

Wirkungsgrad bei Stromversorgungen

Genauere Wirkungsgradmessung liegt im Interesse des Anwenders

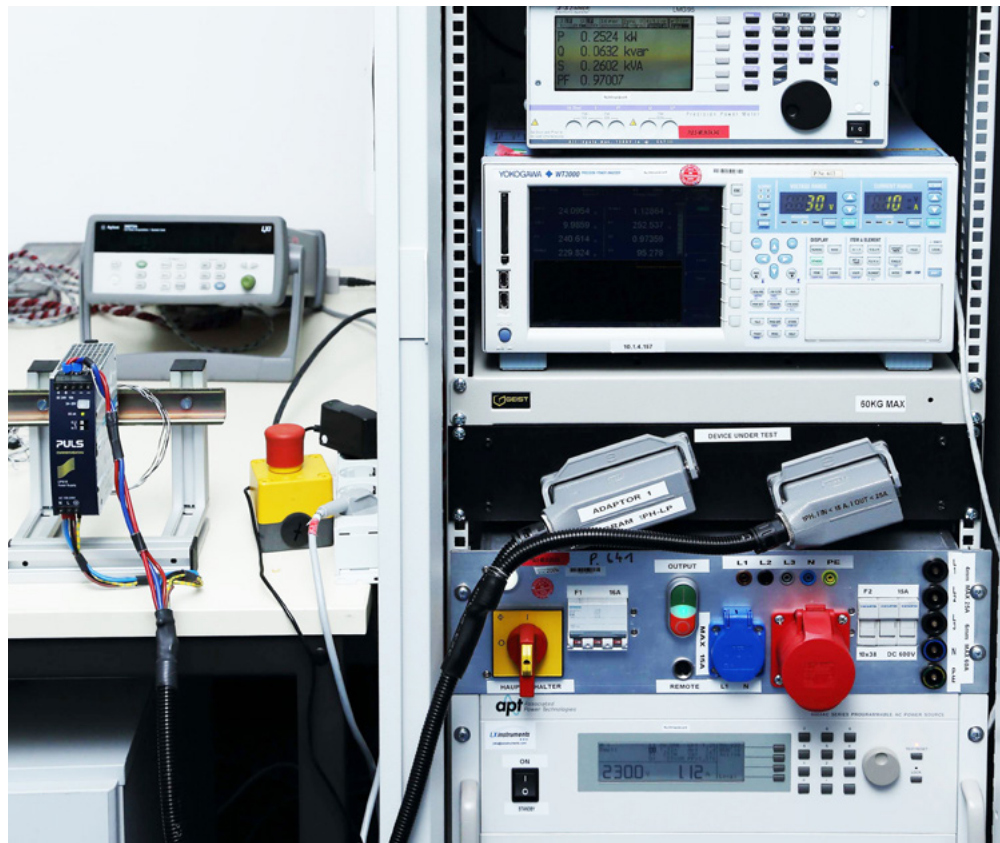


Bernhard Erdl | Gründer, Geschäftsführer und Chef-Entwickler

Moderne Stromversorgungen zeichnen sich durch immer höhere Wirkungsgrade aus.

Doch können sich Anwender auf die Wirkungsgradangaben in den Datenblättern der Hersteller verlassen? Wie wurden die Werte ermittelt?

Kann der Anwender so etwas selbst messen und was müsste er dabei beachten?



Immer mehr Anwender verstehen, dass der Wirkungsgrad einer Stromversorgung entscheidenden Einfluss auf die Zuverlässigkeit hat. Er ist der Schlüssel – insbesondere bei konvektionsgekühlten Geräten – zu einer einerseits kleinen und andererseits zuverlässigen Stromversorgung. Ohne Zwangsbelüftung ist die Wärmeabfuhr beschränkt und der Entwickler einer Stromversorgung muss sehr auf die geringstmögliche Wärme-erzeugung achten. Auch die anderen Komponenten im System profitieren

von geringen Verlusten und damit einer geringen Erwärmung. Deshalb bemühen sich auch immer mehr Hersteller von Stromversorgungen um einen hohen Wirkungsgrad.

Mit diesem Artikel sollen Anwender in die Lage versetzt werden, selbst den genauen Wirkungsgrad und damit die Verluste einer Stromversorgung zu bestimmen, um sich nicht nur auf die oft optimistischen und knappen Datenblattangaben verlassen zu müssen.

Die folgenden **fünf Empfehlungen** sollten bei der Wirkungsgradmessung die höchste Priorität haben und haben sich in der Praxis als unverzichtbar erwiesen. Sie werden in diesem White Paper genauer ausgeführt.

- **Präzise Messgeräte** verwenden: Möglichst Leistungsanalysatoren oder hochgenaue Wattmeter
- Auf die **richtige Verkabelung** beim Messaufbau und spannungsrichtiges Messen achten
- Bei AC-Messungen möglichst eine **elektronische AC-Quelle** verwenden
- **EMV-Störungen** vom Prüfling ausgehend **vermeiden**
- **Temperatur- und Zeiteinflüsse** beachten

Kleinste Wirkungsgradänderungen haben großen Einfluss auf die Verlustleistung

Der Wirkungsgrad ist eine Kennzahl, anhand derer man verschiedene Netzgeräte gut vergleichen kann. Was aber Systementwickler oder Anwender von Stromversorgungen viel mehr interessiert, ist ja die Wärme, die im Netzgerät hängen bleibt – also die Verluste. Da die Verluste elektrisch nicht direkt gemessen werden können, bleibt nur die Differenzbildung aus Eingangs- und Ausgangsleistung.

Bei den heute möglichen hohen Wirkungsgradwerten von 95% – dies entspricht einem Verlust von 5% – führen allerdings kleine Messfehler bei der Eingangs- und Ausgangsleistung zu großen Fehlern bei der Verlustberechnung: Wenn ein Messfehler von jeweils nur 0,5% vorliegt, in Summe also 1%, dann ist die Verlustberechnung um 20% falsch. (Siehe Grafik 1)

Wichtig ist auch, dass scheinbar geringe Unterschiede im Wirkungsgrad einen großen Unterschied bei den Verlusten bedeuten. Bei modernen Stromversorgungen liegen die Werte zwischen 92 und 95%. Hierbei kann beim Anwender die Annahme entstehen, dass ein oder zwei Prozent hin oder her keinen großen Unterschied machen. Das ist jedoch ein Irrtum. Denn nicht der absolute Wert des Wirkungsgrades sondern die Differenz zum Idealwert von 100% ist entscheidend.

Ein Beispiel bei gut vergleichbaren Netzgeräten mit 48V / 5A am Ausgang: Das 2005 eingeführte PULS QS10 hat einen Wirkungsgrad von 92,0%. 10 Jahre später ist das PULS CP10 mit einem Wirkungsgrad von 95,5% verfügbar. Auf den ersten Blick scheinen „nur“ 3,5% Unterschied keine große Weiterentwicklung zu sein. Dennoch konnten die Verluste beim CP10 – im Vergleich zum QS10 – um 41% gesenkt werden.

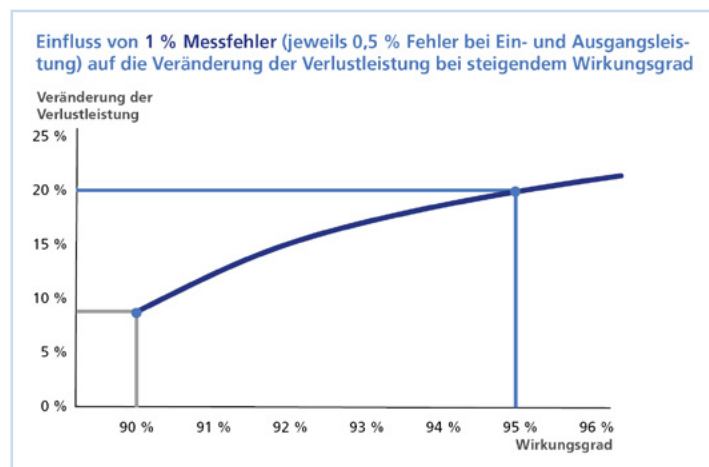
Das bedeutet, dass bei hohen Wirkungsgraden selbst kleine Anstiege in einer maßgeblichen Reduzierung der Verlustleistung resultieren. Mit steigenden Wirkungsgraden wird die Messgenauigkeit demnach immer wichtiger, da sich sonst die Verlustleistung nicht richtig ermitteln lässt.

Wirkungsgrad genau bestimmen und Fehler vermeiden

Je näher die Entwickler dem perfekten Wirkungsgrad von 100% kommen, desto schwieriger wird es, genau zu messen. Absolute Präzision bei der Messung ist somit unabdingbar, um eine genaue Aussage über die Verlustleistung einer Stromversorgung zu treffen. Viele Fehler lassen sich durch eine gute Vorbereitung und eine professionelle Messung jedoch vermeiden. Die häufigsten Fehlerquellen sind:

- Falsches Messprinzip durch ungeeignete Messgeräte
- Ungenaue Messgeräte
- Fehlerhafter Messaufbau
- Vernachlässigung der Umgebungsbedingungen

Zu diesem Thema wird gerade ein White Paper mit dem Titel „Accurate Efficiency Measurements“ fertiggestellt. Dieses wurde vom Technischen Komitee der European Power Supply Manufacturers Association ([EPSMA, www.epsma.org](http://www.epsma.org)), und hier vor allem von den Mitgliedern PULS, Artesyn Embedded Power und Efore, ausgearbeitet.



Grafik 1: Einfluss von 1% Messfehler auf die Veränderung der Verlustleistung bei steigendem Wirkungsgrad.

Multimeter, Wattmeter oder Leistungsanalysator – Welches ist das (Mess-)Mittel der Wahl?

Es gibt eine Vielzahl von Messinstrumenten, die für die Ermittlung des Wirkungsgrads genutzt werden. Dennoch sind die Messtoleranzen und die Fähigkeiten der Messinstrumente, verschiedene Signale (AC oder DC) zu messen, sehr unterschiedlich.

Multimeter: Für reine DC-Ein- und Ausgänge sind genaue Multimeter zur Spannung- und Strommessung durchaus geeignet. Die Spannung kann mit hoher Präzision direkt am Ein- und Ausgang der Stromversorgung gemessen werden. Viele Multimeter haben auch eine eingebaute Strommessung, allerdings ist diese meist zu ungenau (Ungenauigkeit 1% oder mehr) oder sie hat keinen ausreichenden Messbereich (meist auf 10A limitiert). Stattdessen sollen die Ströme über hochpräzise Shuntwiderstände mit 0,01% Toleranz gemessen werden. Problematisch ist die nicht synchrone Erfassung der Werte, die bei schwankenden Verhältnissen zu Fehlern führen.

Datenlogger sind für DC-Messungen noch besser. Sie bestehen aus einer einzigen, meist hochgenauen Messeinheit, die durch Multiplexen mehrfach verwendet wird. Im gleichen Messbereich kürzen sich die Fehler sogar heraus und alle Werte können zeitnah erfasst und mit einer Tabellenkalkulation schnell ausgewertet werden.

AC-Eingangleistungen können mit Multimetern oder Datenloggern jedoch nicht gemessen werden. Ein häufiger Fehler ist die Annahme, dass es ausreichend ist, die Echteeffektivwerte (RMS) von Strom und Spannung zu messen und diese beiden Werte zu multiplizieren, um die Eingangsleistung zu ermitteln. Durch diese Berechnung ermittelt man jedoch

die Scheinleistung und nicht die Wirkleistung, die für die Verluste entscheidend ist. Das Messen von AC-Eingangsleistungen, selbst mit True-RMS-Multimetern, resultiert daher in falschen Messungen und ist ein absolutes No-Go!

Wattmeter: Wattmeter werden für die Messung von AC-Signalen genutzt und folgen dem richtigen Prinzip. Die Momentanwerte von Strom und Spannung werden multipliziert und aus diesen Produkten wird der Mittelwert gebildet – das entspricht der physikalischen Definition von Leistung. Allerdings haben die meisten einfachen Wattmeter eine hohe Messungenauigkeit (um 1%). Zudem können nicht konstante Ein- oder Ausgangsströme (AC-Eingang, variierende Ausgangslast) zu zusätzlichen Messfehlern führen. Schwankende Werte sind somit schwer zu interpretieren. Generell sollen für Wirkungsgradmessungen nur hochpräzise Wattmeter verwendet werden.

Leistungsanalysator: PULS nutzt für die Wirkungsgradbestimmung seiner Stromversorgungen Leistungsanalysatoren. (Siehe Bild 1) Die Vorteile liegen in der hohen Grundgenauigkeit von 0,02%, dem korrekten Messen von Wirkleistung, der gleichzeitigen und damit synchronen Messung von Eingang und Ausgang und der direkten Anzeige von Verlusten und Wirkungsgrad. Der Nachteil dieser Messmethode sind die hohen Anschaffungskosten. Dennoch ist der Leistungsanalysator das Mittel der Wahl für die genaue Bestimmung des Wirkungsgrads.



Bild 1:
Der Wirkungsgrad von PULS Schaltnetzteilen wird mit hochmodernen Leistungsanalysatoren gemessen.

Fehler im Messaufbau vermeiden

Ein präziser und teurer Leistungsanalysator kann jedoch keine genauen Ergebnisse liefern, wenn beim Messaufbau Fehler gemacht wurden.

Richtige Verkabelung: Alle Verluste, die nicht vom Prüfling kommen, dürfen nicht mitgemessen werden! Das ist der wichtigste Grundsatz, wenn es um die richtige Verkabelung beim Messaufbau geht. Denn jede Leitung und jeder Kontaktwiderstand verursacht zusätzliche Verluste, die die Messergebnisse verfälschen können. Eine korrekte Vierpolmessung (Kelvinmessung) mit getrennten Leitungen für die Strom- und Spannungsmessung muss sein. (Siehe Bild 2)



Bild 2:
Die richtige Verkabelung ist beim Messen entscheidend. Eine korrekte Vierpolmessung (Kelvinmessung) mit getrennten Leitungen für die Strom- und Spannungsmessung muss sein.

Spannungsquelle: Für Schaltnetzteile mit DC-Eingang sind einfache DC-Spannungsversorgungen ausreichend. Bei AC-Messungen ist es wichtig zu wissen, dass der Innenwiderstand der Spannungsquelle die Messung über die Kurvenform des Netzsinus' beeinflusst. Bei einem 240W-Netzteil ohne PFC wurde ein Unterschied von 0,4% zwischen einem weichen Netz aus einem Trenn-Stelltrafo und einem harten Netz aus einer elektronischen AC-Quelle gemessen. Diese gibt die reproduzierbarsten Werte und ist deshalb zu bevorzugen.

Lasten: Nicht nur die Spannungsquelle, sondern auch die benutzte Last muss stabil und reproduzierbar sein. Lasten aus Leistungswiderständen sind problematisch, denn sie ziehen keinen konstanten Strom. Elektronische Lasten stellen hingegen eine definierte und reproduzierbare Belastung des Prüflings dar und selbst schwankende Übergangswiderstände ändern den Strom nicht.

EMV-Störungen: Unentstörte Stromversorgungen im Prototyp-Stadium können die Messgeräte stören und/oder die Lasten schwanken lassen. Man sollte den Messgeräten auch keine Signale zumuten, die mit HF überlagert sind. Zusatzfilter, meistens Induktivitäten in den Eingangsleitungen, vermeiden diese Probleme. Man darf ihre Verluste nur nicht in die Messung einfließen lassen. Bei sauber funktentstörten Stromversorgungen sollte es keine Probleme geben.

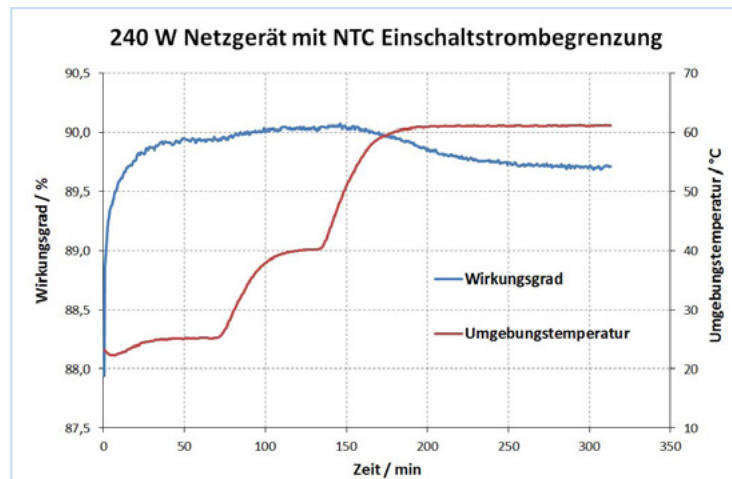
Umgebungsbedingungen berücksichtigen

Von den Umgebungsbedingungen ist die Temperatur der entscheidende Faktor, denn die Verluste einer Stromversorgung sind temperaturabhängig. Dabei ist die Temperatur der Bauteile einer Stromversorgung maßgeblich. Die Bauteiletemperatur ist die Summe von Umgebungstemperatur und Eigenerwärmung.

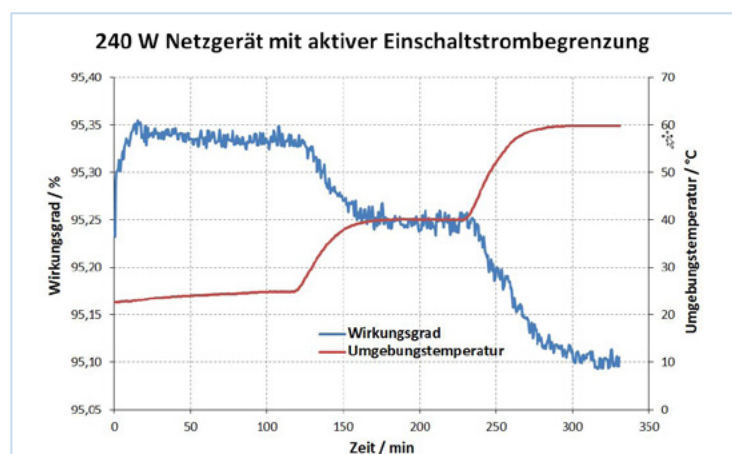
Temperatur: Die verschiedenen Bauelemente im Netzteil reagieren unterschiedlich auf Temperaturen. In manchen Bauteilen verringern sich die Verluste mit steigenden Temperaturen, in anderen Komponenten erhöhen sich diese wiederum. Einen starken Einfluss haben die zur Begrenzung des Einschaltstromes verwendeten NTCs. Netzgeräte mit solchen Bauteilen haben mit dem Einlaufen sowie bei höherer Umgebungstemperatur geringere Verluste (negativer

Temperaturkoeffizient), wobei bei hohen Temperaturen die Verlustanstiege durch andere Komponenten wieder überwiegen. (Siehe Grafik 2) Geräte mit aktiver Einschaltstrombegrenzung zeigen ein stabileres Temperaturverhalten. Hier gibt es nur einen geringen Verlustanstieg mit der Temperatur. (Siehe Grafik 3) Bei allen Wirkungsgradmessungen sollten die Einlaufzeit und die Umgebungstemperatur dokumentiert werden, damit die Ergebnisse nachvollziehbar bleiben.

Höhenlage & Luftdruck: Da über die Luft gekühlt wird, hat der Luftdruck einen Einfluss auf die Eigenerwärmung. PULS hat ausgerechnet, um wie viel sich die Bauteile bei einer höheren Lage zusätzlich erwärmen: um ca. +10°C bei 2.000m Höhe ü. NN und um ca. +20°C bei 4.000m. Die Luftfeuchte spielt nur eine ganz geringe Rolle und kann vernachlässigt werden.



Grafik 2:
Durch den NTC ist der Wirkungsgrad stark zeit- und temperaturabhängig.



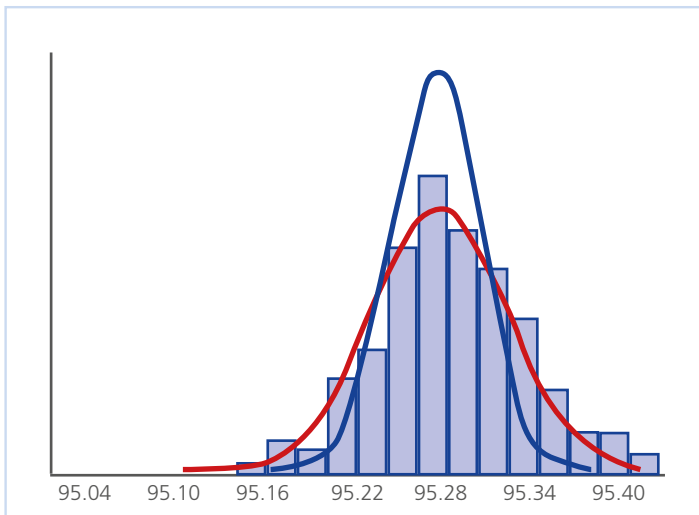
Grafik 3:
Die aktive Einschaltstrombegrenzung ohne NTC ergibt einen weniger zeit- und temperaturabhängigen Wirkungsgrad.

Exemplarstreuungen: Jedes Bauteil hat Toleranzen und deshalb ist auch nicht jedes Gerät gleich. Um aber echte Fehler zu finden, misst PULS die Verluste auch in der Produktion sehr genau – wenn

auch nicht ganz so genau wie im Labor. Bei einem Fertigungslos von 200 Geräten des Typs CP10 wurde ein Mittelwert des Typs CP10 wurde ein Mittelwert von 95,27% mit einer Abweichung von $\pm 0,15\%$ gemessen. (Siehe Grafik 4)

Genau Wirkungsgradangaben einfordern

Einfacher als eigene Messungen sind natürlich die Spezifikationen eines Herstellers, falls er genau gemessen hat. Leider sind in den Datenblättern für diese sehr wichtige Eigenschaft oft nur pauschale Angaben vermerkt wie „Up to x % Efficiency“. Das ist eine Bestcase-Aussage und bedeutet eigentlich nur, dass dieser Wert nicht überschritten wird. Die Verluste bei verschiedenen Netzspannungen oder Belastungen werden z. B. nicht erwähnt. Deshalb werden die Anwender, die es genau wissen wollen, eine eigene Messung nicht vermeiden können. Oder sie gehen zu einem Hersteller, der ihnen exakte Angaben liefert. Aber auch dann kann eine eigene Nachmessung beruhigend sein.



Grafik 4:
In der PULS Produktion wurde bei einem Fertigungslos von 200 Geräten des Typs CP10 ein Wirkungsgrad-Mittelwert von 95,27% mit einer Abweichung von $\pm 0,15\%$ gemessen.

Über PULS

PULS ist das einzige Unternehmen weltweit, das sich voll und ganz auf die Entwicklung und Fertigung von Stromversorgungen für die Hutschiene konzentriert. Wir bündeln all unser Ingenieurwissen, unsere Kräfte und Energie, um in diesem Bereich Weltklasse zu sein. Durch diesen Fokus setzen wir mit unseren Produktfamilien DIMENSION, PIANO und MiniLine Standards in Bezug auf Wirkungsgrad, Baugröße und Lebensdauer.

[zur PULS Website](#)