

WHITEPAPER

WIE GRÖßERE LEITERQUERSCHNITTE
KOSTEN UND CO₂-EMISSIONEN SENKEN

WIE GRÖßERE LEITERQUERSCHNITTE KOSTEN UND CO₂-EMISSIONEN SENKEN



INHALT

1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Berechnungsbeispiele
4. Ausblick

1 EINLEITUNG

Corporate Carbon Footprint (CCF), Product Carbon Footprint (PCF), Life Cycle Assessment (LCA), Digitaler Produktpass, Digital Twin und allgemein das Thema CO₂-Reduktion werden neben den technischen Produkteigenschaften zunehmend diskutiert und von Industrieunternehmen wie LAPP gefordert bzw. dort angefragt. Für Kabel und Leitungen ist die Wahl des Querschnitts eine relevante technische Größe bei der Produktauswahl. Der jeweilige Kupferanteil beeinflusst direkt die CO₂-Emissionen.

Stand heute werden die CO₂-Emissionen bei der Auslegung des Kabels nicht berücksichtigt. Vorrangiges Auslegungskriterium ist der elektrische Widerstand und die zulässige Erwärmung des Materials. Das vorliegende Whitepaper untersucht die Fragestellung, ob sich der zu wählende Leiterquerschnitt ändert, wenn nicht nur die technischen Eigenschaften herangezogen werden, sondern auch die CO₂-Emissionen und Total-Cost-of-Ownership (TCO) über den Lebenszyklus berücksichtigt werden.

Hintergrund der Fragestellung ist die Annahme, dass der Querschnitt sowohl die CO₂-Emissionen als auch die TCO direkt beeinflusst. Die Korrelationen sind in Tabelle 1 dargestellt. Ein größerer Querschnitt hat die Nachteile, dass initial ein höherer PCF sowie ein höherer Einkaufspreis anfallen. Allerdings verursacht ein höherer Querschnitt geringere Energieverluste, sodass sowohl Emissions- als auch Energiekosteneinsparungen erzielt werden können.

Größerer Querschnitt	CO ₂ -Emissionen	Kosten
Nachteile	Initial höherer PCF	Initial höherer Einkaufspreis
Vorteile	Geringere Verluste → Einsparung von Emissionen	Geringere Verluste → weniger Energiekosten

Tabelle 1: Nachteile und Vorteile eines größeren Leiterquerschnittes

Dieses Whitepaper beantwortet folgende Aufgabenstellung:

1. Wie muss der Leitungsquerschnitt dimensioniert sein, um über den gesamten Produktlebenszyklus die geringsten CO₂-Emissionen zu erzielen?
2. Wann rentiert sich die Wahl eines größeren Querschnitts?

1 Kabel und Leitungen werden nachfolgend synonym verwendet.

2 GRUNDLAGEN

Bei der anwendungsgerechten Dimensionierung von Leitungslängen und Querschnitten sind verschiedene Normen zu beachten. Die DIN VDE 0298-4¹ beschreibt beispielsweise maximale Strombelastbarkeiten von Kabeln und Leitungen in Abhängigkeit von der Verlegeart. Zusätzlich gibt das VDE 0100-520 Beiblatt 2² maximale Leitungslängen zur Einhaltung des zulässigen Spannungsfalls vor. Des Weiteren sind die Anforderungen der installierten Sicherung zu berücksichtigen. Primäre Absicht dieser Normen ist es, eine unzulässige Erwärmung der Leitung zu vermeiden. Eine Anleitung zur anwendungsgerechten Auswahl des Querschnitts findet sich im LAPP Whitepaper „Berechnung und Auswahl des Querschnittes für Kabel und Leitungen in AC- und DC-Systemen“³.

Eine darüberhinausgehende Betrachtung der energetischen Effizienz wird bei den genannten Normen Stand heute nicht berücksichtigt. Viele Kunden versuchen den minimal möglichen Querschnitt zu bestimmen, um die Anschaffungskosten so gering wie möglich zu halten. Die DIN VDE 0100-801⁴ gibt einen Hinweis darauf, dass eine differenzierte Betrachtung bei der Dimensionierung notwendig sein könnte:

„Bei manchen Anwendungen (insbesondere im industriellen Bereich) können die wirtschaftlichsten Querschnitte um einiges größer sein als die aus thermischen Gründen erforderlichen.“

In dieser Norm wird auf IEC 60287-3-2: Wirtschaftliche Optimierung der Leiterquerschnitte⁵ verwiesen, in der eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsrechnung erfolgt. Der Einfluss des Leitungsquerschnittes auf die Energiebilanz des Kabels und damit auf die Ökobilanz wird jedoch nicht erläutert. Lediglich im DIN Fachbericht CLC/TR 62125⁶ werden allgemeine Hinweise darauf gegeben, welche Einflussfaktoren bei Kabel und Leitungen auf die Ökobilanz existieren. Detaillierte Vorgehensweisen und Berechnungsformeln werden nicht definiert.

1 Quelle: DIN VDE 0298-4:2023-06 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen: Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen, DIN VDE 0298-4, DIN VDE, Berlin, Jun. 2023.

2 Quelle: DIN VDE 0298-4:2023-06 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen: Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen, DIN VDE 0298-4, DIN VDE, Berlin, Jun. 2023.

3 U.I. Lapp GmbH, „Berechnung und Auswahl des Querschnittes für Kabel und Leitungen in AC- und DC-Systemen“, Stuttgart, Jul. 2023.

4 Quelle: DIN VDE 0100-801:2020-10 Errichten von Niederspannungsanlagen: Teil 8-1: Funktionale Aspekte – Energieeffizienz, DIN VDE 0100-801, DIN VDE, Berlin, Okt. 2020.

5 Quelle: IEC 60287-3-2:2012 Electric cables - Calculation of the current rating: Part 3-2: Sections on operating conditions - Economic optimization of power cable size, IEC 60287-3-2, IEC, Genf, Jul. 2012.

6 Quelle: DIN-Fachbericht CLC/TR 62125:2009-07 Umwelterklärung für TC 20: Kabel und iso-lierte Leitungen, IEC/TR 62125, DIN, Berlin, Jul. 2009.

In diesem Dokument werden zwei Kenngrößen zur Beurteilung des ausgewählten Leiterquerschnittes in Hinblick auf Kosten und Ökobilanz herangezogen:

1. **TCO:** Kosten, die durch die Beschaffung, die Nutzung und die Entsorgung eines Produktes entstehen⁷
2. **CO₂-Emissionen:** Summe der CO₂-Emissionen, die durch den CO₂-Fußabdruck des Kupferanteils und durch Verluste während des Betriebs entstehen

2.1 ANNAHMEN ZUR BERECHNUNG

1. **Betrachtung des Produktlebenszyklus bis zum Einsatzende, ohne Entsorgung und Recycling**

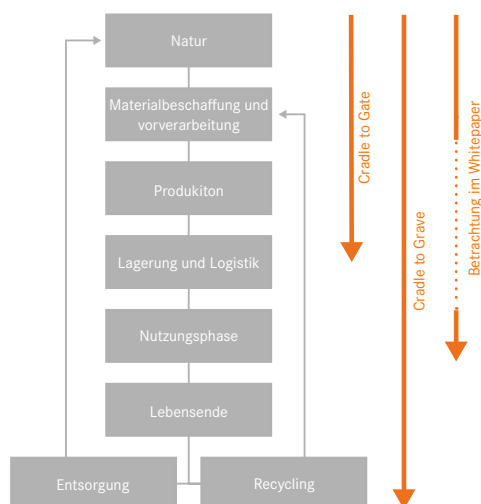


Abbildung 1: LCA mit verschiedenen Betrachtungszeiträumen (vgl. ⁸)

Gemäß des Greenhouse Gas Protocol (GHP) wird üblicherweise zwischen der Betrachtung Cradle to Gate und Cradle to Grave unterschieden⁸, wie in Abbildung 1 dargestellt. Cradle to Gate berücksichtigt alle CO₂-Emissionen, die von der Gewinnung der Rohstoffe bis zum Verlassen des Werkstores entstehen. Cradle to Grave hingegen schließt zusätzlich die Emissionen während der Nutzungsphase und dem abschließenden Recycling bzw. der Entsorgung mit ein. In diesem Whitepaper wird eine Bilanzierung durchgeführt bzw. ein Bilanzierungsrahmen gewählt, der zwischen diesen beiden Ansätzen liegt. Die Entsorgung bzw. das Recycling und die Produktion sowie Logistik der Kabel wird nicht berücksichtigt.

Aus diesem Grund wird im Nachfolgenden nicht vom PCF gesprochen. Der PCF ist gemäß DIN EN ISO 14067 definiert als Summe der emittierten und entzogenen Treibhausgasemengen in einem Produktsystem⁹ und damit analog zu der Cradle to Grave Betrachtung des GHP.

⁷ Quelle: B. Flashar, „Qualitätskosten und Total Cost of Ownership (TCO),“ in Qualität neu denken: Innovative, virtuelle und agile Ansätze entlang der Wertschöpfungskette, M. Helmold, T. Laub, B. Flashar, J. Fritz und T. Dathe, Hg., 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler, 2023, S. 29–37.

⁸ Quelle: P. Bhatia, C. Cummis, A. Brown, L. Draucker, D. Rich und H. Lahd, Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Washington, Genf: WRI; WBCSD, 2011.

⁹ Quelle: DIN EN ISO 14067:2019-02 Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung, DIN EN ISO 14067, DIN EN ISO, Berlin, Feb. 2019.

2. Isolationsmaterial wird nicht berücksichtigt

Da der Einfluss des Kunststoffes auf die Gesamtbilanz zu vernachlässigen ist, werden die CO₂-Emissionen des Isolations- und Mantelmaterial nicht einbezogen. Der Einfluss des Isolations- und Mantelmaterials sowie deren prozentualer Anteil werden im Ausblick in Kapitel 4 aufgezeigt.

3. Konstantes Lastprofil und symmetrische Last (bei dreiphasigem Anschluss)

Informationen zur Bestimmung von un stetigen sowie unsymmetrischen Lastprofilen finden sich bei Fassbinder¹⁰.

4. Mehradrige Leitungen mit zwei oder drei belasteten Adern

Da Energieversorgungsleitungen zumeist zwei oder drei belastete Adern haben, beschränkt sich die Berechnung auf diese Fälle.

5. Konstante Temperatur des Leiters von 20 °C und seiner Umgebung

Auf den Einfluss der Temperatur wird im Ausblick in Kapitel 4 eingegangen.

Auf Grundlage dieser fünf Annahmen können die TCO und die CO₂-Emissionen in Abhängigkeit vom Leiterquerschnitt ermittelt werden, wie in Abbildung 2 schematisch dargestellt ist. In den CO₂-Emissionen werden alle Treibhausgasemissionen äquivalent zusammengefasst.

TCO	Rahmenbedingungen	CO ₂ -Emissionen
Anschaffungskosten + Kosten für Verlustleistungen = TCO	Lastprofil über 5 – 30 Jahre	CO ₂ -Emissionen von Kupfer + CO ₂ -Emissionen für Verlustleistung = CO ₂ -Emissionen

Abbildung 2: Methodik zur Bestimmung von TCO und PCF

⁸ Quelle: P. Bhatia, C. Cummis, A. Brown, L. Draucker, D. Rich und H. Lahd, Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Washington, Genf: WRI; WBCSD, 2011.

¹⁰ Quelle: S. Fassbinder, „Mehr Kupfer kostet weniger: Auslegung von Kabel- und Leitungsanlagen nach Lebensdauerkosten,“ ep Elektropraktiker, Jg. 1, 2017.

2.1 VORGEHENSWEISE BEI DER BERECHNUNG

Generell gilt, dass jeder stromdurchflossene Leiter verlustbehaftet ist. Die Größe der Verluste wird maßgeblich durch den gewählten Leiterquerschnitt beeinflusst. Je größer der Querschnitt dimensioniert ist, desto geringer sind die Verluste bei Bestromung der Leitung. Für feindrähtige Kupferleitungen (Leiterklasse 5) im dreiphasigen AC-Netz ergeben sich bei 50 m Leitungslänge die in Abbildung 3 dargestellten Verlustleistungen in Abhängigkeit vom Leiternennquerschnitt. Eine einzelne Kurve der Schar repräsentiert dabei den effektiven Leiterstrom in einem Leiter. Die Maximalwerte entsprechen den vorgegebenen Strombelastbarkeiten gemäß DIN VDE 0298-4¹.

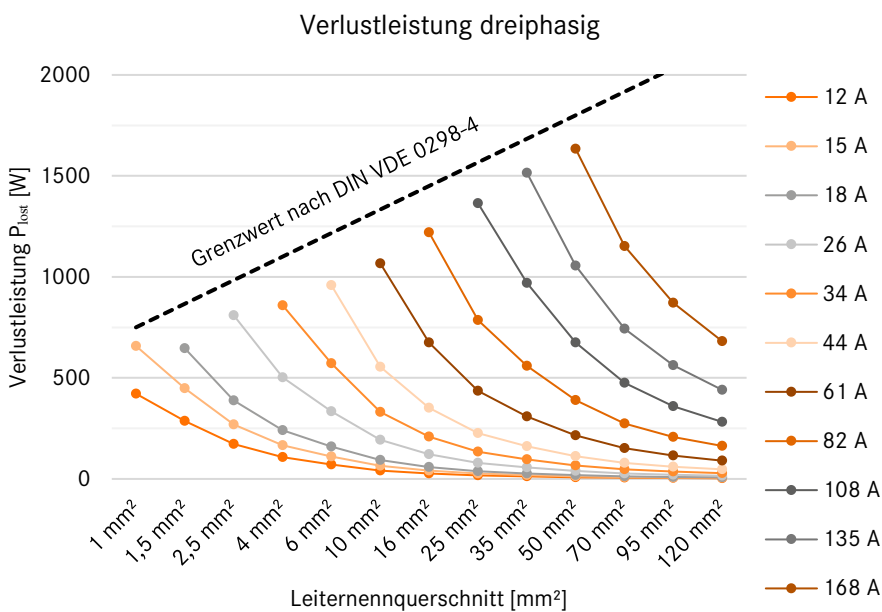


Abbildung 3: Verlustleistung in Abhängigkeit vom Querschnitt

Unabhängig von der Netzform lautet die Berechnung der Verlustleistung der gesamten Leitung der Länge l :

$$P_{lost} = n \cdot R_L \cdot I_L^2 \quad (2-1)$$

Für DC-Netze sowie zweiphasige AC-Netze gilt $n = 2$, da der Hin- und Rückleiter betrachtet werden muss. Bei dreiphasigen AC-Netzen ist $n = 3$ einzusetzen. Der gebräuchliche Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$ gilt hierbei nicht, da die Verlustleistung unabhängig voneinander auf jeder Einzelader abfällt.



LEGENDE

- P_{lost} – Verlustleistung [W]
- n – Anzahl der belasteten Adern
- R_L – max. Leiterwiderstand für
Länge l [Ω]
- I_L – Effektivwert des Leiter
stroms [A]

¹ Quelle: DIN VDE 0298-4:2023-06 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen: Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen, DIN VDE 0298-4, DIN VDE, Berlin, Jun. 2023.

Ebenso ist der Wirkfaktor $\cos\phi$ der Last irrelevant. Der maximal zulässige Leiterwiderstand kann für die jeweilige Leiterart aus DIN EN 60228 (VDE 0295)¹¹ oder Tabelle 11 des LAPP Katalogs entnommen werden und auf die Länge angepasst werden.

Unter Berücksichtigung der Kosten für das Kabel und der Kosten, die sich aus der Verlustleistung ergeben, berechnen sich die TCO zu:

$$TCO = C_{initial} + C_{lost} \quad (2-2)$$

Wobei

$$C_{lost} = C_{energy} \cdot P_{lost} \cdot Y \cdot D \cdot H$$

Analog dazu können die CO₂-Emissionen CO_{2,total} mithilfe des Emissionsfaktors für die initiale Anschaffung der Leitung und des Emissionsfaktors für die fortlaufende Verlustleistung ermittelt werden. Die Emissionsfaktoren berücksichtigen dabei das Erderwärmungspotenzial (Global Warming Potential GWP) aller entstehenden Treibhausgase über einen Zeitraum von 100 Jahren (GWP100) nach dem GWP-Standard⁸.

$$CO_{2,total} = CO_{2,initial} + CO_{2,lost} \quad (2-3)$$

Wobei

$$CO_{2,initial} = m_{Cu} \cdot EF_{Cu}$$

Und

$$CO_{2,lost} = EF_{energy} \cdot P_{lost} \cdot Y \cdot D \cdot H$$

Bei Betrachtung von TCO und CO₂-Emission ergeben sich die in Abbildung 4 dargestellten Abhängigkeiten für eine beispielhafte Leitung und deren Anwendung. Hervorzuheben ist, dass der Nennquerschnitt, der nach gültigen Vorschriften ausgelegt ist, 2,5 mm² beträgt. Jedoch liegt der wirtschaftlichste Querschnitt sowohl aus TCO-Betrachtung als auch aus CO₂-Emissions-Betrachtung um mehrere Querschnittsklassen höher. So wäre der wirtschaftlichste Querschnitt bei diesem Beispiel mit 6 mm² zu wählen, der mit den geringsten CO₂-Emissionen bei 16 mm². Das jeweilige Optimum ist dabei von den Randbedingungen wie Nennstrom, Einsatzdauer und variablen Kosten abhängig.



LEGENDE

$C_{initial}$	– Kabelpreis [€]
C_{lost}	– Verlustkosten [€]
C_{energy}	– Stromkosten [€/kWh]
Y	– Betriebsjahre
D	– Betriebstage pro Jahr
H	– Betriebsstunden pro Tag



LEGENDE

$CO_{2,initial}$	– Emissionen Kupfer [kg CO ₂ e]
$CO_{2,lost}$	– Emissionen Verlustleistung [kg CO ₂ e]
m_{Cu}	– Masseanteil Kupfer für Leiterlänge l [kg]
EF_{Cu}	– Emissionsfaktor Kupfer [$\frac{kg CO_2e}{kg}$]
EF_{energy}	– Emissionsfaktor Strommix [$\frac{kg CO_2e}{kWh}$]

⁸ Quelle: P. Bhatia, C. Cummis, A. Brown, L. Draucker, D. Rich und H. Lahd, Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Washington, Genf: WRI; WBCSD, 2011.

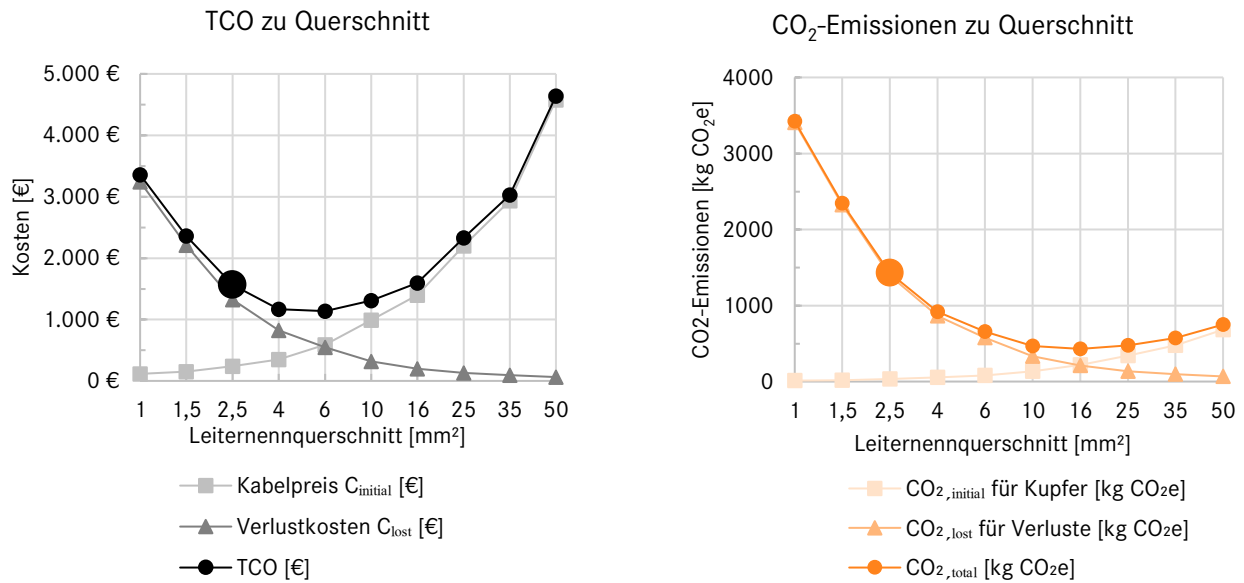


Abbildung 4: TCO und CO₂-Emissionen in Abhängigkeit vom Leiternennquerschnitt

Die hier dargestellte Vorgehensweise zur Auslegung des Leiterquerschnittes ist eine praxisorientierte Handlungsempfehlung. Für die konkrete Planung einer elektrotechnischen Anlage kann LAPP aus versicherungstechnischen und rechtlichen Gründen keine Gewährleistung übernehmen.

3 BERECHNUNGSBEISPIEL

Im Folgenden wird anhand des Beispiels eines Lüftungsgerätes aufgezeigt, welches Einsparpotenzial sowohl finanziell als auch bei den CO₂-Emissionen entsteht, wenn die Leitungsauslegung nicht nur in Hinblick auf die thermische Integrität durchgeführt wird. Als Zuleitung wird eine vieradrige feindrähtige und ungeschirmte Leitung mit PVC als Isolations- und Mantelmaterial verwendet.

Der Betrachtungszeitraum beträgt:

- 10 Jahre, 220 Tage pro Jahr, 16 Stunden pro Tag

Die Gegebenheiten der Anlage sind:

- 11 kW Leistung, 3-phasig AC
- entspricht 16 A effektiver Leiterstrom
- 50 m Leitungslänge

Gemäß DIN VDE 0298-4 wäre der Mindestnennquerschnitt der Leitung zur Einhaltung der Strombelastbarkeit mit 1,5 mm² zu wählen¹. Nach DIN VDE 0100-520 ist für einen Leiterstrom von 16 A bei einem Nennquerschnitt von 1,5 mm² die maximale Leitungslänge auf 34 m limitiert². Um den maximal zulässigen Spannungsfall einzuhalten, ist der Querschnitt um eine Stufe auf 2,5 mm² zu erhöhen².

¹ Quelle: DIN VDE 0298-4:2023-06 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen: Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen, DIN VDE 0298-4, DIN VDE, Berlin, Jun. 2023.

² Quelle: DIN VDE 0298-4:2023-06 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen: Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen, DIN VDE 0298-4, DIN VDE, Berlin, Jun. 2023.

Für die Ermittlung des Spannungsfalls kann das [Online Tool auf der LAPP Website](#) verwendet werden.

Die Verlustleistung für den Nennquerschnitt 2,5 mm² beträgt nach Formel 2-1

$$P_{\text{lost}} = n \cdot R_L \cdot I_L^2 = 3 \cdot 7,98 \, \Omega \cdot 16 \, \text{A}^2 \cdot \frac{50 \, \text{m}}{1000 \, \text{m}} = 306,4 \, \text{W}$$

Bei einem Strompreis von 0,35 €/kWh ergeben sich mithilfe von Formel 2-2 Verlustkosten über den Betrachtungszeitraum von

$$C_{\text{lost}} = C_{\text{energy}} \cdot P_{\text{lost}} \cdot Y \cdot D \cdot H = 0,36 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 306,4 \, \text{W} \cdot 10 \cdot 220 \cdot 16 = 3.775,24 \, \text{€}$$

Zusammen mit den Anschaffungskosten betragen die TCO des Nennquerschnitts 2,5 mm² für 50 m Leitungslänge

$$TCO = C_{\text{initial}} + C_{\text{lost}} = 124,67 \, \text{€} + 3775,24 \, \text{€} = 3.899,91 \, \text{€}$$

Würde die Leitung also lediglich nach dem Aspekt des geringsten Einkaufspreises ausgelegt werden, so wäre durch die Verlustleistung der 30-fache Anschaffungspreis binnen zehn Jahren an den Energieversorger zu entrichten. Die dargestellte Rechnung kann nun für jeden Querschnitt durchgeführt und grafisch dargestellt werden (s. Abbildung 5).

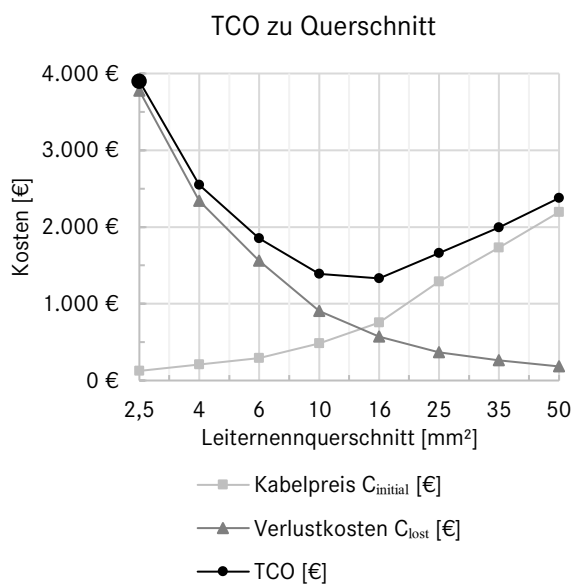


Abbildung 5: TCO der Zuleitung zur Lüftung in Abhängigkeit vom Leiternennquerschnitt

Das Optimum der TCO ergibt sich in diesem Beispiel bei einem Leiternennquerschnitt von 16 mm². Gegenüber der Norm-Auslegung von 2,5 mm² ließen sich für das Beispiel über den betrachteten Zeitraum 66 % bzw. 2571 € sparen – und das trotz des höheren Einkaufspreises der Leitung. Die Investition in den größeren Leiterquerschnitt rentiert sich somit schon nach dem zweiten Jahr.

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen werden folgende Emissionsfaktoren herangezogen:

$$- EF_{energy} = 0,368 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}} - \text{Durchschnitt für Deutschland in 2022}^{12}$$

$$- EF_{Cu} = 3,956 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} - \text{gemäß International Copper Alliance}^{13}$$

Mithilfe der Kupferzahl, der im Datenblatt für 1 km Leitungslänge notiert ist, kann der Wert der CO₂-Emissionen für das Kupfergewicht einer Zuleitung mit 2,5 mm² Nennquerschnitt bei 50 m Länge ermittelt werden:

$$CO_{2,initial} = m_{Cu} \cdot EF_{Cu} = 4,8 \text{ kg} \cdot 3,965 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 19,0 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Zusätzlich ergeben sich CO₂-Emissionen durch die bereits berechnete Verlustleistung. Diese betragen nach Formel 2-3 bei dem Nennquerschnitt:

$$CO_{2,lost} = EF_{energy} \cdot P_{lost} \cdot Y \cdot D \cdot H =$$

$$0,368 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \cdot 306,4 \text{ W} \cdot 10 \cdot 226 = 3969,4 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Die gesamten CO₂-Emissionen des Betrachtungszeitraums belaufen sich mit Formel 2-3 auf

$$CO_{2,total} = CO_{2,initial} + CO_{2,lost} = 19,0 \text{ kg CO}_2\text{e} + 3969,4 \text{ kg CO}_2\text{e} = 3988,4 \text{ kg CO}_2\text{e}.$$

Analog zu TCO-Betrachtung kann diese Berechnung für jeden Querschnitt durchgeführt werden, woraus sich das Diagramm in Abbildung 6 ergibt.

¹² Quelle: European Environment Agency. "Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe | European Environment Agency's home page." Zugriff am: 10. Juli 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

¹³ Quelle: V. Tuazon, "Copper Environmental Profile: Global 2023," International Copper Association, Washington, 2023.

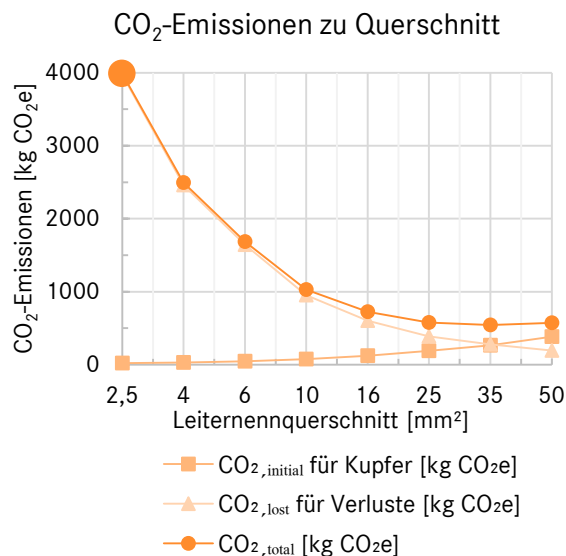


Abbildung 6: CO₂-Emissionen der Zuleitung zur Lüftung in Abhängigkeit vom Leiternennquerschnitt

Das Optimum der Kurve für die CO₂-Emissionen liegt bei einem Nennquerschnitt von 35 mm². Vor allem bei den Querschnitten nahe der Norm-Auslegung werden die CO₂-Emissionen nahezu vollständig durch die Emissionen der Verlustleistung generiert. Mit einer Auslegung ausschließlich aus dieser Sicht ließen sich in dem Beispiel 86 % bzw. 3446 kg CO₂e der CO₂-Emissionen gegenüber der Norm-Auslegung einsparen. Es zeigt sich ebenfalls, dass das Optimum von TCO und CO₂-Emissionen bei verschiedenen Nennquerschnitten liegen kann.

4 AUSBLICK

Zugunsten der einfacheren Berechnung wird in diesem Dokument auf die Berücksichtigung einiger Einflussfaktoren verzichtet. Bei auftretender Verlustleistung auf der Leitung wird diese primär in Wärmeenergie umgesetzt. Sie beeinträchtigt die Leitfähigkeit des Kupfers negativ und erhöht somit die Verluste zusätzlich. Da die Wärmeverteilung innerhalb einer Leitung unter anderem von der Leiteranzahl, dem Isolationsmaterial und dem Querschnitt abhängig ist, ist eine exakte Aussage für jeden Querschnitt nur experimentell oder simulativ zu bestimmen.

Des Weiteren wird der Einfluss des Mantel- und Isolationsmaterial auf die CO₂-Emissionen vernachlässigt. Im aufgezeigten Beispiel der Lüftung wird dadurch ein relativer Fehler von 0,4 % bei Querschnitt nach Norm-Auslegung toleriert. Als Emissionsfaktor für PVC wird der Wert 2,88 kg CO₂e als Berechnungsgrundlage herangezogen¹⁴.

¹⁴ Quelle: G. Bourgault, "ecoinvent 3.10 Dataset Documentation: market for polyvinylchloride, suspension polymerised - GLO - polyvinylchloride, suspension polymerised," ecoinvent Association, Zürich, 2024.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass der Emissionsfaktor von Kupfer in einem Bereich von 1,495 kg CO₂e¹⁵ bis 7,0 kg CO₂e¹⁶ schwanken kann. Da der Einfluss des Kupfers auf die gesamten CO₂-Emissionen jedoch geringfügig gegenüber den Emissionen der Verlustleistung ist, hat ein höherer bzw. niedrigerer Emissionsfaktor für Kupfer keinen Einfluss auf das Optimum.

Die Entscheidung für einen größeren Querschnitt sollte auch unter dem Gesichtspunkt betrachtet werden, dass der finanzielle Mehraufwand bei der Anschaffung durch das Recycling am Lebensende zurückgezahlt wird. Zudem kann Kupfer ohne Qualitätsverlust unbegrenzt recycelt werden¹⁷.

Bei der Wahl des Querschnittes ist neben der Erfüllung der geltenden Normen und unter Einhalten gesetzter Randbedingungen, wie der Praktikabilität hinsichtlich des Bauraums und des Anschlusses, unbedingt das Optimum aus TCO und CO₂-Emissionen zu berücksichtigen.

¹⁵ Quelle: J. Mühlenfeld und D. Cholakova, "Environmental Profile of Aurubis Copper Cathode," Aurubis AG, Hamburg, Dez. 2023.

¹⁶ Quelle: G. Bourgault, "ecoinvent 3.10 Dataset Documentation: market for copper, cathode - GLO - copper, cathode," ecoinvent Association, Zürich, 2024.

¹⁷ Quelle: Deutsches Kupferinstitut, "Recycling von Kupferwerkstoffen," Düsseldorf, Jun. 201

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

