

Einfache Kurzübersicht: Verluste im Unternehmensnetz

Jede Zeile beantwortet dieselbe Frage: Wenn Sie diesen Zustand haben - wie viel Prozent Ihres Jahresverbrauchs kostet Sie das?

STÖRFAKTOR	IHR ZUSTAND	KURZE ANLAGE	WEITLÄUFIGE ANLAGE	RECHENWEG UND BELEG
Grundverlust		2 %	5 %	Verluste in Transformator, Kabeln und Verteilung bei $\cos \varphi$ 1, ohne Verzerrung, symmetrisch. Kabel 1,65 % (EU-Ecodesign-Vorstudie Lot 8, S. 54: Industrie 1 bis 8 %, Modellmittel 2,04 % bei $\cos \varphi$ 0,90, auf $\cos \varphi$ 1 zurückgerechnet). Transformator 0,46 % (Öl, 1.000 kVA, Ökodesign-Stufe 2 nach VO (EU) 548/2014 i. d. F. 2019/1783), im Altbestand rund 0,8 %. Senken ließe er sich nur beim Verlegen: 63 % weniger Kabelverlust kosten 174 % mehr Kupfer (ebd., Tab. 1-9, S. 56).
Schwacher Verschiebungsfaktor	$\cos \varphi$ 0,90	+ 0,5 %	+ 1,2 %	$\cos \varphi$ meint hier den Verschiebungsfaktor der Grundschiwingung. Der Strom steigt mit $1/\cos \varphi$, die Stromwärmeverluste mit $1/\cos^2 \varphi$. Zuschlag = $(1/\cos^2 \varphi - 1) \times$ Grundverlust, bei $\cos \varphi$ 0,70 also + 104 %. Formel: U.S. DOE, Continuous Energy Improvement in Motor Driven Systems (2014), Gl. 9-2, S. 9-11.
	$\cos \varphi$ 0,80	+ 1,1 %	+ 2,8 %	
	$\cos \varphi$ 0,70	+ 2,1 %	+ 5,2 %	
Oberschwingungen	THDi 30 %	+ 0,2 %	+ 0,5 %	Der Effektivstrom steigt auf das $\sqrt{1 + \text{THD}^2}$ -Fache, die Verluste auf das $(1 + \text{THD}^2)$ -Fache. Zuschlag = $\text{THD}^2 \times$ Grundverlust; bei THDi 100 % verdoppeln sie sich - genau das haben Key und Lai 1996 gemessen („more than double“ gegenüber linearer Last). Diese Zeile und die darüber gehören zusammen: Umrichter erzeugen die Verzerrung, haben aber $\cos \varphi \approx 0,96$, direkt betriebene Motoren umgekehrt. Maßgeblich ist $\lambda = \cos \varphi / \sqrt{1 + \text{THD}^2}$, der Verlustfaktor $1/\lambda^2$.
	THDi 50 %	+ 0,5 %	+ 1,3 %	
	THDi 80 %	+ 1,3 %	+ 3,2 %	
Schieflast	2,5 % Spannungsunsymmetrie	+ 1,1 %	+ 1,1 %	Wirkt nicht im Kabel, sondern im Motor: Wirkungsgrad fällt bei Vollast von 94,4 auf 93,0 %, also 1,5 % Mehrverbrauch je betroffenem Motor - an einem einzigen 75-kW-Motor 9.517 kWh im Jahr (U.S. DOE, Motor Systems Tip Sheet #7, DOE/GO-102012-3733, S. 2). Bei halber Last wären es 2,1 %; angesetzt ist der günstigere Wert (ebd., Tab. 1). Motoren sind 72 % des Industriestromverbrauchs (IEA 4E EMSA, Policy Brief #9, 2025, S. 1).
Spannungslage	dauerhaft 90 % der Nennspannung	nicht angesetzt	nicht angesetzt	Ebenfalls im Motor, aber nur bei Vollast: dort Wirkungsgrad 1 bis 2 Punkte niedriger, Motorstrom + 11 %, Übertemperatur + 23 %. Bei drei Vierteln Last ändert er sich praktisch nicht, bei halber Last steigt er um 1 bis 2 Punkte (Bonnett und Boteler 2001, Tab. 2, S. 306). Weil Industriemotoren überwiegend in Teillast laufen, ist die Spannungslage hier mit null angesetzt.
Störimpulse	beliebig häufig	0 %	0 %	Kein messbarer Mehrverbrauch; die Kosten entstehen über Ausfälle, Umrichterabschaltungen und Alterung: im Mittel 19.101 € (2018) und 41.848 € (2019) je Vorfall (Bundesnetzagentur, Bericht zur Spannungsqualität 2020, S. 22, 69 Unternehmen an 101 Standorten).

Gerechnet Beispiel: Verschiebungsfaktor 0,65, 40 % Verzerrung und 2,5 % Schieflast ergeben $\lambda = 0,60$ und damit den Verlustfaktor 2,75 - 8,7 % aus dem Strom plus 1,1 % aus der Schieflast, zusammen rund 10 % Mehrverbrauch. Davon erreicht eine Anlage je nach Aufstellung 7 bis 9 Prozentpunkte; sie wirkt nur stromaufwärts ihrer Einbaustelle. Gemessen in unseren Referenzbetrieben: 9 bis 21 %, im Mittel 12,4 % aus zwölf Belegen. Die Messung liegt höher als die Rechnung, weil Zusatzverluste durch verzerrte Spannung, schlechte Klemmstellen, Teillastbetrieb und Transformatoren aus dem Altbestand in keiner Zeile oben stehen. Zu den Belegen: Monatsvergleiche auf Abrechnungsbasis aus dem Jahr 2016, nicht witterungsbereinigt, teils an der Vorgängerbauart erhoben und nicht von einer unabhängigen Stelle ausgewertet.

Alle Zuschläge sind aus dem Grundverlust gerechnet und stehen wie er in Prozent des Jahresverbrauchs. Verschiebungsfaktor und Oberschwingungen wirken über denselben Effektivstrom - sie addieren sich nicht, sondern multiplizieren sich zum Gesamtleistungsfaktor λ mit dem Verlustfaktor $1/\lambda^2$. Die Schieflast wirkt im Motor statt im Kabel und steht deshalb getrennt. Einen Pauschalwert für jeden Betrieb gibt es nicht: Die Höhe kommt vor dem Angebot aus Ihren Stromdaten und branchenspezifischen Vergleichswerten. Vollständige Herleitung in der Vollfassung „Verluste im Unternehmensnetz“.