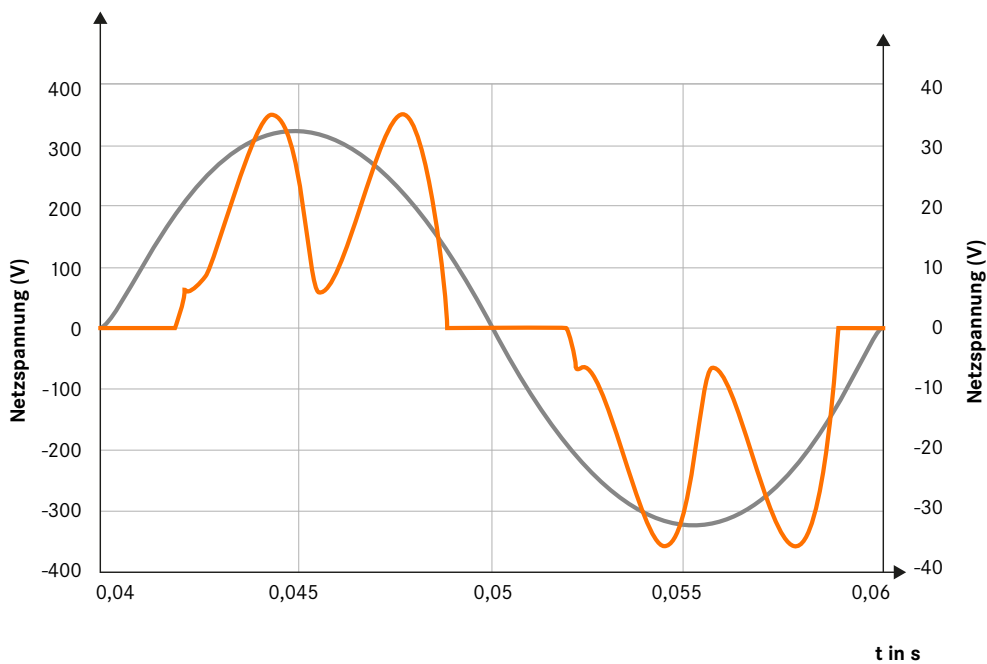


Abbildung 2: Sinusförmiger und verzerrter Wechselstrom im vorgelagerten AC-Netz
(grau: $\lambda = 1$, orange: $\lambda = 0,63$)

2.2 Maßnahmen zur Reduzierung der Oberschwingungen

Oberschwingungen führen nicht nur zu größeren Leiterquerschnitten von Kabeln und Leitungen (siehe Absatz 3.3), sondern verursachen auch zusätzliche Verluste und belasten die Eingangsschaltungen (besonders die Kondensatoren). Zudem können sie zu einer schnelleren Alterung sowie zu frühzeitigen Ausfällen von Komponenten führen.⁴

Durch die Verwendung von:

- **Netzdrosseln**
- **Aktiven oder passiven Netzfiltern**

werden Oberschwingungen im Strom des vorgelagerten AC-Netz reduziert und der Netzstrom hin zu einer sinusförmigen Form geglättet.

Netzdrosseln sind niederohmige Spulen und werden im AC-System in Serie zwischen Einspeisung und Verbraucher oder in Reihe am Eingang eines Frequenzumrichters installiert. Durch sie können Ströme mit unterschiedlichen Frequenzen gedämpft werden.

Außerdem können aktive oder passive Filter eingesetzt werden, die sich zwischen den einzelnen Phasen und Erde zwischen der AC-Einspeisung und dem Verbraucher befinden (siehe Abbildung 3). Durch die Filter werden die Stromanteile mit vielfachen Frequenzanteilen von größer als 50 Hz durch Gegenstromanteile reduziert bzw. kompensiert.

Der Anteil der Oberschwingungen wird aber auch durch die Größe des Zwischenkreiskondensators beeinflusst. Frequenzumrichter mit großer Kapazität und kleineren Netzdrosseln verursachen laut IEC 61800-9-2 eine spitzförmige Wellenform des Eingangsstroms und einen schlechteren Leistungsfaktor. Kleinere Kapazitäten im Zwischenkreis verursachen einen blockförmigen Strom. Insgesamt kann ein hoher Anteil an Induktivität durch die Verwendung von Netzdrosseln den Strom glätten und einen (optimierten) Leistungsfaktor von etwa 0,9 im vorgelagerten AC-Netz hervorrufen. Ohne Netzdrosseln oder weitere Maßnahmen beträgt dieser Faktor etwa 0,6. Dieser Wertebereich gilt als Grundlage für die weiteren Betrachtungen.

⁴ T. Kuhlmann, E. Fosselmann et. Al.: „Nutzen von industriellen DC-Netzen“, World Sustainable Energy Days, 28.02.-3.03.2023, Wels/Austria

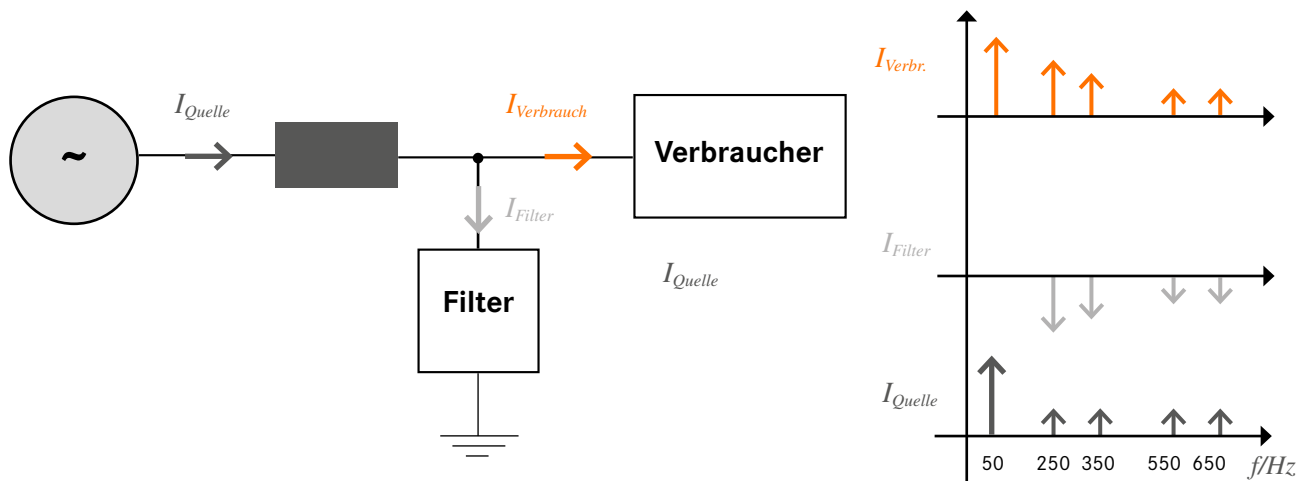


Abbildung 3: Anordnung und Funktion eines Netzfilters im AC-Netz zur Reduzierung von Oberschwingungen⁵

3. BERECHNUNGEN ZUM KUPFEREINSATZ UND ENERGIEEFFIZIENZ BEI AC- UND DC-KABELN BEI GLEICHEM LEISTUNGSUMSATZ

3.1 Vorgehensweise

Der Vergleich des kompletten Materialeinsatzes für die Innenleiter von AC- und DC-Kabeln erfolgt auf Grundlage der Bemessung des Leitungsquerschnittes in Abhängigkeit der Betriebsstromstärke nach DIN VDE 0298-4 (Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen) und unter Berücksichtigung der Verlegeart B2 (mehradriges Kabel oder mehradrige ummantelte Installationsleitung in einem Elektroinstallationsrohr auf einer Wand). Andere Auslegungen hinsichtlich Spannungsfall und Kurzschlussstrom werden hier nicht berücksichtigt.

In Niederspannungs-Drehstromsystemen werden für den Anschluss von Motoren oder Antrieben hauptsächlich 4-adrige AC-Kabel verwendet. Grundsätzlich sind in der Niederspannung aber auch Netztopologien mit fünf Leitern (3 Phasen-, 1 Neutral- und 1 Schutzleiter) zu unterscheiden. Unabhängig davon gibt es drei stromführende Leiter.

In Niederspannungs-DC-Systemen werden hauptsächlich Netztopologien mit zwei stromführenden Phasen (L+ und L-) und einem Neutralleiter N aufgebaut. In Abhängigkeit von der Erdung kann ein weiterer Mittelpunktleiter mitgeführt werden. Grundsätzlich gibt es einen stromführenden Leiter weniger als im Drehstromsystem.

⁵ IHKS Fachjournal: Oberschwingungen, Kapitel 5: Filtertechniken für Oberschwingungen, URL: <https://www.ihks-fachjournal.de/kapitel-5-6-themen-um-oberschwingungen-und-netzqualitaet-in-stromversorgungsnetzen/>, Aufruf am 6.03.2023

Im ersten Schritt werden die Ströme im AC- und DC-Netz in Abhängigkeit vom Leistungsfaktor berechnet und ein Verhältnis abgeleitet (siehe Abschnitt 3.2). Durch den jeweiligen berechneten Strom kann der zugehörige Querschnitt aus DIN VDE 0298-4 abgelesen werden. Dabei ist die Anzahl der stromführenden Leiter (AC: 3, DC: 2) zu berücksichtigen.

Anschließend werden die Ströme im AC- und DC-Netz in Abhängigkeit vom Leistungsfaktor berechnet und ein Verhältnis der Ströme zwischen DC und AC abgeleitet (siehe Absatz 3.2). Auf Grundlage dieser Ströme wird jeweils ein Querschnitt aus der Norm DIN VDE 0298-4 abgelesen und mit der Anzahl N der jeweiligen Teilleiter zu einem Gesamtquerschnitt multipliziert. Im letzten Schritt wird das Verhältnis beider Gesamtquerschnitte gebildet und ausgewertet⁶.

3.2. Grundlagen zur Berechnung der Stromstärke in AC- und DC-Systemen

Die Berechnung der jeweiligen Betriebsstromstärke (Leiterstrom) erfolgt auf Grundlage der zugehörigen Leistungsgleichung. In AC-Systemen ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob es sich um ein einphasiges Wechsel- oder dreiphasiges Drehstromsystem handelt. Bei den nachfolgenden Betrachtungen für Antriebe in industriellen Netzen wird von einem Drehstromsystem ausgegangen, für das gilt:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{AC} \cdot I_L \cdot \eta \cdot \lambda \quad (3-1)$$

Die Umstellung nach dem Leiterstrom liefert den Ausdruck:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{AC} \cdot \eta \cdot \lambda} \quad (3-2)$$

Für sinusförmige (harmonische) Größen gilt: $\lambda = \cos \varphi$

$$\text{Für nicht-sinusförmige Größen gilt: } \lambda = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (3-3)$$



LEGENDE

P	- Wirkleistung [W]
U_{AC}	- Nennspannung (Leiter-Leiter-Spannung) im AC-System [V]
I_L	- Leiterstrom [A]
η	- Wirkungsgrad [-]
$\lambda = \frac{P}{S}$	- Leistungsfaktor [-]



LEGENDE

$\cos \varphi$	- Wirkfaktor (des Leistungsfaktors) [-]
THD	- Total harmonic distortion (Verzerrungsfaktor) [-]

⁶ U.I. Lapp GmbH: „Berechnung und Auswahl des Querschnittes für Kabel und Leitungen in AC- und DC-Systemen“, White Paper, April 2023

Da in DC-Systemen keine Blindleistung übertragen wird oder messbare Verzerrungen bei Strom und Spannung auftreten, kann der Leistungsfaktor zu $\lambda \sim 1$ gesetzt werden.

Für die Leistungsgleichung gilt:

$$P = U_{DC} \cdot I_L \cdot \eta \quad (3-4)$$

Die Umstellung nach dem Leiterstrom ergibt:

$$I_L = \frac{P}{U_{DC} \cdot \eta} \quad (3-5)$$



LEGENDE

- P - Leistung [W]
- U_{DC} - Nennspannung DC-System [V]
- I_L - Leiterstrom [A]
- η - Wirkungsgrad [-]

3.3. Berechnung und Vergleich des Kupfereinsatzes

Bei den nachfolgenden Betrachtungen wird ein 400-V-Drehstromsystem (AC) mit einem 650-V-System (DC) bei gleichem Leistungsumsatz verglichen. Ausgehend von den in Absatz 3.2 dargestellten Formeln zur Berechnung der Stromstärke wird das Verhältnis I_{DC}/I_{AC} gebildet und die jeweilige Betriebsspannung eingesetzt:

$$\frac{I_{DC}}{I_{AC}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{AC} \cdot \lambda_{AC}}{U_{DC}} \quad (3-6)$$

Für einen Leistungsfaktor $\lambda_1 = 0,63$ ergibt sich ein Verhältnis von $\frac{I_{DC}}{I_{AC}} = 0,67$, für $\lambda_2 = 0,9$ ein Verhältnis von $0,95$.

In den nachfolgenden Betrachtungen werden die aus der DIN VDE 0298 hinterlegten Ströme für Systeme mit zwei und drei stromführenden Leitern für gleiche oder unterschiedliche Querschnitte so lange gegenübergestellt, bis die oben berechneten Verhältnisse näherungsweise erreicht und nicht unterschritten werden. Zur Veranschaulichung dient Tabelle 1 (für λ_1). Das Ergebnis zeigt, dass das Verhältnis der Ströme I_{DC}/I_{AC} für einen Querschnitt mit 2,5 mm² im AC-System und 1,5 mm² im DC-System den oben berechneten Verhältnissen am nächsten kommt und dieses nicht unterschreitet.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Leiterquerschnitte für AC- und DC-Systeme

A in mm ²	I in A für 2 belastete Adern (= DC)	I in A für 3 belastete Adern (= AC)	I_{DC}/I_{AC}
1,5 mm ²	16,5 A	15 A	1,1
2,5 mm ²		20 A	0,83
4 mm ²		27 A	0,61

Diese Vorgehensweise wird für die übrigen Querschnitte bis 300 mm² fortgesetzt. Abbildung 4 zeigt, wie sich die Querschnitte für AC und DC unterscheiden. Dabei wird der AC-Querschnitt als Referenz dargestellt. Auf der y-Achse wird der Unterschied zum DC-Querschnitt als ganze Zahl dargestellt. Beispielsweise bedeutet ein Unterschied von -1, dass für DC der nächstkleinere Querschnitt verwendet werden kann.

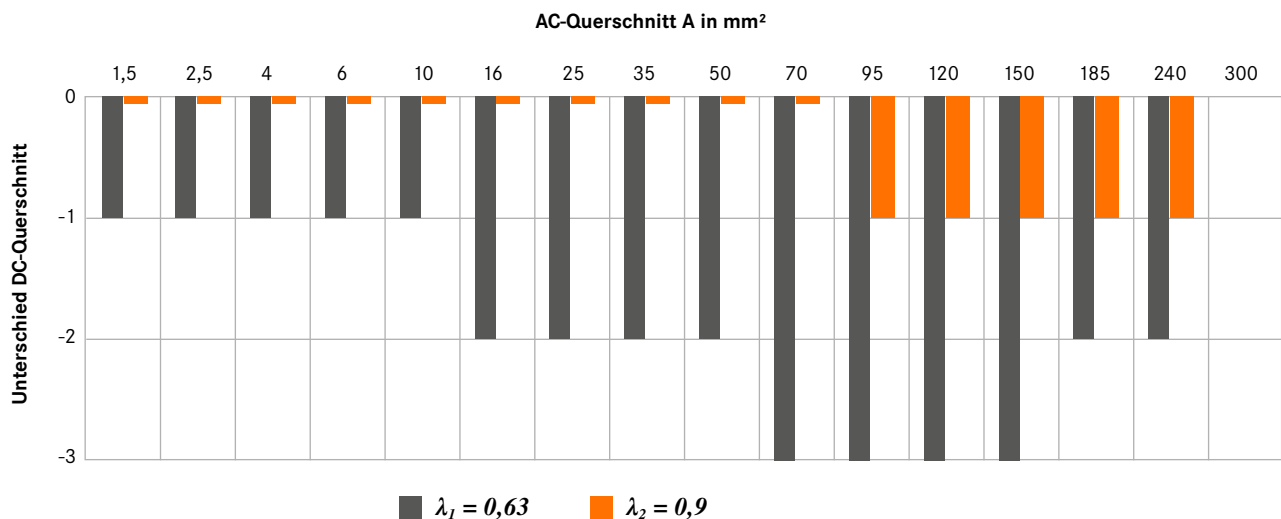


Abbildung 4: Unterschiede der Leiterquerschnitte für AC- und DC-Systeme

Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Einfluss des Leistungsfaktors auf das Verhältnis der Querschnitte zwischen AC und DC. Jedoch können auch durch die Verlegeart weitere Unterschiede auftreten, sodass dieses Beispiel nur exemplarisch zu betrachten ist.

Im Folgenden wird die Kupfereinsparung dargestellt. Dafür wird der Gesamtquerschnitt für AC- und DC-Systeme mit unterschiedlicher Leiteranzahl berechnet und gegenübergestellt. Bei AC werden Systeme mit vier und fünf Leitern gegenüber DC-Systemen mit drei und vier unterschieden (siehe **Abb. 3** und **4**).

Grundsätzlich ergibt sich die hier betrachtete und für viele DC-Systeme typische Kupfereinsparung aus einem kleineren Leiterstrom, der auf eine höhere DC-Spannung (siehe Absatz 2.1) und den Wegfall von Blindleistung im DC-System zurückzuführen ist. Die Ergebnisse zeigen, dass sich für einen hohen Leistungsfaktor von $\lambda = 0,9$ eine geringere Kupfereinsparung gegenüber einem schlechteren Leistungsfaktor (bedingt durch einen größeren Querschnitt) ergibt. Zudem spielt die Anzahl der Adern beim Vergleich eine entscheidende Rolle. Die höchste Einsparung wird beim Vergleich eines DC-Kabels mit drei Leitern gegenüber einem AC-Kabel mit fünf Leitern für Querschnitte bis 70 mm² erzielt, wenn das AC-System stark überschwingungsbelastet ist (niedriger Leistungsfaktor). Im Gegensatz dazu gibt es kein Einsparpotential für gleichadrig AC- und DC-Kabel für Querschnitte bis 70 mm², wenn das AC-Netz nahezu überschwingungsfrei ist (hoher Leistungsfaktor).

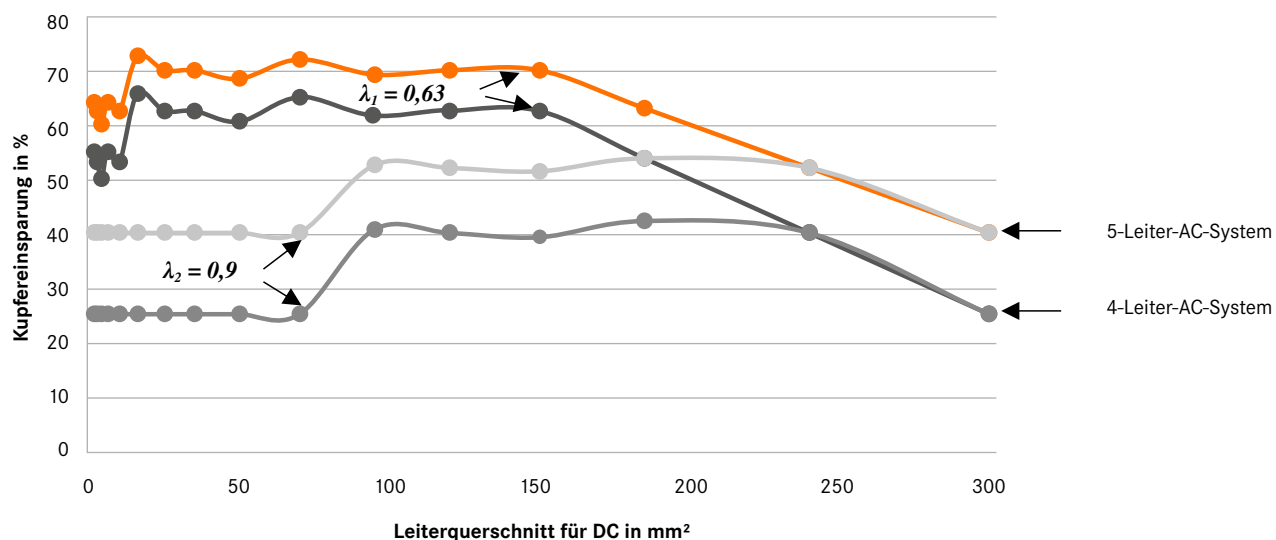


Abbildung 3: Vergleich eines 3-Leiter-DC-Systems mit 4- und 5-Leiter-AC-System

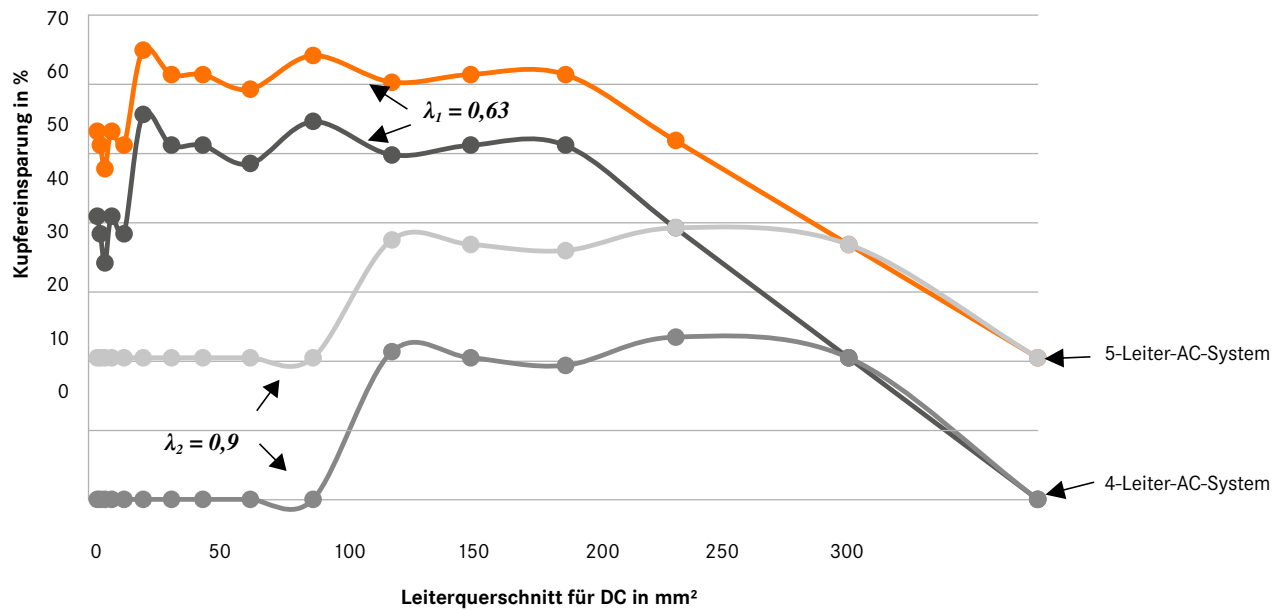


Abbildung 4: Vergleich eines 4-Leiter-DC-Systems mit 4- und 5-Leiter-AC-System

3.5. Berechnung und Vergleich der Übertragungsverluste

Während ein DC-System durch die höhere Spannung die technischen Voraussetzungen für einen kleineren Leiterquerschnitt im Vergleich zum AC-System bietet, ist für die Reduzierung der Übertragungsverluste eher ein größerer Leiterquerschnitt A vorteilhaft. Die Berechnungen in diesem Kapitel zeigen Gegenüberstellungen der Übertragungsverluste (als Verlustleistung P_V in W) im AC- und DC-System. Diese lassen sich mit Hilfe der Anzahl N der stromführenden Leiter ($N = 2$ für DC, $N = 3$ für AC), dem Leiterwiderstand R und dem Leiterstrom I wie folgt berechnen:

$$P_V = N \cdot R \cdot I^2 \quad (3-7)$$

Häufig ist es üblich, die Verlustleistung in Bezug auf die Länge l darzustellen. Mit der Berechnungsvorschrift für den Leiterwiderstand

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (3-8)$$

ergibt sich:

$$P'_V = \frac{P_V}{l} = N \cdot \frac{\rho}{A} \cdot I^2 \quad (3-9)$$



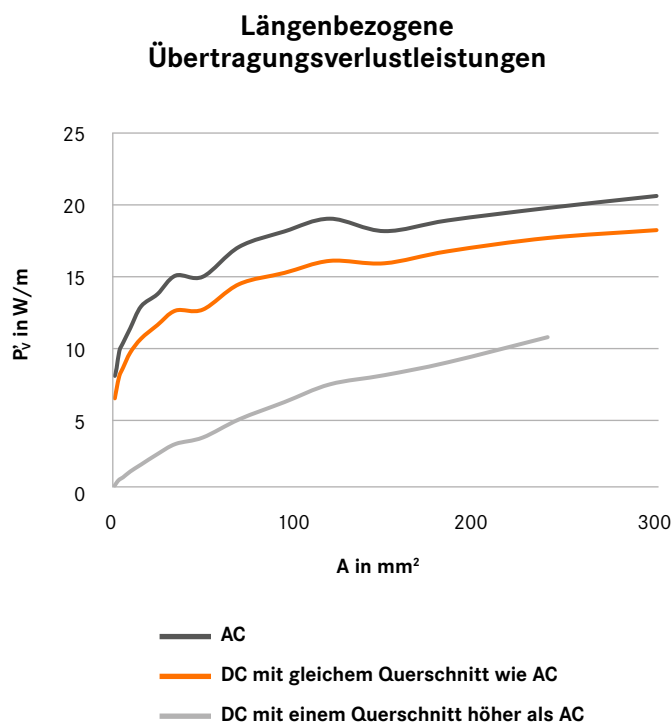
LEGENDE

- P_V - Verlustleistung [W]
- P'_V - längenbezogene Verlustleistung [W/m]
- I - Leiterstrom [A]
- ρ - spezifischer elektrischer Widerstand (von Kupfer) [$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$]
- N - Anzahl der stromführenden Leiter
- A - Leiterquerschnitt [mm^2]
- l - Übertragungslänge [m]

Dabei ist ρ der spezifische elektrische Widerstand von Kupfer und wird für die Berechnungen mit $0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ angesetzt.

Ausgehend von den in Abbildung 5 angegebenen Querschnitten und Strömen werden die längenbezogenen Übertragungsverlustleistungen P_V in W/m für gleiche und unterschiedliche Querschnitte für AC und DC berechnet und dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich je nach Querschnitt die längenbezogenen Übertragungsverlustleistungen durch ein DC-Kabel mit zwei stromführenden Leitern gegenüber einem AC-Kabel mit drei stromführenden Leitern um zwölf bis 20 % reduzieren. Eine weitere signifikante Herabsetzung von über 50 % der Übertragungsverluste ergibt sich, wenn im DC-System für den gleichen Strom der nächstgrößere Leiterquerschnitt gewählt wird. Dieser Aspekt steht zwar im Widerspruch zu der Kupfereinsparung und den damit verbundenen Materialkosten in Absatz 3.3. In Hinblick auf die Energieeffizienz von technischen Systemen und den stetig ansteigenden Energiekosten gewinnt dieser Aspekt aber zunehmend an Bedeutung.



A in mm ²	DC: I in A	AC: I in A
1,5	17,5	15,5
2,5	24	21
4	32	28
6	41	36
10	57	50
16	76	68
25	101	89
35	125	110
50	151	134
70	192	171
95	232	207
120	269	239
150	300	262
185	341	296
240	400	346
300	458	394

Abbildung 5: Längenbezogene Übertragungsverlustleistungen für AC- und DC-Kabel (links) und aus DIN VDE 0298-4 zugrunde gelegte Ströme (rechts)

4. BERECHNUNGSBEISPIELE FÜR INDUSTRIENETZE

In diesem Kapitel wird exemplarisch gezeigt, wie die Auslegung der Leiterquerschnitte für die Versorgung eines Motors mit fester Drehzahl aus dem Drehstromsystem (Fall 1) sowie eines drehzahlgeregelten Motors aus dem Drehstromsystem über Umrichter (B6-Gleichrichter ohne Netzdrossel, Zwischenkreis und Wechselrichter) (Fall 2) sowie aus dem Gleichstromsystem mit Zwischenkreis und Wechselrichter (Fall 3) vorzunehmen ist (siehe Abbildung 6). Als Umgebungstemperatur wird 30 °C angenommen. Die betrachteten Zuleitungen betragen jeweils 5 m.

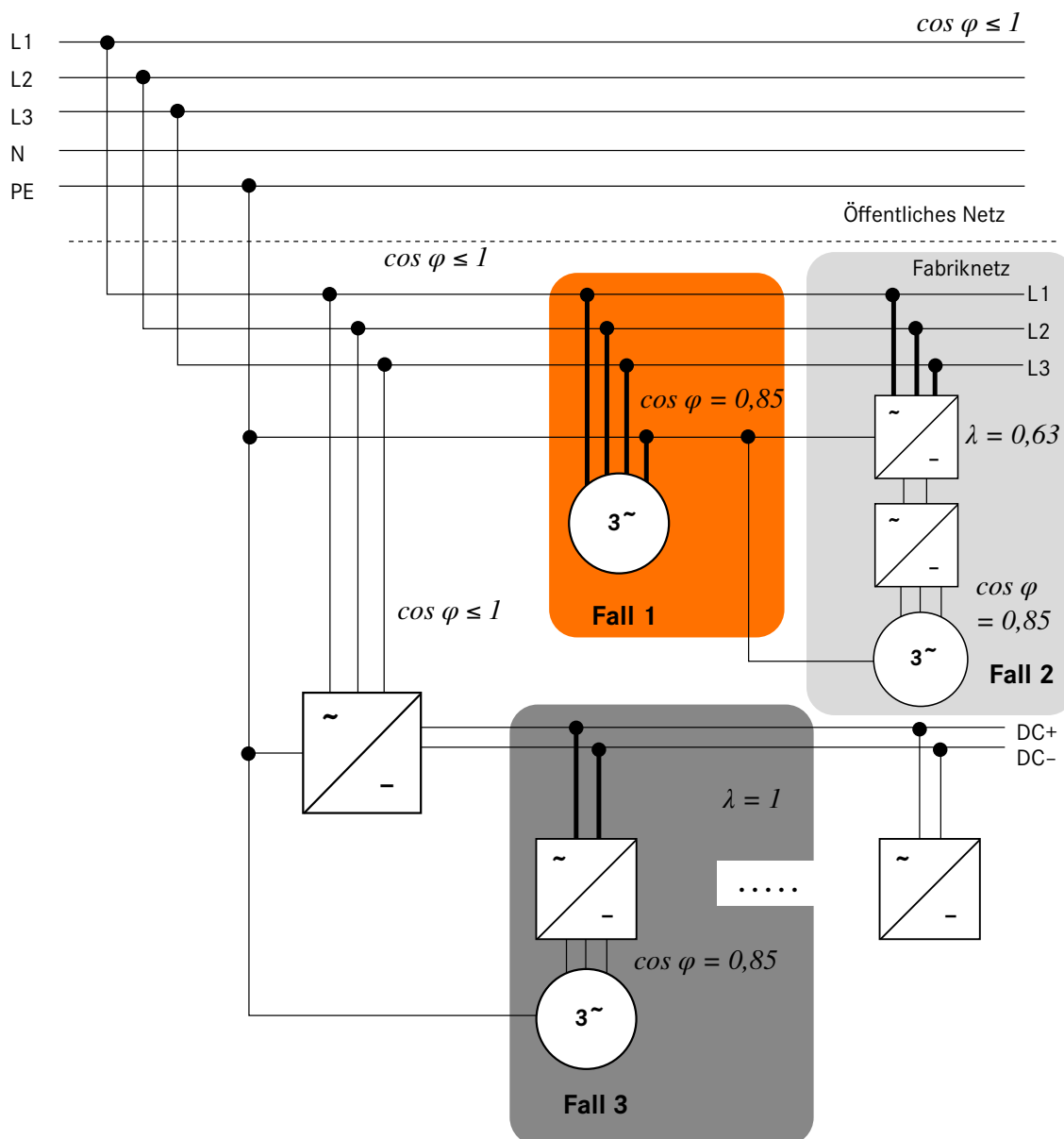


Abbildung 6: Versorgung eines Motors mit fester Drehzahl aus dem Drehstromsystem (Fall 1) sowie eines drehzahlgeregelten Motors aus dem Drehstromsystem (Fall 2) und Gleichstromsystem (Fall 3)

Gegebene Größen des Motors: $P_{\text{Motor}} = 7,5 \text{ kW}$, $\cos \varphi = 0,85$, $\eta = 0,887$

Gegebene Größen des Frequenzumrichters (B6-Brückengleichrichter): $\eta = 0,97$

Fall 1: Motor im Drehstromsystem ohne Frequenzumrichter (Leistung in Motorzuleitung)

Annahme: keine Verzerrungen, sodass $\lambda = \cos \varphi = 0,85$

$$P_{Motor} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_L \cdot \eta \cdot \lambda$$

$$I_L = \frac{P_{Motor}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \lambda} = \frac{7500 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,887 \cdot 0,85} = 14,35 \text{ A}$$

Fall 2: Leistung an AC-Zuleitung des Frequenzumrichters für drehzahlgeregelten Motor

Fall 2.1

Annahme: $\lambda = 0,63$ (B6-Gleichrichter ohne Netzdrossel)

$$I_L = \frac{P_{Motor}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \lambda} = \frac{7500 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,887 \cdot 0,97 \cdot 0,63} = 20,31 \text{ A}$$

Fall 2.2

Annahme: $\lambda = 0,9$ (B6-Gleichrichter mit Netzdrossel)

$$I_L = \frac{P_{Motor}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \lambda} = \frac{7500 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,887 \cdot 0,97 \cdot 0,9} = 14 \text{ A}$$

Fall 3: Leistung an DC-Zuleitung des Frequenzumrichters für drehzahlgeregelten Motor

Annahmen: $\lambda = 1$, $U = 650 \text{ V}$

$$I_L = \frac{P_{Motor}}{U_n \cdot \eta} = \frac{7500 \text{ W}}{650 \text{ V} \cdot 0,887 \cdot 0,97} = 14,25 \text{ A}$$

Tabelle 4: Auswahl der Leiterquerschnitte für unterschiedliche Arten der Versorgung eines Motors

	Fall 1	Fall 2.1	Fall 2.2	Fall 3
Leiterstrom I_L	14,35 A	20,31 A	14 A	14,25 A
Leitungsquerschnitt nach DIN VDE 0298-4	1,5 mm ²	2,5 mm ²	1,5 mm ²	1,5 mm ²

Annahme: Verlegeart B1 – Verlegung in Installationsrohren

Die Bemessung des Leitungsquerschnittes nach dem auftretenden Spannungsfall wird hier aufgrund der kurzen Anschlusslänge vernachlässigt. Analog zu den vorherigen Betrachtungen zeigt die exemplarische Gegenüberstellung, dass ein ober-schwingungsbehaftetes AC-Netz einen größeren Leitungsquerschnitt erfordert.

Folgen Sie LAPP auf:



Unsere AGBs finden Sie unter
www.lapp.com/de/de/e/000010

U.I. Lapp GmbH

Schulze-Delitzsch-Straße 25 · 70565 Stuttgart
Tel.: 0711 7838-01 · Fax: 0711 7838-2640
www.lapp.com · info.de.uil@lapp.com

