

# Wirkungsgradberechnung bei reduzierter Drehzahl

## Energieeffizienz von elektrischen Antrieben mit Drehzahlregelung - die wichtigsten Punkte

■ Drehzahlregelung von elektrischen Antrieben ist bei vorhandenem Regelbedarf in der Regel kosteneffizient. Zum Beispiel bei Pumpen in geschlossenen Kreisläufen und Ventilatoren kann mit Drehzahlregelung, anstelle einer Drosselung im Kreislauf, oft ein grosses Einsparpotenzial realisiert werden. Siehe: Topmotors Merkblätter [Nr. 23 Pumpen](#), [Nr. 24 Luftförderung](#) und [Nr. 25 Frequenzumrichter](#)

■ Der Wirkungsgrad des Antriebssystems (Motor + Frequenzumrichter (FU)) ist lastabhängig (drehzahl- und drehmomentabhängig) und kann unter Teillast deutlich kleiner sein als bei Nennlast. Ein überwiegender Betrieb bei geringer Teillast in einem überdimensionierten Antriebssystem ist, aufgrund der niedrigen Teillastwirkungsgrade, wenn möglich zu vermeiden.

■ Der Wirkungsgrad im Teillastbetrieb kann durch Interpolation für jeden Betriebspunkt berechnet werden. Als

Berechnungsgrundlage dienen Effizienzwerte vom Hersteller in 7 standardisierten Betriebspunkten.

■ IEC TS 60034-31:2021 bietet kostenpflichtig eine Kalkulationstabelle zur Berechnung des Teillastwirkungsgrades von Normmotoren (inklusive FU).

## Wirkungsgrad von elektrischen Antrieben mit Drehzahlregelung im Teillastbetrieb

Die Richtlinie IEC TS 60034-31 ist eine technische Spezifikation der IEC mit ergänzendem Charakter (nicht verbindlich wie eine IEC Norm) und beschreibt technische und ökonomische Grundlagen für den Einsatz von energieeffizienten Elektromotoren mit konstanter und variabler Drehzahl. Diese wurde 2021 überarbeitet und im Umfang deutlich erweitert. Neu und wegweisend ist, dass nun eine fundierte Methode zur Berechnung des Wirkungsgrades von elektrischen Antriebssystemen bei reduzierter Drehzahl und/oder reduziertem Drehmoment (Teillast) zur Verfügung steht. Der Wirkungsgrad im Teillastbetrieb wird durch Interpolation von gemessenen Effizienzwerten

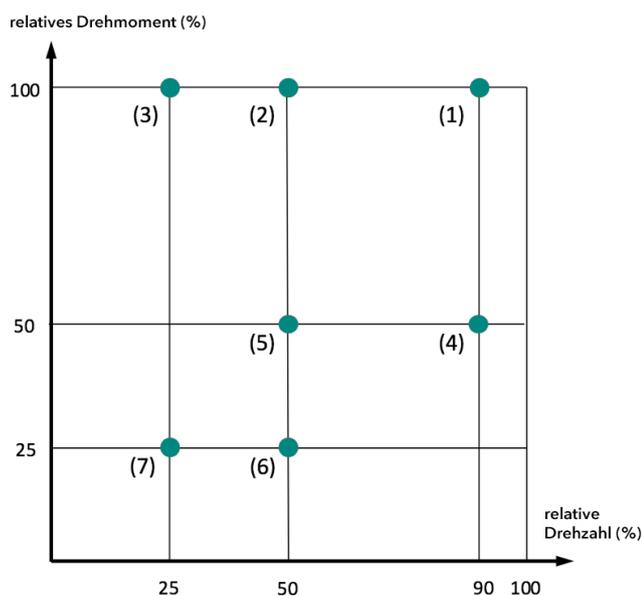


Abbildung 1: Betriebspunkte gemäss Norm IEC 60034-2-3.

berechnet, siehe IEC TS 60034-31:2021, Annex A, Formeln A1-A3, S. 48ff.

Die Effizienzwerte sind vom Hersteller an sieben Betriebspunkten zu messen und im Rahmen der Produktinformation zur Verfügung zu stellen, siehe Abbildung 1.

## Bestimmung des Wirkungsgrades mit Hilfe einer Kalkulationstabelle

Bereits mit wenigen Angaben zum Antriebssystem kann dank der in IEC TS 60034-31:2021 bereitgestellten Kalkulationstabelle (.xls-Format) der Wirkungsgrad von Normmotoren (inklusive FU) in jedem Betriebspunkt berechnet werden. Die zwei nachfolgenden Tabellen geben die Ein- und Ausgabewerte am Beispiel eines 110 kW IE3-Motors mit und ohne Frequenzumrichter (FU) zur Drehzahlregelung wieder.

Im Teillastbetrieb (Drehzahl 33%, Drehmoment 33%) reduziert sich der Gesamtwirkungsgrad für dieses aus Motor und FU bestehende Antriebssystem um rund 11.4 Prozentpunkte auf 79.9% im Vergleich zum Wirkungsgrad

bei Nennlast (91.3%). Wird der Antrieb vorwiegend bei Nennleistung betrieben, so ist der Netzbetrieb des Motors (Direct-on-Line, ohne Einsatz eines FU mit zusätzlichen Verlusten) wenn möglich vorzuziehen. Wie das Beispiel aufzeigt, wird bei reduzierter Drehzahl und/oder reduziertem Drehmoment der Gesamtwirkungsgrad überschätzt, wenn nur der Wirkungsgrad des Motors bei Nennleistung beachtet wird. Den Gesamtwirkungsgrad zu beachten ist also insbesondere bei Kostenrechnungen für Antriebssysteme mit variabler Drehzahl wichtig.

Eingabewerte Motor		
Grösse	Wertebereich	Beispiel
Nennleistung	0.12, 0.18, 0.25, ..., 900, 1 000 kW*	110 kW
Frequenz	50 Hz	50 Hz
Polzahl	2, 4, 6, 8 Pole	4 Pole
Effizienzklasse	IE1, IE2, IE3, IE4	IE3
Nenndrehzahl	750, 1 000, 1 500, 3 000 min <sup>-1</sup>	1 500 min <sup>-1</sup>
Aktuelle Drehzahl	0 min <sup>-1</sup> bis Nenndrehzahl	500 min <sup>-1</sup> (33%)
Nenn-Drehmoment	Siehe Herstellerangaben oder Referenztablelle	700.33 Nm (Referenztablelle)
Aktuelles Drehmoment	0 N/m bis Nenn-drehmoment	230 Nm (33%)

Eingabewerte Frequenzumrichter		
Grösse	Wertebereich	Beispiel
Nennleistung	0.12, 0.18, 0.25, ..., 900, 1 000 kW	110 kW
Effizienzklasse	IE0, IE1, IE2	IE2

Tabelle 1: Eingabewerte zur Berechnung des Wirkungsgrades mittels TS 60034-31 Generic Efficiency Interpolation aus IEC TS60034-31:2021.

\*Leistungsbereich IE-codierter Elektromotoren.

Resultate	
Konfiguration	Wirkungsgrad
Motor Direct-on-Line (Nennleistung)	95.4%
Antriebssystem bestehend aus Motor und FU (Power Drive System)	
Motor einzeln, Nennlast Drehzahl 100%, Drehmoment 100%	94.3%
FU einzeln, Nennlast Drehzahl 100%, Drehmoment 100%	96.8%
Motor + FU, Nennlast Drehzahl 100%, Drehmoment 100%	91.3%
Motor einzeln, Teillast Drehzahl 33%, Drehmoment 33%	87.6%
FU einzeln, Teillast Drehzahl 33%, Drehmoment 33%	91.3%
Motor + FU, Teillast Drehzahl 33%, Drehmoment 33%	79.9%

Tabelle 2: Aufgrund der Beispiel-Eingabewerte aus Tabelle 1 wird mittels der Kalkulationstabelle «Generic Efficiency Interpolation» aus TS 60034-31:2021 der Wirkungsgrad für verschiedene Konfigurationen des Antriebssystems bei Nenn- und Teillast bestimmt. Für den Wirkungsgrad des Motors ergeben sich aufgrund der Interpolation von unterschiedlichen Referenzwerten leicht abweichende Resultate für den Netzbetrieb (DOL, siehe IEC 60034-31, Kapitel 7.7) und für die Betrachtung im Power Drive System, siehe IEC 60034-2-3, Kapitel 7.3.

## Quellen

[IEC TS60034-31:2021](#) Rotating electrical machines - Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications - Application guidelines.

## Weitere Informationen

- [Topmotors Merkblätter Nr. 29 Motorentechnologie](#)
- [Nr. 25 Frequenzumrichtern](#)
- [Topmotors Normen & Vorschriften](#)