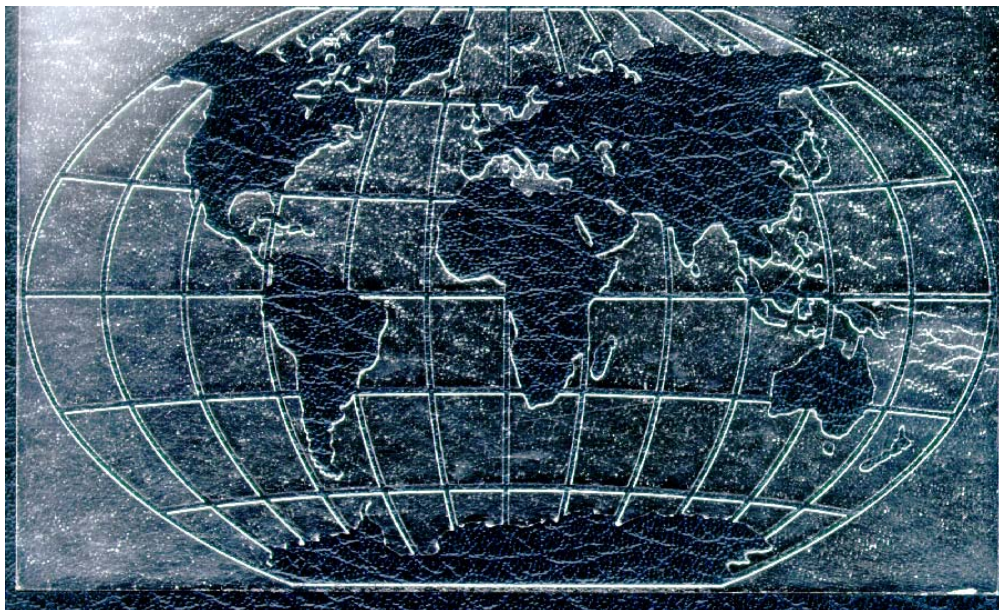


Drehstrommotoren an der neuen Normspannung 400 V
Teil 1: Normmotoren ohne Explosionsschutz

IEC 38



400 V

Drehstrommotoren an der neuen Normspannung 400 V

Teil 1 : Normmotoren ohne Explosionschutz

Obering. H. Greiner

Mit dem Jahr 2008 endigt die Frist für die Umstellung der Netzspannung auf 400 V.

Millionen von 380 V - Drehstrommotoren – bekannt für ihre lange Gebrauchsdauer – werden dann an einem Netz betrieben, das mit 400 V bezeichnet ist nach und mit $\pm 10\%$ toleriert wird. Danach wird eine Verkleinerung der Toleranz "in Erwägung gezogen".

Wie reagieren diese Motoren auf die Überspannung? Wie bewerten z.B. Sachversicherer, Gewerbeaufsicht oder Berufsgenossenschaften die Diskrepanz zwischen den Bemessungswerten von Netz und Motorwicklung? Diese Abhandlung enthält einige technische Antworten zu diesem Fragenkomplex und will damit Hilfestellung geben bei der Entscheidung, die der Betreiber in alleiniger Verantwortung zu fällen und in bestimmten Fällen auch gegenüber den Aufsichtsdienssten zu vertreten hat.

1.1 Norm für die Netze

Die Bemühungen um weltweite Normspannungen haben im Jahr 1983 mit IEC 38 einen vorläufigen Abschluss gefunden. Die identische nationale Norm DIN IEC 38 ist 1987 erschienen. In einer auf 20 Jahre veranschlagten Übergangszeit sollen die in 50-Hz-Netzen üblichen Spannungen von 380, 415, 420 und 440 V durch die Normspannung 400 V abgelöst werden. Für Einphasennetze gilt dann sinngemäß 230 V.

Die neuen Nennwerte sollen bis zum Jahr 2003 übernommen werden. Im CENELEC-Memorandum No.14 war sogar empfohlen, die neuen Nennspannungen bis 1993 einzuführen. Da aber Großbritannien (Spannungen 415, 420 und 440 V) erst 1993 formal zugestimmt hat und dort die Umstellung mit den Ende 1994 eingeführten Ergänzungen zu den "Wire regulations" BS 7671 erst beginnt, konnte das eigentliche Ziel einer Welt-Normspannung bei 50 Hz noch nicht erreicht werden. Bis zum Jahr 2003 war für die Netzspannung eine Toleranz von $+6/-10\%$ vorgesehen; danach $\pm 10\%$. Diese Frist wurde auf deutschen Antrag durch das Technische Büro (BT) des CENELEC um fünf Jahre, also bis 2008 verlängert. Für die nach 2008 angestrebte Einengung der Toleranz auf $\pm 6\%$ bestehen derzeit geringe Aussichten.

1.2 Bedeutung der Spannungsangabe 230 V

Nach Auskunft der VDEW kommen Drehstromnetze 3 x 220 V in den alten Bundesländern nicht mehr vor. In den neuen Bundesländern soll es noch einige wenige Drehstromnetze 3 x 220 V geben, die so bald wie möglich auf 3 x 400 V umgestellt werden sollen.

Die Spannung 230 V ist fast immer eine **Einphasenspannung** für Licht- und Stuenetze. Eine Spannungsangabe 230/400 V kann daher nur als Netzbezeichnung 1~ 230 V / 3~ 400 V verstanden werden. Für die Bestellung und Beschilderung von Motoren für Netzbetrieb macht die Bezeichnung 230/400 V Δ/Y (also 3~ 230 / 3~ 400 V Δ/Y) keinen Sinn und sollte daher vermieden werden. Lediglich bei Umrichterbetrieb kann eine Auslegung für 3 x 230 V vorkommen.

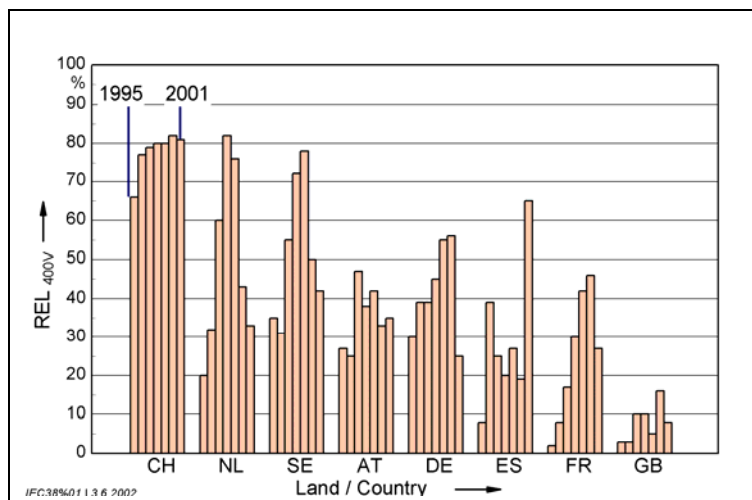
1.3 Akzeptanz der »Eurospannung« in europäischen Ländern

Trotz **CENELEC-Memorandum** ist gegen Ende der 20-jährigen Übergangsfrist eine insgesamt unbefriedigende praktische Akzeptanz der »Eurospannung« festzustellen: Dies gilt vor allem für den Handelspartner Großbritannien, dessen Sondernetz 415 bzw. 420 V ein wichtiger Grund für die Einführung der neuen Spannung 400 V war.

Aus der Erhebung nach **Bild 1.3** ist allerdings nicht erkenntlich, welcher Anteil der Motoren im jeweiligen Land (also an »genormten« 400 V) verwendet werden soll und welcher Anteil zum Export in Länder mit weiterhin verwendeten 380 V bestimmt ist.

Bild 1.3

Akzeptanz REL_{400V} der »Eurospannung 400 V« in acht europäischen Ländern nach der Danfoss-Bauer-Lieferstatistik 1995 ... 2001



2 Zulässige Spannungsschwankung für elektrische Maschinen

Für elektrische Maschinen gilt nach wie vor DIN VDE 0530-1 = EN 60 034-1, die mit IEC 60034-1 harmonisiert und in deren Abschnitt 12.3 eine zulässige Spannungsschwankung von $\pm 5\%$ genormt ist. Diese Toleranz bezieht sich auf die jeweils auf dem Leistungsschild genannte Spannung, d. h., ein Motor, benannt für 380 V kann verwendet werden für 361 bis 399 V
400 V 380 bis 420 V.

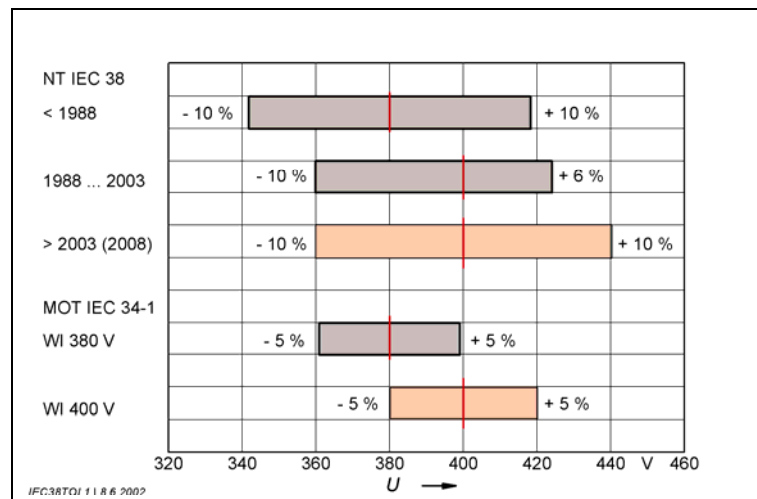
Die genormte Toleranz $\pm 5\%$ wird auf dem Leistungsschild nicht angegeben (vgl. DIN VDE 0530-1, Abschnitt 12.3). Für elektrische Maschinen ist also – im Gegensatz zu den Festlegungen für die Netzspannung und Toleranzen vieler anderer Betriebsmittel – eine relativ enge Schwankung der Anschlussspannung zulässig. Dies hat technische Gründe: Kleine Motoren (z. B. unter etwa 1,1 kW) und hochpolige Motoren arbeiten häufig nahe der magnetischen Sättigung und reagieren daher auf Überspannung relativ empfindlich.

Für Motoren gilt also mit den üblichem Toleranzbereich »A« mit $\pm 5\%$ eine engere Spannungstoleranz als die $\pm 10\%$ für das Netz.

Dieser Tatbestand ist nicht neu – er galt auch schon vor der Diskussion um DIN IEC 60038, wie Bild 2.1 zeigt.

Bild 2.1
Vergleich der zulässigen Spannungstoleranz für Netz (NT) und Motor (MOT) nach verschiedenen Stadien der Normung

IEC 38 = IEC 60038
IEC 34-1 = IEC (EN) 60034-1



Dieser Diskrepanz ist in der Norm für die Motoren Rechnung getragen, indem ein erweiterter Toleranzbereich »B« geschaffen wurde. Die erheblichen Einschränkungen für die Ausnutzbarkeit dieses Bereichs machen aber deutlich, dass die besonderen physikalischen Gegebenheiten bei einem Motor gewisse Grenzen für die Spannungstoleranz setzen (Bild 2.2).

Für einen Betrieb mit Spannungsschwankungen, die über den Bereich »A« $\pm 5\%$ hinausgehen, ist in DIN VDE 0530-1 vorgesehen, dass die Motoren funktionstüchtig sein sollen: Sie können ihr Bemessungsdrehmoment abgeben, wobei die übrigen Kenndaten (z. B. auch die Erwärmung) größere Abweichungen von den für die Bemessungsspannung festgelegten Daten haben dürfen.

Nenn- oder Bemessungspunkt	ΔU in % 10	Bereich B Motor muss funktionstüchtig sein, darf aber größeren Abweichungen der Kenndaten haben; Betrieb über längere Zeit an den Grenzen von B wird nicht empfohlen; für EEx e nicht zulässig
	5	Bereich A Motor muss im Dauerbetrieb funktionstüchtig sein Erwärmung darf an den Toleranzgrenzen um 10 K höher sein als Grenzwert; auch zulässig bei EEx e
	0	
	- 5	Bereich B Motor muss funktionstüchtig sein, darf aber größeren Abweichungen der Kenndaten haben; Betrieb über längere Zeit an den Grenzen von B wird nicht empfohlen; für EEx e nicht zulässig
	- 10	

Tab. 2.2 Zulässige Spannungsschwankungen für Motoren
nach EN 60034-1 / DIN VDE 0530 Teil 1 sowie IEC 60034-1, Bild 14

Der Toleranzbereich B stellt für **normale, nicht explosionsgeschützte** Maschinen eine Konzession dar, von der Hersteller und Betreiber nach Abwägung der Auswirkung auf die Betriebsdaten und die Lebensdauer der Wicklungsisolierung eigenverantwortlich Gebrauch machen können. Da bei **explosionsgeschützten** Motoren die Sicherheit tangiert ist, muss hier die Umstellung auf die Spannung 400 V unter Beachtung einschlägiger Normen (z. B. EN 50018 und EN 50019) und der speziellen Motorauslegung vorgenommen und dokumentiert werden (siehe Teil 2).

3 Wicklungen für einen Bereich der Bemessungsspannung

Die unzureichend koordinierte Einführung der »Welt-Normspannung« 400 V hat ein unvorhergesehenes Ergebnis: Motoren mit **Weitbereichswicklungen** oder **Mehrspannungsauslegung** wie 380 ... 400 V oder gar 380 ... 420 V.

3.1 Notwendigkeit für Spannungsbereiche

Länder, die nicht der CENELEC-Vereinbarung unterliegen, werden auf unbestimmte Zeit bei der Spannung 380 V bleiben. Hierzu gehören z. B. alle Länder des früheren Ostblocks. Für den exportorientierten Anlagenhersteller, der sich großzügig mit Elektromotoren bevorraten, und für den Motorenhersteller, der seine Wicklungen in wirtschaftlichen Losgrößen produzieren will, ergibt sich daraus die Notwendigkeit, **drei** statt bisher **zwei** Wicklungsauslegungen einzuplanen: 380, 400 und 415 V.

Maschinenfabriken und Motorenhersteller haben daher nach Lösungen mit **Weitbereichswicklungen** gesucht, z. B. 380 ... 400 V oder gar 380 ... 420 V.

3.2 Schreibweise für einen Spannungsbereich

Ein Spannungsbereich ist nach Norm zum Beispiel mit 380 ... 400 V anzugeben. Die Verwendung eines Schrägstriches ist einer **Umschaltung** vorbehalten, z.B.
 Spannungsumschaltung 220 / 380 V
 Drehzahl(Pol-)umschaltung 1420/2840 r/min

3.3 Toleranz auf den Spannungsbereich

Wie ist das Leistungsschild eines Motors mit Weitbereichswicklung zu lesen? Ist 380 ... 420 V nur eine andere Schreibweise für 400 V ± 5 % ? Die Normen und die kompetenten Kommentare sagen eindeutig, dass dies nicht so ist. Sowohl für die Einzelangabe einer Bemessungsspannung (z. B. 400 V) als auch für die Angabe eines Spannungsbereichs gilt grundsätzlich die normale Toleranz von ± 5 %.

3.3.1 Angabe der Spannungstoleranz bei elektrischen Maschinen

Nachfolgende Beispiele basieren auf

- o EN 60034-1 = DIN VDE 0530 -1 (2005)
- o Erläuterungen zu DIN VDE 0530, VDE-Schriftenreihe 10 (2004)
- o Bestätigung v. 18.02.1991 durch den Obmann des für VDE 0530 zuständigen Gremiums K 311.

Angegebene Bemessungsspannung		Bereich der Bemessungsspannung	Implizit genormt Toleranz	Grenzen des Bereichs A nach DIN VDE 0530, Abschnitt 12.3	
fest	Zusatz			U_{min}	U_{max}
400 V	-	-	± 5 %	380 V	420 V
400 V	IEC 38	360 ... 440 V	± 5 %	342 V	462 V
400 V	± 10 %	360 ... 440 V	± 5 %	342 V	462 V
-	-	380 ... 420 V	± 5 %	361 V	441 V

3.3.2 Angabe einer von ± 5 % abweichenden Toleranz

Für die Angabe einer von der Norm abweichenden Spannungstoleranz (z. B. ± 6 % nach alten British Standards) gibt es unterschiedliche Verfahren. Im Zweifelsfall empfiehlt sich daher eine klare Absprache zwischen Hersteller und Anwender.

- o nach DIN VDE 0530 und K 311:
 Schild 400 ± 1 % implizite Toleranz ± 5 % gesamte Toleranz ± 6 %
- o nach PTB-Prüfregel (1969), Abschnitt 5.7.1, und nach Praxis vieler Hersteller:
 Schild 400 ± 6 % gesamte Toleranz ± 6 %

3.3.3 Konsequenzen aus der Toleranzangabe

Ein Motor mit der Angabe 380 ... 420 V muss also bei jeder Spannung zwischen 380 und 420 V die seiner Wärmeklasse entsprechende Grenzüber Temperatur einhalten und auch bei 380 V ein Kippmoment entwickeln, das mindestens 160 % des Bemessungsmoments beträgt. Er muss darüber hinaus bei 380 V - 5 % = 361 V sowie bei 420 V + 5 % = 441 V funktionstüchtig (wenn auch bei einer um 10 K erhöhten Erwärmung) sein. Bei 380 V - 10 % = 342 V (also an der unteren Grenze des Bereichs B nach Tab.2.1) muss er noch sein Bemessungsmoment abgeben können. Die Einhaltung dieser Forderung ist gerade für kleine Maschinen nicht ganz leicht.

4 Grenzen und Risiken eines Weitspannungsbereichs

Im Abschnitt 5 wird gezeigt, dass relativ kleine Maschinen auf Überspannung empfindlich reagieren und an den Grenzen der normalen Spannungstoleranz schon im Leerlauf relativ warm werden können. Grundsätzlich gilt, dass sich Anzugsmoment und Kippmoment **quadratisch** mit der angelegten Spannung ändern – unabhängig vom Drehmomentbedarf oder Auslastungsgrad.

Die Risiken einer Auslegung für einen »Weitspannungsbereich« sollen an drei Beispielen gezeigt werden :

- Kleiner Motor (z. B. Fertigung UK und daher optimiert für 420 V, Betrieb östliche Länder):
Schildangabe: 380 ... 420 V
Annahme : bei 420 V $M_K/M_N = 1,6$
 bei 361 V $M_K/M_N = 1,6(361/420)^2 = 1,18$

Der Motor ist so »weich«, dass bei Nennmoment ein Schlupf von 20 ... 30 % zu erwarten ist, der bei Erwärmung rasch gegen 100 % geht – der Motor kippt ab und ist nicht mehr funktionstüchtig.

- Großer Motor (z. B. Fertigung östliche Länder und daher optimiert für 380 V, Betrieb UK):
Schildangabe: 380 ... 420 V
Annahme : bei 380 V $M_K/M_N = 3,0$
 bei 441 V $M_K/M_N = 3,0(441/380)^2 = 4,0$.

Derart hohe Anzugs- und Kippmomente beanspruchen die mechanischen Übertragungsmittel. Die zwangsläufig hohe Stromdichte im Kurzschluss ist bei festgebremstem Läufer eine thermische Gefahr für die Wicklung..

- Motor beliebiger Größe
Schildangabe 400 ± 10 % oder IEC 38
Schwankungsbreite von M_A und M_K im Bereich A: $(462/342)^2 = 1,82 !!$
z. B. $M_K/M_N = 1,6 ... 2,9$
oder $M_K/M_N = 0,9 ... 1,6$

Eine optimale Anpassung der Drehmomente an den konkreten Anwendungsfall erscheint sehr schwierig oder unmöglich.

Bild 4 zeigt die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien eines mit »380 ... 420 V« deklarierten Motors. Der schraffierte Bereich ist repräsentativ für die Beschleunigung, also für den Reziprokwert der Anlaufzeit. Diese kann an den Grenzen des Toleranzbereichs der Spannung bei gleichen Lastverhältnissen etwa im Verhältnis 1 : 3 (also z. B. von 0,5 bis 1,5 s) variieren.

Es ist zwar kaum anzunehmen, dass ein bestimmter Motor dieser Schwankungsbreite der Spannung ausgesetzt ist. Typen mit großem Spannungsbereich suggerieren aber dem Hersteller und dem Anwender einer Maschine, dass sich der gleiche Antriebsmotor unter stark veränderlichen Spannungsverhältnissen (also z. B. in England wie in Russland) auch gleich verhält. **Diese Erwartung ist aus physikalischen Gründen offensichtlich nicht erfüllbar.**

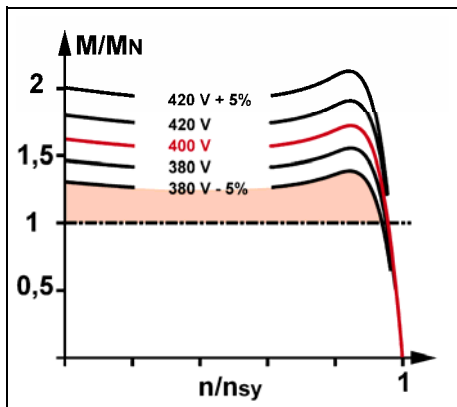


Bild 4
Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien eines für 400 V ausgelegten und für 380 ... 420 V deklarierten Käfigläufermotors bei verschiedenen Spannungen im gesamten Toleranzbereich.

Der schraffierte Bereich repräsentiert die Beschleunigung bei gleichbleibenden Lastverhältnissen.

Motoren für große Spannungsbereiche sind fast immer Kompromisslösungen – es sei denn, der aktive Materialaufwand (also die Typgröße) wird gegenüber der Normalausführung vergrößert.

5 Betriebsverhalten bei Spannungsänderung

Zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von Drehstrom-Asynchronmotoren bei Änderung der Anschlussspannung kann eine Versuchsreihe herangezogen werden, die häufig im Rahmen der Typenprüfung zur Feinabstimmung der Wicklungsauslegung durchgeführt wird: konstante Leistungsabgabe bei verschiedenen Spannungen. Im Grunde ermittelt man hier bei der Typprüfung die **magnetische Flussdichte (Induktion)**, bei der sich die günstigsten Betriebseigenschaften ergeben. Die Wicklung wird für die Serie dann so ausgelegt, dass sich bei Betrieb mit Bemessungsspannung eben diese günstigste Flussdichte einstellt. Wenn irgend möglich, wählt man die Flussdichte so, dass bei Bemessungsspannung die geringsten Verluste auftreten. Bei dieser Auslegung hat der Motor im Bemessungspunkt die geringste Erwärmung – nachfolgend als »Optimum« bezeichnet.

Es gibt jedoch zwingende Gründe dafür, die Flussdichte niedriger oder höher als das Optimum zu wählen.

Die **Diagramme 5.1 bis 5.3** sind rein qualitativ zu betrachten. Durch eine vereinfachte und überzeichnete Darstellung soll die Tendenz besonders deutlich werden. Sie eignen sich nicht für eine quantitative Auswertung.

- o Der **Wirkstrom I_w** (der zur mechanischen Leistungsabgabe beiträgt) hat bei steigender Spannung (Flussdichte) eine fallende Tendenz (u. a. weil der Schlupf kleiner wird).
- o Der **Magnetisierungsstrom I_μ** (der magnetischen Fluss bildet), hat bei steigender Spannung (Flussdichte) eine steigende Tendenz, die vor allem bei Erreichen der Sättigungsgrenze überproportional steil ist.
- o Der **Gesamtstrom I** (der in der Zuleitung zu messen ist) setzt sich geometrisch aus den Komponenten I_w und I_μ zusammen.
- o Das **Minimum des Gesamtstromes I** (der auch die Verluste repräsentiert) charakterisiert das Optimum der Flussdichte.

5.1 Bemessungsspannung (Flussdichte) im Optimum

Diese Auslegung ist nach Möglichkeit anzustreben und ist typisch für Motoren mit Bemessungsleistungen von 1,1 ... 11 kW.

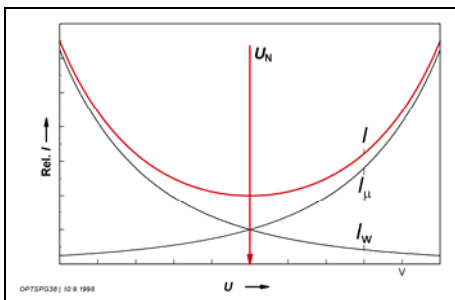


Bild 5.1
Tendenz der Stromaufnahme I mittlerer Motoren (1,1 ... 11 kW) bei Änderung der Anschlussspannung U

Zuordnung der Bemessungsspannung U_N im »Optimum« (qualitative Darstellung)

Beurteilung des Betriebsverhaltens:

- Spannungsänderungen im Rahmen üblicher Toleranzen wirken sich relativ wenig auf die Stromaufnahme (Erwärmung) aus.
- Weiterbetrieb an der neuen Bemessungsspannung 400 V i. A. zulässig.

5.2 Bemessungsspannung (Flussdichte) unterhalb des Optimums

Diese Auslegung ist typisch für Motoren mit Bemessungsleistungen über etwa 11 kW, weil sich bei optimaler Flussdichte zu hohe Anzugsmomente und Anzugsströme ergeben würden. Während die Anzugsmomente nur für nachgeschaltete Übertragungselemente (Getriebemotoren) und Arbeitsmaschinen eine Gefahr darstellen, führen hohe Kurzschlussstromdichten im Blockierungsfall zu einem gefährlich raschen und starken Temperaturanstieg, der z. B. durch Thermistoren nicht mehr erfasst werden kann.

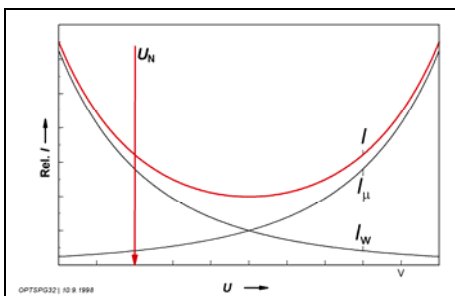


Bild 5.2
Tendenz der Stromaufnahme I großer Motoren (etwa > 11 kW) bei Änderung der Anschlussspannung U

Zuordnung der Bemessungsspannung U_N unterhalb »Optimums« (qualitative Darstellung)

Beurteilung des Betriebsverhaltens:

- Spannungsverminderung führt zu höherer Stromaufnahme (Erwärmung)
- Spannungsanhebung führt zu niedrigerer Stromaufnahme (Erwärmung)
- Weiterbetrieb an der neuen Bemessungsspannung 400 V zulässig, falls erhöhtes M_A und M_K für die Arbeitsmaschine unbedenklich.

5.3 Bemessungsspannung (Flussdichte) oberhalb des Optimums

Diese kritische Auslegung kann für Motoren mit Bemessungsleistungen unter etwa 1,1 kW erforderlich sein, weil mit der optimalen Flussdichte die genormte Überlastbarkeit $M_K/M_N \geq 1,6$ nicht erreicht würde. Für den Weiterbetrieb von 380-V-Motoren am neuen Netz 400 V ist dies die kritische Gruppe!

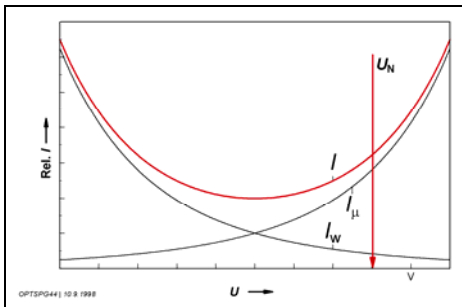


Bild 5.3
Tendenz der Stromaufnahme I kleiner Motoren (etwa $< 1,1$ kW) bei Änderung der Anschlussspannung U

Zuordnung der Bemessungsspannung U_N oberhalb »Optimum« (qualitative Darstellung)

Beurteilung des Betriebsverhaltens:

- Spannungsverminderung führt zu geringerer Stromaufnahme, doch ist die nach Norm verlangte Überlastbarkeit $M_K/M_N \geq 1,6$ infrage gestellt.
- Spannungsanhebung führt wegen der Sättigung zu (viel) höherer Stromaufnahme (Erwärmung). Leerlaufstrom oft größer als Bemessungsstrom!
- Weiterbetrieb an der neuen Bemessungsspannung 400 V i. A. infrage gestellt. Stromaufnahme und Erwärmung im tatsächlichen Betrieb prüfen, Hersteller konsultieren.

Im Teil 2 dieser Abhandlung wird gezeigt, wie mit Hilfe des Leistungsfaktors eine Vorentscheidung über das voraussichtliche Betriebsverhalten eines bestimmten 380 V Antriebs an 400 V möglich ist.

6 Empfehlung zum Weiterbetrieb an 400 V

Die nachfolgenden Empfehlungen gelten für

- o Drehstrom-Asynchronmotoren mit Wicklung für 380 V, 50 Hz
- o übliche Auslegung, z. B. Katalog-Typen
- o **ohne Explosionsschutz**
- o Betriebsart S1 nahe oder bei Bemessungsleistung.

Sie sind unter Berücksichtigung des jeweiligen Einzelfalls in eigener Verantwortung anzuwenden.

Bei kleinen Drehstrommotoren (unter etwa 1,1 kW und I oder mit einem Leistungsfaktor $< 0,7$) kann die Stromaufnahme je nach Auslegung teilweise schon bei geringer Belastung über den Bemessungsstrom ansteigen. Ein Motorschutzschalter kann auslösen und Gefahr melden – wenn er nicht vorsorglich höher eingestellt wurde, damit der Betrieb weiterlaufen kann. Bei dieser Motorengruppe wird sich i. A. eine höhere Wicklungstemperatur einstellen, die je nach den thermischen Reserven zu einer Verminderung der Lebensdauer führen kann.

Es wird empfohlen, kleine Drehstrommotoren und die zugehörigen Motorschutzschalter zu überprüfen und – falls erforderlich – vorsorglich auf die neue Bemessungsspannung 400 V umwickeln zu lassen oder einen Ersatzmotor für 400 V zu bestellen.

Für jeden Motor – auch für die mittleren und großen Leistungen – empfiehlt sich eine Umstellung auf 400 V, falls eine Neuwicklung aus anderen Gründen erforderlich wird.

Möglicherweise zeigt eine Kostenanalyse unter Berücksichtigung der jährlichen Laufzeit, dass sich ein neuer Energiesparmotor mit verbessertem Wirkungsgrad schon nach wenigen Jahren amortisiert.

Sind allerdings **explosionssgeschützte Motoren** betroffen, so ist die Anpassung an die neue Spannung **keine Ermessensfrage**: Diese Motoren müssen unabhängig von Größe und Auslastung – eventuell unter Einschaltung einer **amtlich anerkannten befähigten Person** des Herstellers – an die neue Netzspannung angepasst werden.

Ob dazu eine Umwicklung erforderlich ist, muss von Fall zu Fall entschieden werden (s. auch Teil 2 dieser Abhandlung).

Fortsetzung Teil 2 :

Ex-Motoren in den Zündschutzarten "d" oder "e"