

Schlussbericht November 2002

Energieeffizienz von Computer Netzgeräten

ausgearbeitet durch

Dr. Bernard Aebischer
cepe - Centre for Energy Policy and Economics - ETH Zürich
ETH-Zentrum, WEC, 8092 Zürich

Alois Huser
Encontrol GmbH
Römerweg 32, 5443 Niederrohrdorf

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung/Résumé/Abstract.....	1
Zusammenfassung	3
1 Hintergrund, Fragestellung und Vorgehen	5
2 Stromversorgung von IT-Geräten	8
3 Messanordnung.....	10
4 Wirkungsgradverlauf.....	11
4.1 Netzgeräte in PCs.....	11
4.2 Netzgeräte für Netzwerkkommunikationsgeräte	13
5 Leistungsfaktorkorrektur und Wirkungsgrad	17
5.1 Netzgeräte in PCs.....	17
5.2 Netzgeräte für Netzwerkkommunikationsgeräte	18
6 Arbeitspunkte.....	20
7 Massnahmen und Potenziale für eine effizientere Energienutzung.....	25
7.1 Zukünftige Trends in der Stromversorgung von IKT-Komponenten	25
7.2 Akteure, die Einfluss nehmen (können) auf die Energieeffizienz der Netzgeräte	25
7.3 Massnahmen zur Effizienzverbesserung der Netzgeräte und technische Potenziale	27
7.3.1 Netzgeräte richtig dimensionieren (Netzgeräte der richtigen Dimension einsetzen)	27
7.3.2 Hoher Wirkungsgrad für den Standby-Ausgang	29
7.3.3 Hoher Wirkungsgrad über einen breiten Betriebsbereich für die anderen DC-Ausgänge	30
7.3.4 Energieeffizienz der Stromversorgung.....	31
7.3.5 Nutzung des Powermanagements.....	32
7.4 Unterstützende Massnahmen.....	32
7.4.1 Energiedeklaration für Netzgeräte	33
7.4.2 Technische Anforderungen (freiwillige Vereinbarungen oder Zulassungsbedingungen) an Netzgeräte	33
7.4.3 Tiefere Grenzwerte von Energielabels für Endgeräte.....	34
8 Empfehlungen.....	35
Literaturverzeichnis	38
Anhang und Beilagen.....	39

Kurzfassung/Résumé/Abstract

Energieeffizienz von Computer Netzgeräten

Der Wirkungsgrad von Netzgeräten für Computer liegt bei einer Auslastung der Netzgeräte von über 20% zwischen 60% und 80%. Bei tieferer Auslastung sinkt der Wirkungsgrad rasch ab. Im praktischen Betrieb von PCs (Arbeitspunkt „ruhender Bildschirm“) wurden Auslastungen der Netzgeräte zwischen 14% und 25% und ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 66% gemessen.

Das benötigte Spannungsniveau auf der Ebene der Prozessoren beträgt heute nur noch 1.5 V und wird in Zukunft weiter sinken. Dazu wird die im Netzgerät produzierte Gleichspannung – typischerweise 12 V und 5 V oder 3.3 V - unmittelbar beim Endverbraucher nochmals auf ein tieferes Niveau transformiert. Für die ganze Kette von 230 V Wechselspannung bis hinunter auf 1.5 V Gleichspannung resultiert damit ein Gesamtwirkungsgrad von etwa 50%.

Die wichtigsten technischen Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz der Stromversorgung von IKT-Geräten sind:

- Verwendung eines Netzgerätes, das dem Leistungsbedarf des Endgerätes angepasst ist und bei einer Auslastung von 50% und mehr betrieben wird;
- Separat ausgelegte energieoptimierte Stromversorgung für den Betrieb der IKT-Geräte im Bereitschafts- oder Standby-Zustand.

Das technische Stromeinsparpotential dieser beiden Massnahmen liegt für PCs bei einem Drittel des heutigen Stromverbrauchs.

Auf politischer Ebene werden zwei prioritäre Stossrichtungen empfohlen:

- Einführung einer Energiedeklaration für Netzgeräte;
- Verschärfung der Anforderungen an den maximalen Leistungsbezug der IKT-Geräte im Bereitschafts-, Standby- und Aus-Zustand sowie Ausarbeitung von ähnlichen Anforderungen für den Leistungsbezug im On-Zustand.

Efficacité énergétique de l'alimentation en courant des ordinateurs

Le degré d'efficacité des alimentations en courant électrique pour les ordinateurs se situe entre 60% et 80% si l'alimentation est utilisée à plus de 20% de sa capacité nominale. L'efficacité tombe rapidement pour des taux d'utilisation plus bas. Lors d'une utilisation pratique d'ordinateurs personnels (point de travail "mode on, mais faible activité des processeur"), nous avons mesuré des taux d'utilisation de l'alimentation entre 14% et 25% et une efficacité moyenne de 66%.

La tension électrique des processeurs modernes est de 1.5 V et descendra encore plus bas dans l'avenir. Les niveaux de tension à la sortie de la boîte d'alimentation se situent entre 12 V et 3.3 V et sont ajustés au niveau final requis à l'endroit même de l'utilisation. Le degré d'efficacité de toute la chaîne de transformation de 230 V en courant continu à 1.5 V en courant continu atteint ainsi environ 50%.

Les mesures techniques les plus importantes pour augmenter l'efficacité de l'alimentation en courant électrique des équipements TIC sont:

- utiliser une boîte d'alimentation adaptée à 50% et plus de sa capacité nominale;
- concevoir une alimentation en courant séparée pour les modes d'utilisation standby des équipements TIC.

Le potentiel technique des économies de courant électrique est de l'ordre d'un tiers pour les ordinateurs.

Au niveau politique nous recommandons deux stratégies d'action:

- introduction d'une déclaration énergétique pour les boîtes d'alimentation;
- renforcement des exigences relatives à la puissance électrique des équipements TIC dans les modes standby et off ainsi que l'introduction d'exigences similaires pour le mode on.

Energy efficiency of computer power supplies

The efficiency of computer power supplies operated at least at 20% of their nominal power lies between 60% and 80%. At lower operating points the efficiency is decreasing rapidly. For PCs in actual use ("On-mode – but low processor activity") we measured operating points of the power supplies between 14% and 25% and a mean efficiency of the power supply units of 66%.

The voltage level of modern processors is as low as 1.5 V and will even decrease in the near future. The DC-output levels of a power supply unit lie usually between 12 V and 3.3 V and a secondary (or even third) power-transformation is needed at the electronic component itself in order to reach the 1.5 V level. The resulting overall efficiency of the power supply systems is therefore of the order of 50%.

The most important technical measures to increase the energy efficiency of the power supply system for ICT equipment are:

- using power supply units with an adequate nominal power in order to reach operating points of 50% or more;
- setting-up a separate power supply system from 230 V AC to 1.5 V DC for low power modes of the ICT equipments.

The technical saving potential of these two measures is for PCs of the order of 30% of today's electricity consumption.

At the policy level we recommend to pursue two strategies:

- introduction of an energy declaration for power supplies;
- reinforcement of the requirements of maximal power loads for ICT-equipments in low-power modes and elaboration of similar requirements for the power loads in the on-mode.

Zusammenfassung

Es ist allgemein bekannt, dass die Energieverluste der Stromversorgungsgeräte (Netzgerät, Power Supply Unit) für Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) einen bedeutenden Anteil an den Gesamtverlusten dieser Geräte haben. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie und mit finanzieller Unterstützung des Kantons Genf wird dieser Frage nachgegangen und insbesondere die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Auslastung des Netzgerätes untersucht und die Auslastung für typische Anwendungen bestimmt. Mögliche Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz werden vorgestellt und Empfehlungen zuhanden des Auftraggebers formuliert.

Die Netzgeräte produzieren verschiedene Spannungsniveaus, die typischerweise zwischen 3.3 bis 12 V liegen. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von 230 V Wechselspannung auf 12 V Gleichspannung beträgt bei einer Belastung von mehr als 20 Prozent der Nennleistung des Netzgerätes zwischen 70 und 80 Prozent. Unter dieser Belastung sinkt der Wirkungsgrad rasch ab. In der Mehrzahl der ausgemessenen Geräte ist der Wirkungsgrad des Ausgangs auf dem Spannungsniveau 5 V vergleichbar mit den 12 V. Falls der Ausgang auf dem tieferen Spannungsniveau mittels Abwärtswandler aus der 12 V oder 5 V Spannung abgeleitet ist, was für alle untersuchten 3.3 V Ausgänge (und teilweise auch für die 5 V Ausgänge) der Fall ist, sinkt der Wirkungsgrad um etwa 10 Prozent.

In der Praxis (Arbeitspunkt „ruhender Bildschirm“) liegt die Auslastung des Netzgerätes bei fünf gemessenen PC zwischen 14% und 25%. Mit dieser tiefen Auslastung liegen sie im stark abfallenden Bereich der Wirkungsgradkurve. Der Wirkungsgrad ist entsprechend tief und liegt im Durchschnitt bei 66%. Das benötigte Spannungsniveau auf der Ebene der Prozessoren beträgt heute nur noch 1.5 V und wird in Zukunft noch weiter sinken. Dazu wird die im Netzgerät produzierte Spannung unmittelbar beim Endverbraucher nochmals auf ein tieferes Niveau transferiert. In der ganzen Kette von 230 V Wechselspannung bis hinunter auf 1.5 V Gleichspannung resultiert damit ein Gesamtwirkungsgrad von etwa 50%.

Die wichtigste Massnahme zur Erhöhung der Energieeffizienz ist die Verwendung eines Netzgerätes, das dem Leistungsbedarf des Endgerätes angepasst ist. Das Ziel sollte eine Auslastung von 50% und mehr sein, wo der Wirkungsgrad des Netzgerätes maximal ist. Würden beispielsweise alle PCs in der Schweiz so betrieben, könnte gemäss einer ersten einfachen Schätzung eine Stromeinsparung von rund 55 GWh/Jahr (16% des Stromverbrauchs der PCs) erzielt werden.

Im Bereitschafts- oder Standby-Zustand benötigen heute viele Geräte der Informations- und Kommunikationstechniken nur noch wenige Watt bis sogar einige Milliwatt an elektrischer Leistung, was wenigen Prozent - oder sogar deutlich darunter - der Nennleistung des Netzgerätes entspricht. Für diese kleinen Leistungen sollte die Stromversorgung von der Steckdose bis hinunter auf die Niedergleichspannung getrennt und energieoptimiert ausgeführt sein. Damit könnten die Energieverluste des Netzgerätes im Bereitschafts-, Standby- oder Aus-Zustand des Endgerätes drastisch reduziert werden und der Leistungsbezug eines PC im Aus-Zustand z.B. von 4 Watt auf 1 Watt reduziert werden. Würden in der Schweiz alle PCs im sogenannten Aus-Zustand statt 4 nur noch 1 Watt benötigen, könnte gemäss einer ersten einfachen Schätzung eine Stromeinsparung von rund 62 GWh/Jahr (18% des Stromverbrauchs der PCs) erzielt werden. Falls beide

Massnahmen umgesetzt würden, ergäbe sich eine Stromeinsparung von insgesamt 117 GWh/Jahr.

Zuhanden des Auftraggebers empfehlen wir:

- das Forschungsthema von den Netzgeräten auf die Stromversorgung der Komponenten, der Geräte und der Gerätesysteme auszudehnen,
- die Erkenntnisse dieser Studie in die Ausbildung der Informatik-Lehrlinge einzubringen,
- im internationalen Rahmen eine Initiative für eine Energiedeklaration der Netzgeräte zu starten,
- im Rahmen der Arbeiten zur Aktualisierung und Weiterentwicklung der Energielabels zwei Richtungen zu verfolgen:
 1. die Verschärfung der Anforderungen an den Leistungsbezug der IKT-Geräte im Bereitschafts-/Standby-/Auszustand, und
 2. die Ausarbeitung von Anforderungen für den Leistungsbezug im On-Zustand.

1 Hintergrund, Fragestellung und Vorgehen

Der Elektrizitätsverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnologien liegt heute in der Schweiz bei ca. 10% des Landesverbrauchs (Aebischer et al., 2000); davon fällt rund die Hälfte bei Büro- und Unterhaltungsgeräten an und der Rest bei elektronischen Bauteilen, die überall in den Gebäuden, Fahrzeugen, Produktionsanlagen und alltäglichen Konsumgütern eingesetzt werden. Trotz extrem schnellen technischen Verbesserungen¹ auf der Ebene der Prozessoren nimmt der Stromverbrauch infolge zunehmender Verbreitung und intensiverer Nutzung alter Dienstleistungen und der Diffusion neuer Dienstleistungen stetig zu.

Untersuchungen und Pilotversuche – auch im Rahmen des Forschungsprogramms Elektrizität des Bundesamtes für Energie – haben gezeigt, dass grosse zusätzliche Stromeinsparungen möglich sind, wenn die effizientesten Geräte auf dem Markt (Laptop, LCD-Bildschirme, innovative Drucker) eingesetzt werden, wenn existierende Power-Management Systeme angewendet werden, wenn das Konzept und der Betrieb eines Netzwerkes auch bezüglich des Energieverbrauchs optimiert wird und wenn die zum Betrieb der Elektronik benötigte Infrastruktur energiegerecht konzipiert und betrieben wird.

Zur Infrastruktur gehört insbesondere die Stromversorgung, die in kleineren mobilen Geräten mittels Batterien und Ladegeräten und in grösseren festinstallierten Geräten im Allgemeinen mittels internen Netzgeräten erfolgt. Zu den Energieverlusten bei Ladegeräten sind insbesondere im Zusammenhang mit der fulminanten Entwicklung der Handys aber auch mit der Wahrnehmung der hohen Standbyverluste der Ladegeräte verschiedene Untersuchungen durchgeführt worden, die zu Massnahmen auf politischer Ebene geführt haben (freiwillige Vereinbarung Europäische Kommission²). Die internen Netzgeräte sind sehr viel weniger untersucht worden, insbesondere weil sie nicht so leicht zugänglich sind und messtechnisch höhere Anforderungen stellen. Im Rahmen der Pionierstudie „Die heimlichen Stromverbraucher“ (BFE, 1993) wurde auf die Vorteile der Schaltnetzteile gegenüber herkömmlichen Netzteilen – mit einem voluminösen und schweren 50 Hz-Netztransformator und hohen Standby-Verlusten – hingewiesen: Erhöhung des Wirkungsgrades von 30%-55% auf 60%-90%. Seit etwa dieser Zeit ist auch bekannt, dass die Büro- und Unterhaltungsgeräte im Normalbetrieb typischerweise einen elektrischen Leistungsbezug von nur etwa 30% bis maximal 50% der Nennleistung haben und dass die damals üblicherweise auf Nennleistungen basierten Auslegung der Infrastruktur, insbesondere von Lüftungs- und Kälteanlagen zur Wärmeabfuhr, sehr stark überdimensioniert waren. Bis heute kaum bekannt und beachtet ist die Auswirkung dieses Teillastbetriebs auf die relativen Energieverluste der Geräte.

Die Energieverluste der Stromversorgungsgeräte (Netzgerät, Power Supply) in Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) haben einen bedeutenden Anteil an den Gesamtverlusten dieser Geräte. Der Wirkungsgrad der Stromversorgungsgeräte liegt

¹ Der spezifische Verbrauch pro Rechenoperation oder Informationsübermittlung reduziert sich seit den Anfängen in der fünfziger Jahren alle zehn Jahre um einen Faktor hundert!

² *Code of Conduct on Efficiency of External Power Supplies* vom 15. Juni 2000

typisch bei 60-70%, variiert aber stark mit der Auslastung der Geräte (Betriebspunkt an dem die Netzgeräte betrieben werden) und sinkt bei sehr kleinen Auslastungen, z.B. im Sleep Modus (oder bei redundantem Betrieb) sehr stark ab. Von den Herstellern sind keine Angaben (Deklarationen) zum Verlauf des Wirkungsgrads in Abhängigkeit der Auslastung erhältlich. Eine bessere Kenntnis dieser Verluste ist die Basis zur Ausarbeitung von technischen und politischen Massnahmen, die energetischen Verluste in den Stromversorgungsgeräten der IKT-Geräte zu reduzieren.

Für die Massnahmenplanung stellt sich – ähnlich wie bei den Gebäuden – die Frage, ob energetische Anforderungen an das Endgerät (z.B. den PC) formuliert werden können, oder ob diese für einzelne Komponenten (z.B. die Netzgeräte) spezifiziert werden müssen. Das Interesse von technischen Spezifikationen für Netzgeräte liegt u. A. darin, dass damit eine energetisch wichtige Komponente von allen elektronischen Geräten behandelt wird. Gleichzeitig können damit neue Impulse zur Lösung der schwierigen Fragen betreffend energetischen Anforderungen für Geräte im On-Zustand (z.B. für PCs) gegeben werden.

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie und mit finanzieller Unterstützung des Kantons Genf und Eigenleistungen der SWICO (Schweizerischer Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik) und des CEPE (Centre for Energy Policy and Economics) sollen deshalb in der vorliegenden Studie die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wie sieht der Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Auslastung von typischen Stromversorgungsgeräten von PCs und Netzwerkkommunikations-Geräten aus?
- Wo liegen die typischen Betriebspunkte (Auslastung) bei PCs?
- Wie verhält sich der Wirkungsgrad mit den verschiedenen Nutzungen des PC's?
- Welche Akteure könnten durch welche Massnahmen zu einer Energieeffizienzsteigerung beitragen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden folgende Arbeitsschritte bearbeitet:

- Bestimmung des Betriebspunktes von typischen von PCs und Netzwerkkommunikations-Geräten
- Beschaffung von Stromversorgungsgeräten im IKT-Bereich und für die Wirkungsgradmessung benötigte technische Dokumentation
- Detaillierte Messung des Wirkungsgrads in Abhängigkeit des Betriebspunktes und weiterer energiewirtschaftlich relevanten Charakteristiken dieser Stromversorgungsgeräten
- Bestimmung des Wirkungsgrades von PC-Netzgeräten im praktischen Einsatz

Die Aufgabe erwies sich als unerwartet vielschichtig und langwierig und konnte nur dank der Unterstützung und dem Einsatz von vielen Personen, die nicht als Autoren dieses Berichts erscheinen, befriedigend gelöst werden. Wir möchten uns speziell bedanken bei den Herren

- Bruno Oldani (IBM-Schweiz) und Rolf von Reding (HP Schweiz) für die fachliche Unterstützung und die Zurverfügungstellung von Geräten

- Prof. Johann Kolar und seine Mitarbeiter Dr. Joachim Bazali und Peter Albrecht vom Institut für Leistungselektronik und Messtechnik an der ETHZ für die fachliche Unterstützung und die Zuverfügungstellung von Räumlichkeiten und Messgeräten
- Dr. Hubert Kaeslin vom Mikroelektronik Design Zentrum an der ETHZ für die freundliche Beratung zu Fragen der Stromversorgung von elektronischen Komponenten
- Dipl.-Ing. Johann Miniböck für die kompetente experimentelle Untersuchung des Wirkungsgrades von Netzgeräten
- Jürg Marti für die hilfreiche Mitarbeit bei der Ausmessung der ersten Netzgeräte
- Armin Brunner und Thomas Lier von der Sektion Kommunikation der Informatikdienste an der ETHZ, Franz Kuster und Willi Furter von der Sektion Helpdesk der Informatikdienste an der ETHZ für die freundliche Zurverfügungstellung von Netzgeräten

2 Stromversorgung von IT-Geräten

Die elektronischen Komponenten benötigen kleine Gleichspannungen von wenigen Volts. Die Netzwechselspannung von 230 V wird in einem Netzgerät (engl. Power Supply) gleichgerichtet und in eine oder mehrere Niederspannungen mit Gleichstrom transferiert. In IT-Geräten produzieren Netzgeräte üblicherweise die folgenden Spannungsniveaus:

- 12 V
- 5 V
- 3.3 V

Die CMOS-Technik hat sich als Basistechnologie für die Schaltungstechnik durchgesetzt. Bis ca. 1992 war eine Versorgungsspannung von 5V üblich. Seither wurde diese Spannung aus Rücksicht auf die Durchschlagsfestigkeit des Gate-Dielektrikums sowie auf die Gefährdung der Drain-Source-Strecke durch den Avalanche-Durchbruch sukzessive immer weiter abgesenkt. Bei stetig kleiner werdenden Abmessungen lassen sich unzulässige Feldstärken nur durch entsprechend skalierte Speisespannungen oder allenfalls andere Materialien vermeiden. Diese Entwicklung dürfte sich nach heutigem Stand der Kenntnisse bis in den Bereich 0.6V bis 0.9V fortsetzen (Kaeslin, H., 2002b). Als durchaus angestrebter positiver Nebeneffekt ist damit auch der elektrische Energiebedarf der Schaltung gesunken, da dieser im Quadrat proportional zu Speisespannung verläuft. Die Speisespannung der Prozessoren ist mit der heutigen 0.13µm-Technologie auf 1.5V gesunken. Mit diesem Spannungsniveau ist bei einer Leistungsaufnahme von 50 W ein Strom von 33 A verbunden. Um lange Leitungen zu vermeiden, wird daher die Spannung von 1.5V unmittelbar beim Prozessor oder sogar innerhalb des Chips in einem DC-DC-Wandler hergestellt. In modernen Mainboards von PCs hat die 5V-Versorgungsspannung nur noch eine untergeordnete Bedeutung (Netzgerät-Ausgangsleistungsanteil 2-3%). Etwa 2/3 der Leistung wird von der 12V-Schiene und ein Drittel von der 3.3V-Schiene bezogen (Windeck, Ch. 2002). Ab diesen Spannungen wird auf dem Board selber, wo nötig, weiter hinunter transformiert. DC-DC-Wandler haben gemäss Herstellerangaben einen Wirkungsgrad zwischen etwa 60 bis 95% mit einem typischen Bereich zwischen 80 und 90%. Reine „on-Chip-Wandler“ ohne externe Kapazitäten und Induktivitäten dürften schlechtere Wirkungsgrade haben (Kaeslin, H., 2002a).

In den meisten Bereichen der IKT-Geräte (mit Ausnahme eines teils der Audiogeräte) verwendet ein typisches Netzgerät heute die Technik der primärgetakteten Schaltregler. Dabei wird die Netzspannung gleichgerichtet und mit einem Schaltregler eine Wechselspannung mit einer Frequenz im Bereich von 20 bis 200 kHz erzeugt. Die Potenzialtrennung erfolgt mit einem Hochfrequenztransformator und die Sekundärspannung wird anschliessend gleichgerichtet, gesiebt und gelangt dann zum Verbraucher. Zur Regelung der Gleichspannung wird der Schalter auf der Primärseite verwendet (Bild 2-1). Der Vorteil dieser Technik ist der relativ hohe Wirkungsgrad, die geringe Grösse und das geringe Gewicht des HF-Transformators. Häufig wird die 12V- und 5V-Spannung direkt erzeugt und die 3.3V-Spannung mittels Abwärtswandler aus der 5V-Spannung abgeleitet. Der Wirkungsgrad der 3.3V-Spannung ist in diesem etwa 10 Prozentpunkte kleiner als bei den anderen Spannungen. Für die Erzeugung der Standbyspannung von 5V (5V SB) muss für einen guten Wirkungsgrad bei kleiner Leistung (Empfehlung ATX-Spezifikation max. 2.5 A = 12.5 W) alle Funktionsblöcke getrennt realisiert sein. Von aussen kann der Leistungsteil mit dem Signal *PS/ON* abgeschaltet

werden (z.B. wenn Gerät in einen Bereitschaftszustand versetzt ist und nur Strom vom Pin *+5V SB* bezieht).

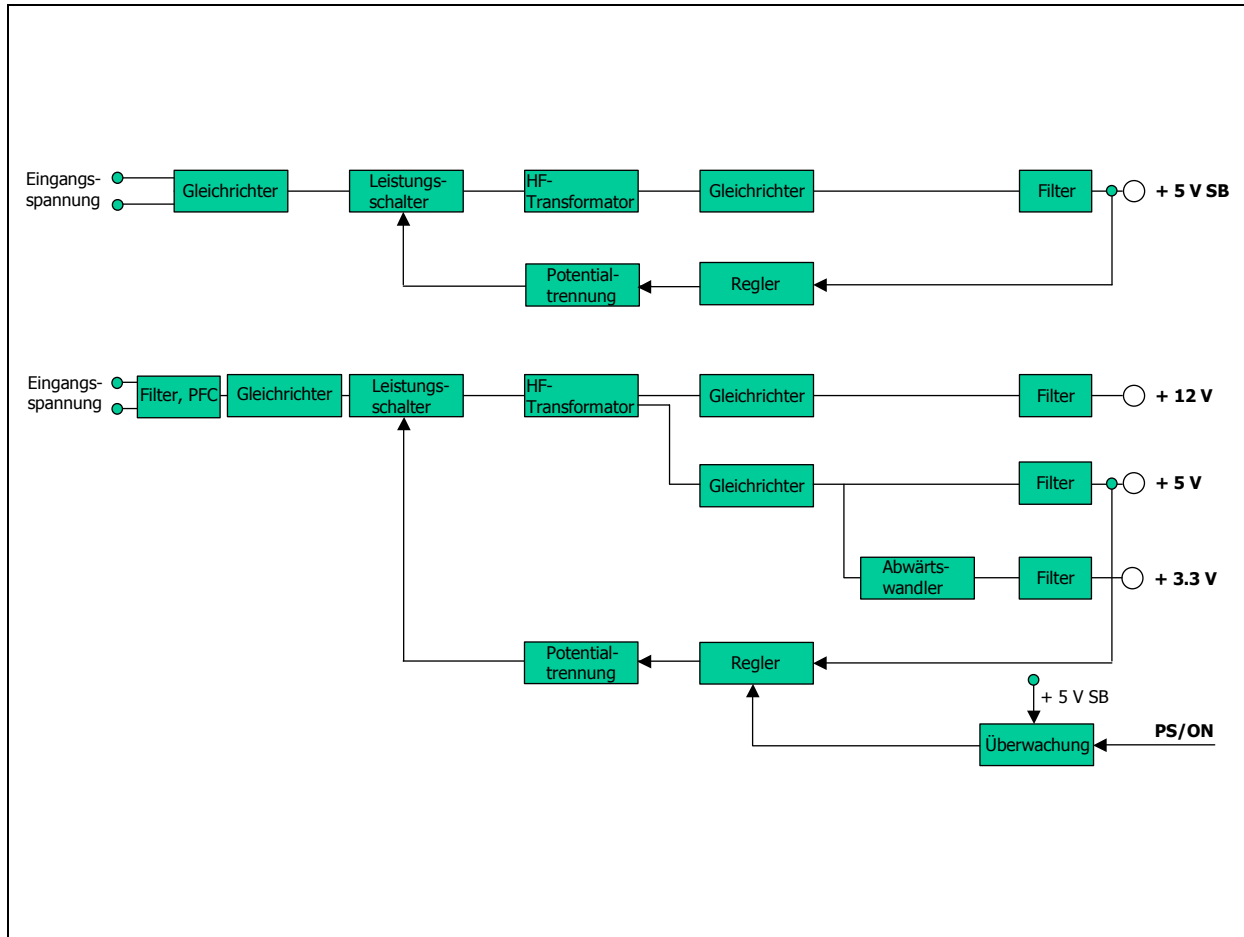


Bild 2-1 Vereinfachtes Funktionsblockschema eines Netzgerätes für PCs

3 Messanordnung

Um den Wirkungsgrad bei verschiedenen Lastpunkten zu bestimmen, werden die Ausgänge der Netzgeräte mit einer variablen und steuerbaren Last belastet (Bild 3-1).

Die Belastung des +12V Ausganges erfolgt durch ein Hochleistungs-IGBT-Modul im Konstantstrombetrieb. Die Gatespannung dieses Moduls wird mit einem Potentiometer eingestellt, um den Stromwert einstellen zu können.

Der +5V bzw. 3.3V Ausgang U2 wird ebenfalls mit einem IGBT-Modul belastet. Dieses IGBT-Modul wird wegen der höheren Gate-Threshold-Spannung mit einem externen Gleichspannungsnetzgerät angesteuert (U4) und stellt wieder eine Konstantstromlast dar.

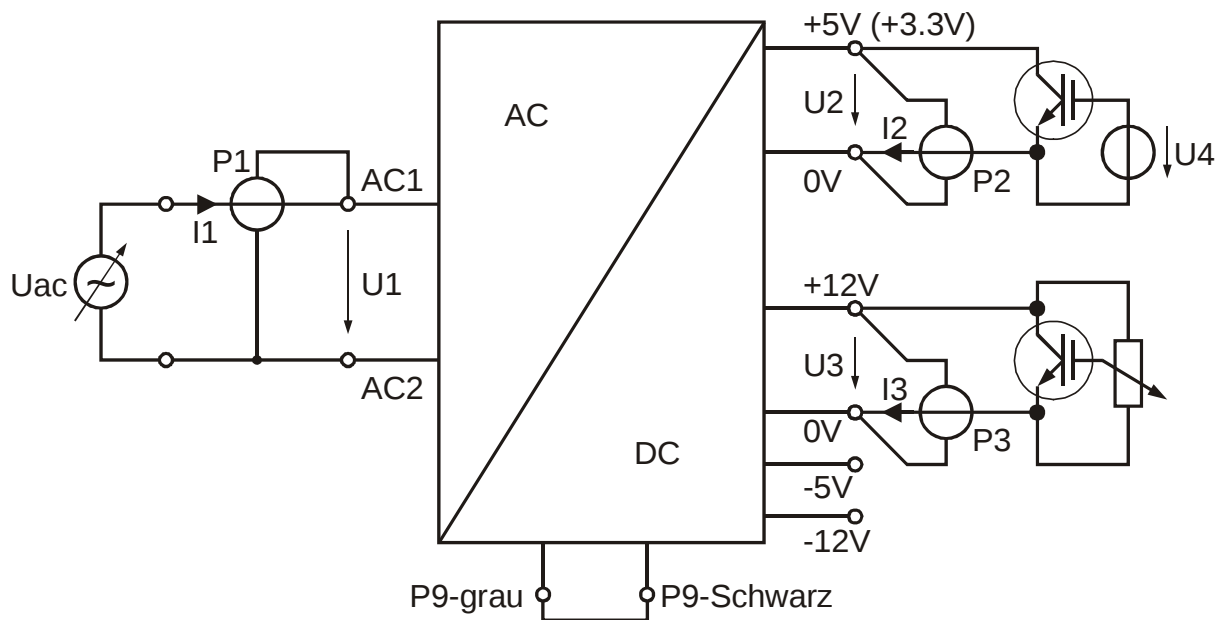


Bild 3-1 Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades eines Netzgeräts

Alle Ströme, Spannungen und Leistungen werden in einem LEM NORMA Power Analyzer NORMA 4000 gleichzeitig erfasst, wodurch eine Konsistenz der Messwerte sichergestellt werden kann. Die Genauigkeit des Power Analyzer ist mit $\pm 0.1\%$ pro Strom- bzw. Spannungskanal angegeben, wodurch sich eine Genauigkeit in der Leistungsmessung pro Kanal von $\pm 0.2\%$ ergibt. Die Gesamtgenauigkeit beträgt daher im schlimmsten Fall $\pm 0.4\%$.

Zwei Netzgeräte (Lead Year und HP) wurden in einer prinzipiell identischen Messanordnung mit älteren analogen Messinstrumenten ausgemessen.

4 Wirkungsgradverlauf

4.1 Netzgeräte in PCs

Es wurden die Wirkungsgrad von 4 Netzgeräte von Personal Computers ausgemessen:

- Netzgerät „Compaq“
- Netzgerät „Minebea 200W“
- Netzgerät „Lead Year“
- Netzgerät „HP“

Die Geräte „Lead Year“, „Compaq“ und „Minebea“ wurden zwischen 1990 und 1995 hergestellt. Das Gerät „HP“ hat Baujahr 2001.

Die elektrische Nennausgangsleistung variiert von 145 W (Compaq) bis 250 W (HP).

Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung auf die Stufe 5 und 12 V beträgt bei einer Belastung von grösser 20 Prozent der maximalen Nennleistung zwischen 70 und 80 Prozent (Bild 4-1, Bild 4-2). Unter dieser Belastung sinkt der Wirkungsgrad rasch ab (Bilder 4-1 bis 4-3 beispielhaft für das Gerät „Compaq“).

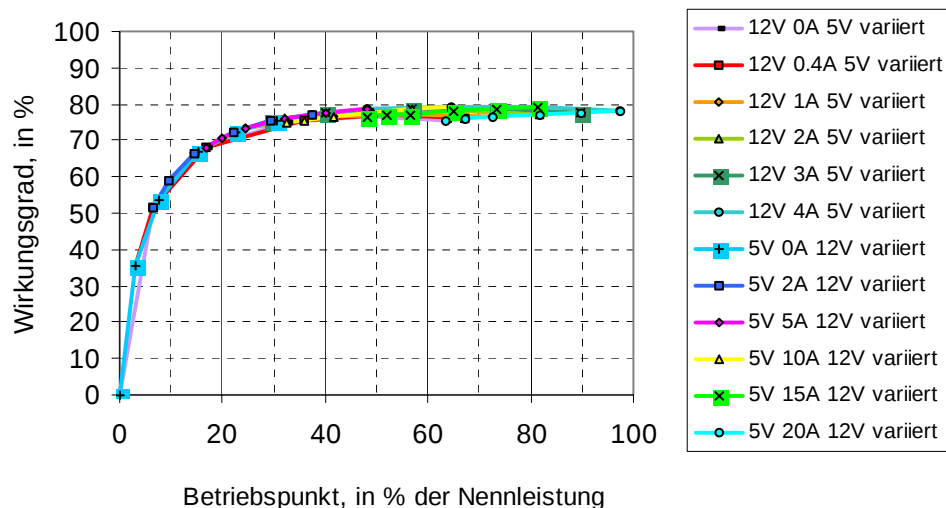


Bild 4-1 Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom Betriebspunkt bei systematischer Variation des Leistungsbezugs (Betriebspunkt, in% der Nennleistung) über den 5V und den 12V Ausgang (Netzgerät Compaq)

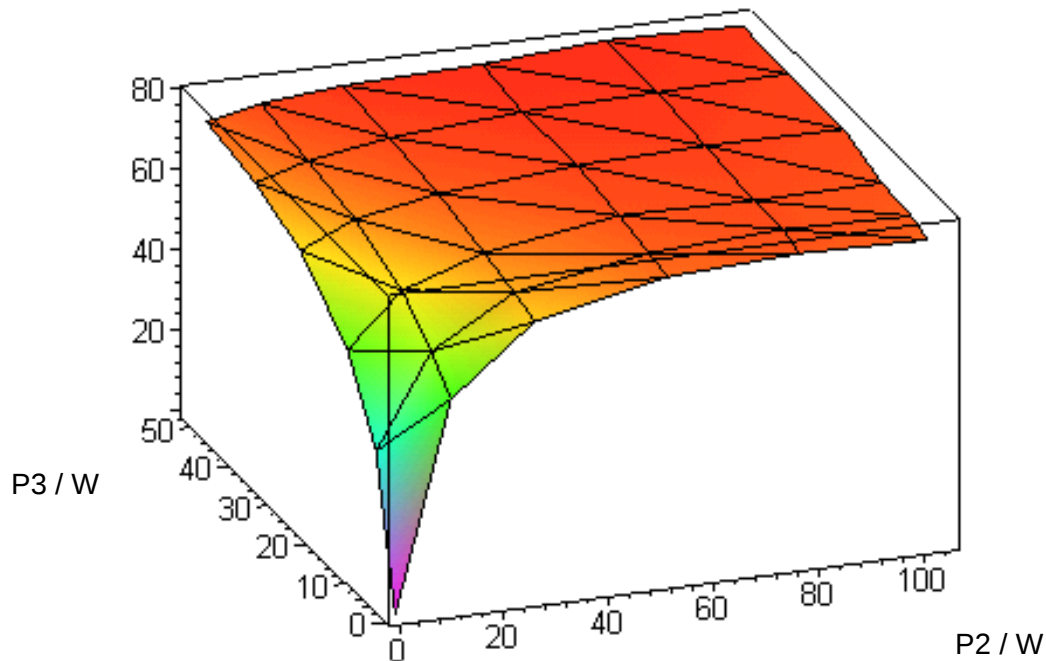


Bild 4-2 Dreidimensionale Darstellung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 (5V Ausgang) und P_3 (12V Ausgang) beim Gerät „Compaq“.

Falls der Ausgang auf dem tieferen Spannungsniveau von 3.3V belastet wird, sinkt der Gesamtwirkungsgrad um etwa 10 Prozent (Bild 4-3).

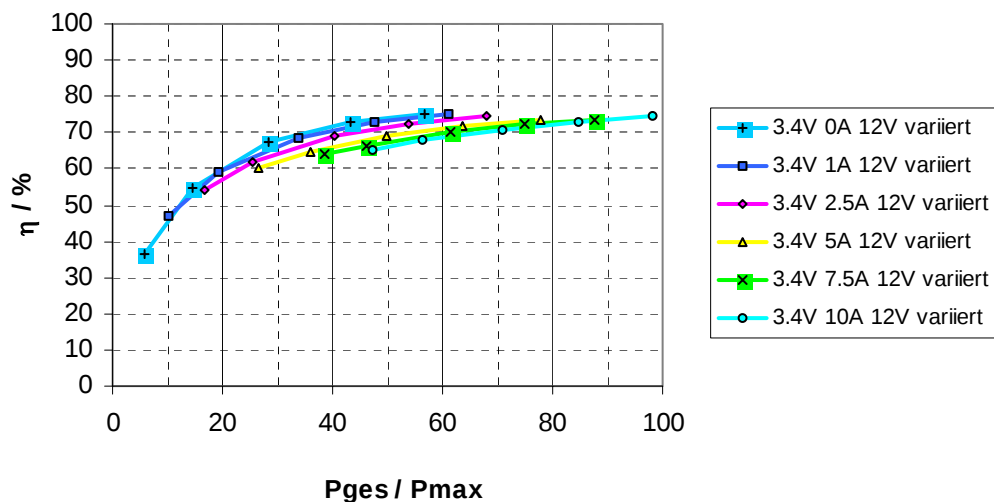


Bild 4-3 Abhängigkeit des Wirkungsgrades (η , in %) von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen (P_{ges}/P_{max} = Betriebspunkt, in % der

Nennleistung) des 3.4V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges beim Gerät „Compaq“.

Die Wirkungsgrade der drei anderen ausgemessenen Geräte „Lead Year“, „Minebea“ und „HP“ liegen in der gleichen Größenordnung (Messbericht mit Daten und Auswertungen im Detail siehe Anhang), wobei bei „Lead Year“, das nur die zwei Spannungsniveaus 12 V und 5 V aufweist, der Wirkungsgrad des 5 V Ausgangs ca. 10 Prozentpunkte niedriger liegt – vergleichbar mit dem 3.4 V Ausgang beim Gerät „Compaq“).

Die drei „älteren“ Netzgeräte weisen noch keinen speziellen Ausgang „5V Standby“ auf, wie er seit einiger Zeit in der ATX-Spezifikationen (Intel Corporation 2002) vorgegeben ist. Dieser Ausgang dient dazu, die Verbraucher zu speisen, wenn der PC durch das Powermanagement in einen Bereitschaftszustand (auch bekannt unter verschiedenen Begriffen wie Standby, Sleep, Suspend to RAM) geschaltet wird. In diesem Zustand benötigen PC eine Leistung von wenigen Watt. Sie arbeiten so in einem Lastbereich um 1 bis 5 Prozent des Nennlastbereichs. In diesem Bereich wird mit dem speziellen Ausgang „5V SB“ ein Wirkungsgrad von 30% bis 60% erreicht, was einer substantiellen Verbesserung gegenüber dem normalen „5V-Ausgang“ bedeutet (Bild 4-4).

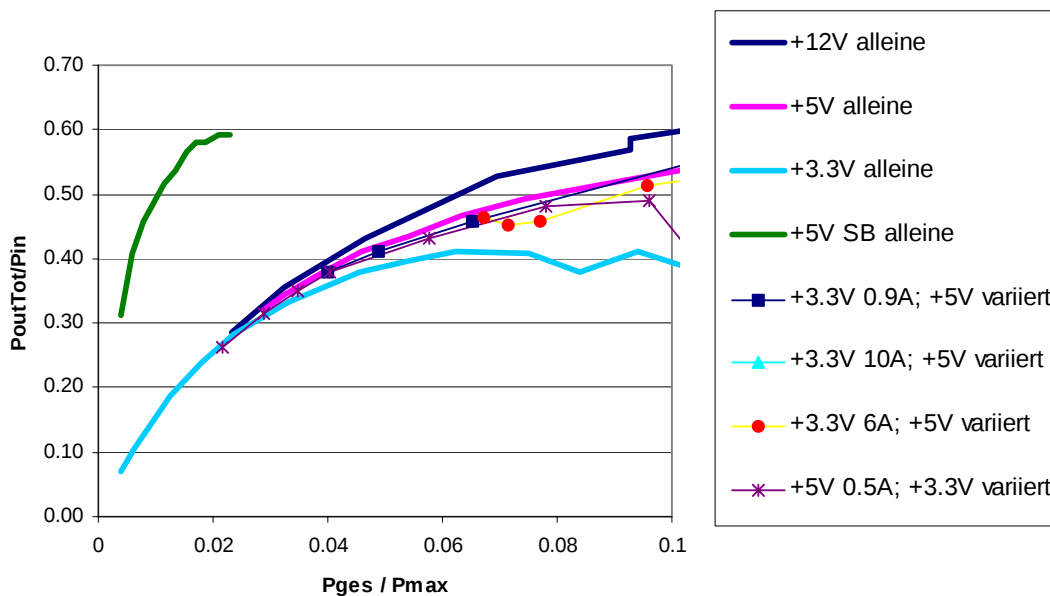


Bild 4-4 Abhängigkeit des Wirkungsgrades bei Belastung von einzelnen Ausgängen und bei systematischer Variation des 5V und des 3.3V Ausganges beim Gerät „HP“.

4.2 Netzgeräte für Netzwerkkommunikationsgeräte

Es wurden die Wirkungsgrad von 2 Netzgeräten ausgemessen:

- Netzgerät „Cisco 34-0873-01“
- Netzgerät „Artesyn Baynet AC/PS“

In beiden Geräten wird die Eingangsspannung durch den einphasigen PFC (Power Factor Correction = Leistungsfaktorkorrektur) auf eine gemeinsame Zwischenkreis-

spannung von ca. 380V DC hochgesetzt. Aus dem gemeinsamen Zwischenkreis werden dann durch unabhängige Gleichspannungs- Gleichspannungs- Konverter (DC/DC Konverter) die Ausgänge erzeugt (12V und 5.2V) (Bild 4-5).

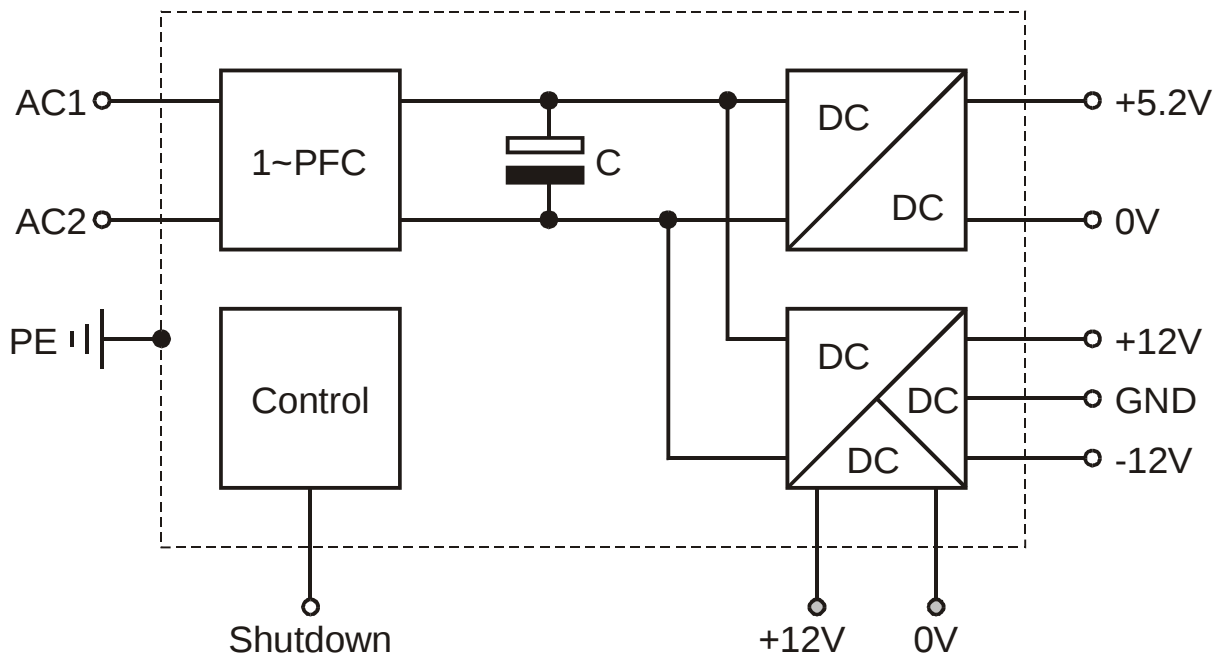


Bild 4-5 Struktur des Netzgerätes

Das Cisco-Netzgerät wurde von Ascom Energy Systems Limited gefertigt. Es zeichnet sich durch eine Ausgangsspannung von 12V und einem weiten Eingangsspannungsbereich aus. Die maximale Ausgangsleistung des Gerätes beträgt 400W.

Im Artesyn-Netzgerät beträgt die gesamte maximale Ausgangsleistung 660 W.

Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung auf die Stufe 5 und 12 V beträgt beim Artesyn-Netzgerät bei einer Belastung von grösser 20 Prozent der maximalen Nennleistung zwischen 70 und 80 Prozent (Bild 4-6, Bild 4-7). Unter dieser Belastung sinkt der Wirkungsgrad rasch ab. Dieser Wirkungsgrad liegt in der gleichen Grössenordnung wie bei den gemessenen PC-Netzgeräten.

Beim Cisco-Netzgerät liegt der Wirkungsgrad für die Umwandlung auf das Niveau 12V bei einer Belastung von grösser 20 Prozent der maximalen Nennleistung zwischen 80 und 90 Prozent (Bild 4-8). Unter einer Belastung von 10% sinkt der Wirkungsgrad rasch ab.

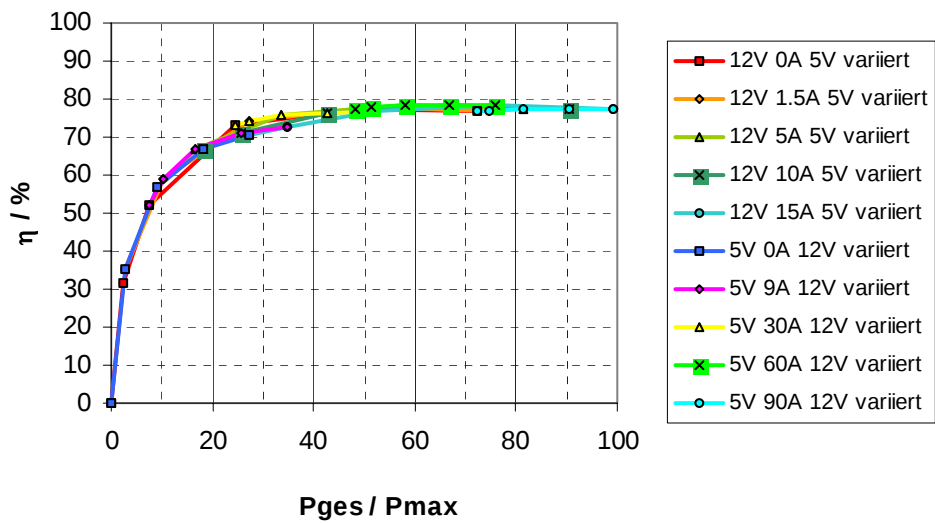


Bild 4-6 Abhängigkeit des Wirkungsgrades bei Belastung bei systematischer Variation beider Ausgänge beim Gerät „Artesyn“.

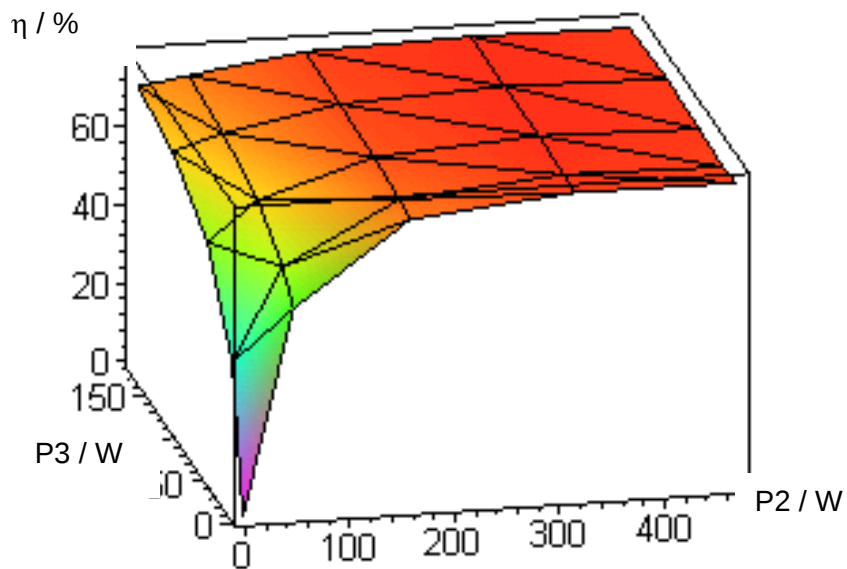


Bild 4-7 Dreidimensionale Darstellung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 und P_3 beim Gerät „Artesyn“.

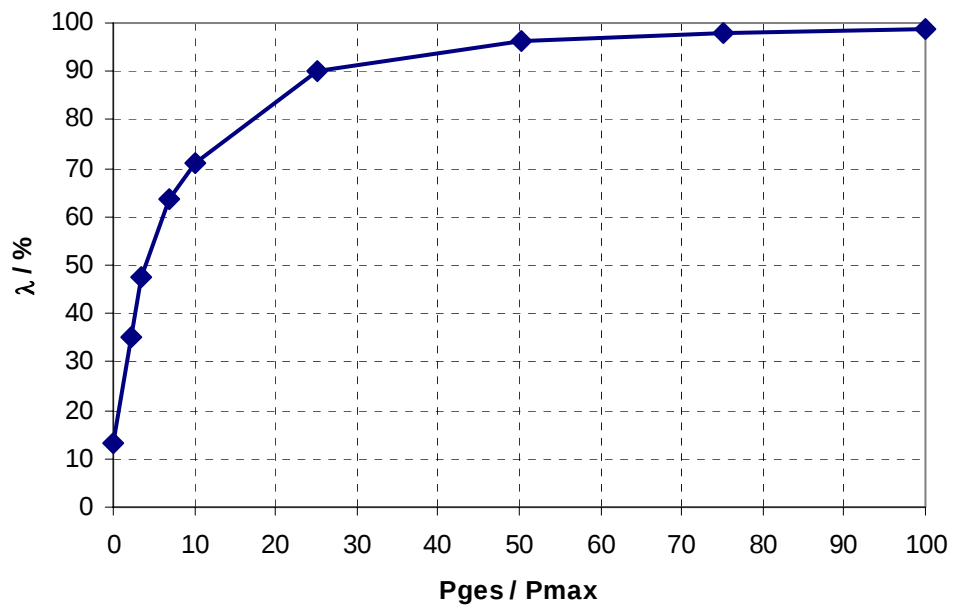


Bild 4-8 Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung beim Gerät „Cisco“.

5 Leistungsfaktorkorrektur und Wirkungsgrad

5.1 Netzgeräte in PCs

Bei Netzgeräten für PCs wurde der Leistungsfaktor bis vor kurzem nicht korrigiert (kein sogenanntes Power Factor Correction PFC) und ist daher relativ tief (50 bis 60% bei guter Auslastung). Wird der Leistungsfaktor passiv korrigiert (Einfügen einer Reiheninduktivität im Eingangskreis) liegt der Leistungsfaktor bei einer Auslastung von grösser 30% in der Größenordnung von 70 bis 80%. Bei einer tieferen Auslastung sinkt er stark ab (Bild 5-1). Wie beim Wirkungsgrad gilt auch hier, dass der Leistungsfaktor bei Belastung des 3.4V-Ausganges tiefer liegt als beim Spannungsniveau 5 und 12 V (Bild 5-2).

Im Gerät „Minebea“ wird im Gegensatz zum Geräten „Compaq“ keine Korrektur gemacht und der Leistungsfaktor liegt somit beim Gerät „Minebea“ um etwa 15% tiefer (Bild 5-3).

Bei einer aktiven (mit PWM-Schaltregler) Leistungsfaktorkorrektur würde der Wert zwischen 90% und 100% liegen.

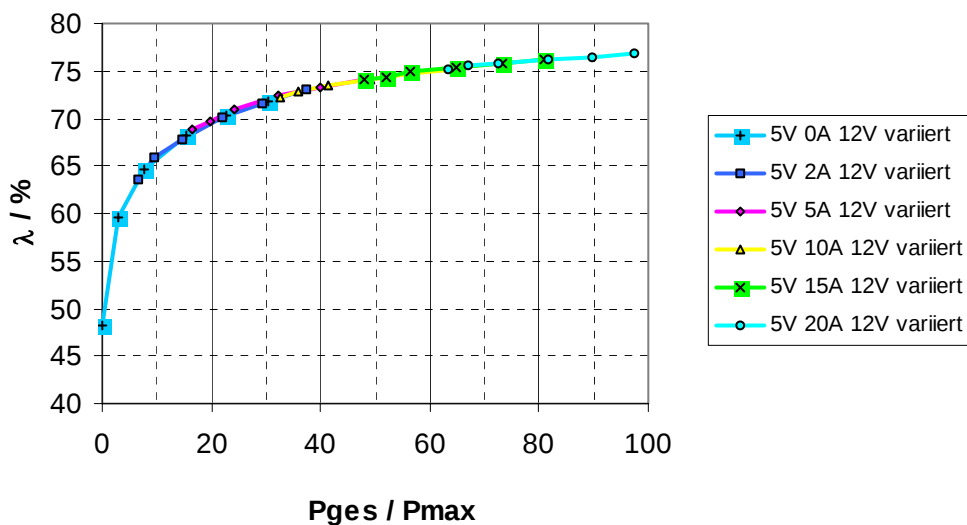


Bild 5-1 Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und des 12V Ausganges beim Gerät „Compaq“.

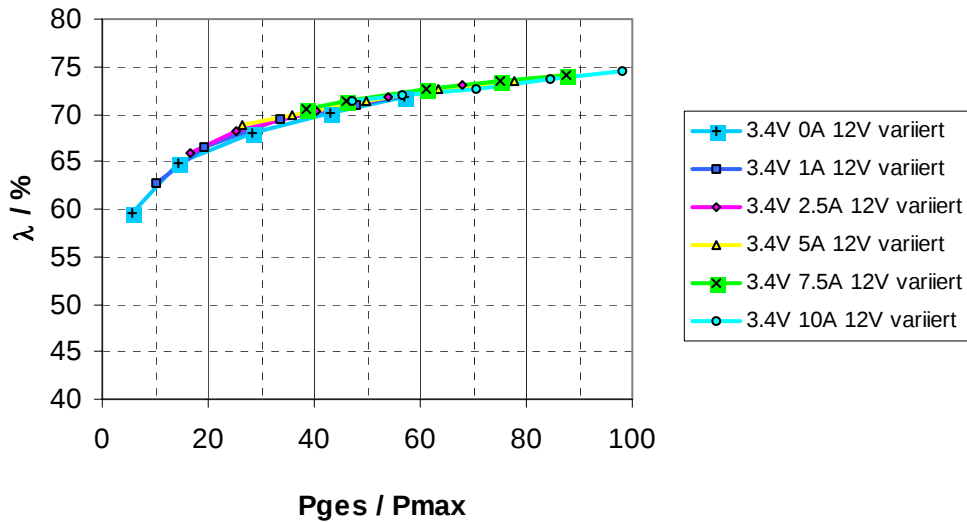


Bild 5-2 Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.4V und des 12V Ausganges beim Gerät „Compaq“.

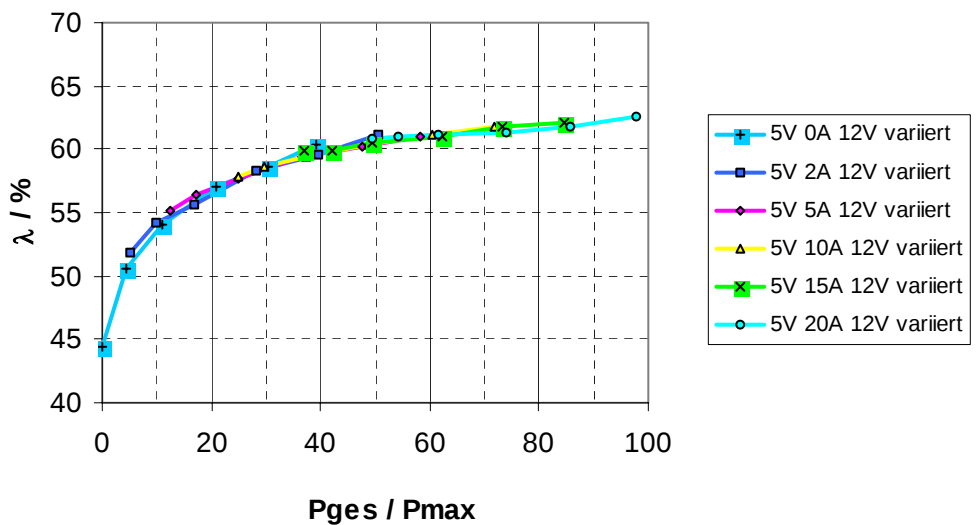


Bild 5-3 Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und des 12V Ausganges beim Gerät „Minebea“.

5.2 Netzgeräte für Netzwerkkommunikationsgeräte

Bei Netzgeräten für Geräte der Netzwerkkommunikation wird der Leistungsfaktor normalerweise durch ein aktives (mit PWM-Schaltregler) Power Factor Correction PFC korrigiert. Bei einer Auslastung von grösser 30% liegt er in der Grössenordnung von 90 bis 100%. Bei einer tieferen Auslastung sinkt er stark ab (Bild 5-4, Bild 5-5).

Der PFC arbeitet beim Netzgerät „Cisco“ deutlich besser als beim „Artesyn- Netzgerät“.

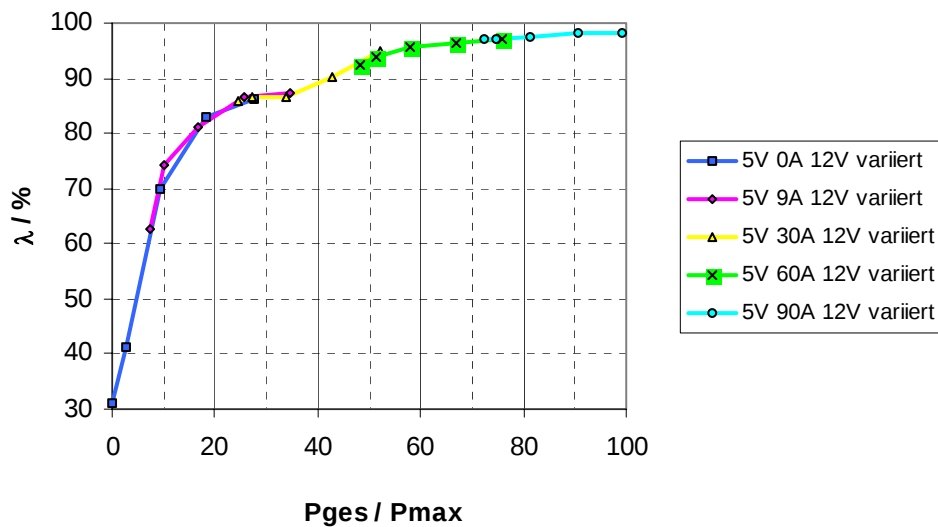


Bild 5-4 Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung beim Gerät „Artesyn“.

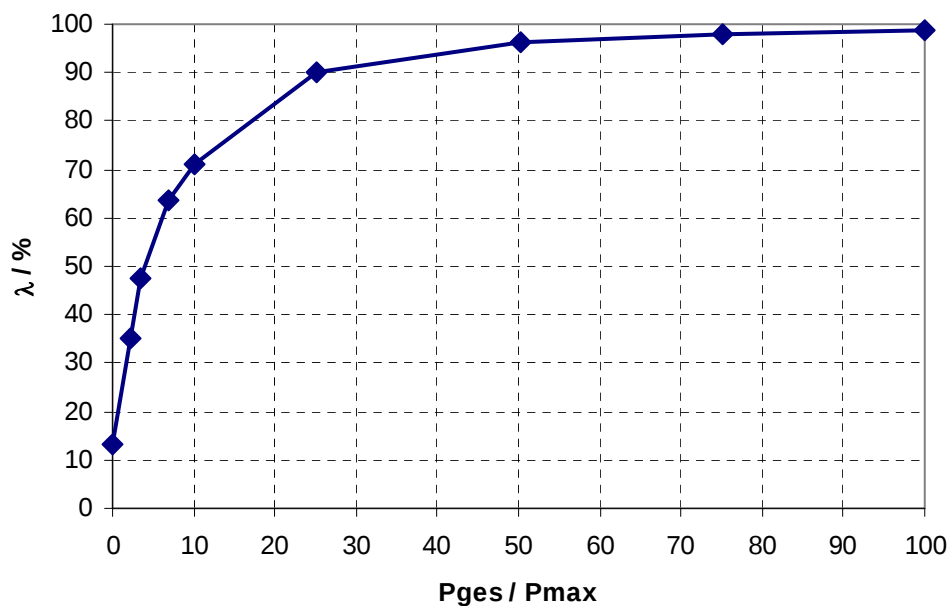


Bild 5-5 Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung beim Gerät „Cisco“.

Der energetische Wirkungsgrad eines PFC beträgt ca. 92...95%, ein herkömmlicher Brückengleichrichter weist demgegenüber einen energetischen Wirkungsgrad besser 99% auf. Im unteren Belastungsbereich (< 30%) ist ein PFC nicht mehr sinnvoll, da dessen Wirkung gering ist und der Wirkungsgrad verschlechtert wird.

6 Arbeitspunkte

Wie in Kapitel 2 ausgeführt, wird die Spannungsversorgung in einem PC über verschiedene Stufen ausgeführt. In einem Netzgerät werden Zwischenspannungen erzeugt, welche dann auf dem Mainboard des Rechners weiter transformiert werden. Der Gesamtwirkungsgrad des Netzgerätes hängt wie in Kapitel 5 gezeigt von der Verteilung der Last auf die verschiedenen Spannungsniveaus des Netzgerät-Ausganges und von der Gesamtbelastung des Netzgerätes im Verhältnis zur maximalen Nennlast ab. In 5 PCs verschiedener Prozessorgenerationen (Pentium 3, 700 MHz bis Pentium 4 2.2 GHz) ist der Wirkungsgrad bei verschiedenen Arbeitspunkten gemessen worden (Tab. 6-1). Die folgenden Arbeitspunkte wurden analysiert:

- Prozessor 100% ausgelastet
- ohne externe Beeinflussung (Arbeit) mit ruhendem Bildschirm
- Standby
- Aus

Mit einem Leistungsmessgerät am Eingang und Strommessgeräten am Ausgang wurden die elektrischen Leistungen gemessen und berechnet (Bild 6-1).

PC	Netzgerät	Nennleistung Netzgerät [W]	Mikroprozessor, Frequenz, RAM	Peripherie- komponenten
Indiv. konfiguriert	Octek	250	Pentium 3, 866 MHz 256 MB	2xCD-ROM, ZIP- Laufwerk, Floppy- Laufwerk, 2xHarddisk
Indiv. konfiguriert	PowerMan	300	Pentium 3, 866 MHz 256 MB	2xCD-ROM, ZIP- Laufwerk, Floppy- Laufwerk, 2xHarddisk
Fujitsu/Siemens Cordant	Fortron	250	Intel Pentium 3, 700 MHz, 128 MB	1xCD-ROM, Floppy- Laufwerk, 1xHarddisk
HP Vectra VL 420 MT	Lite_ON (HP_1)	250	Intel Pentium 4, 2.2 GHz, 256 MB RAM	1xCD-ROM, Floppy- Laufwerk, 1xHarddisk
HP e-pc 42	Delta Electronics (extern) (HP_2)	150	Intel Pentium 4, 1.8 GHz, 256 MB	1xCD-ROM, 1xHarddisk

Tab. 6-1 Daten der ausgemessenen Geräte

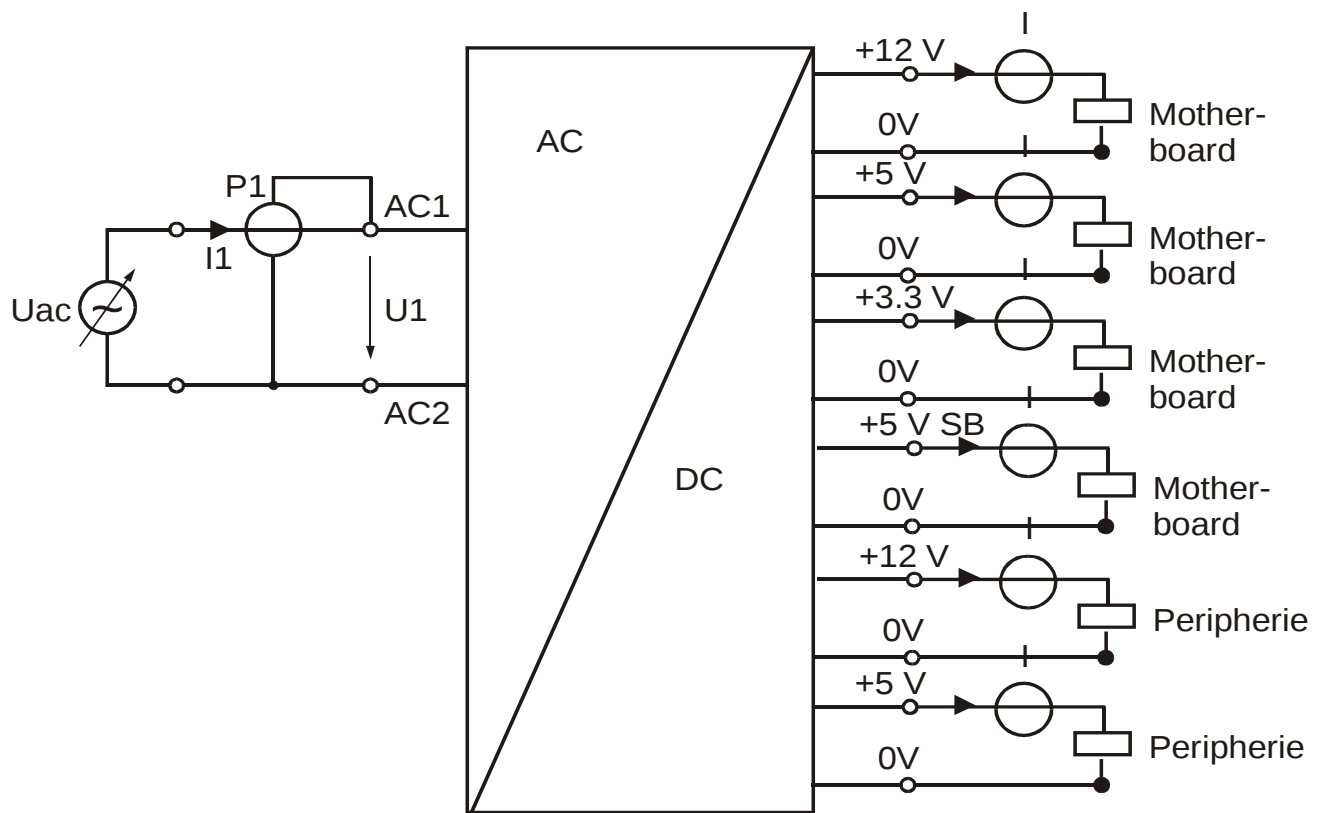


Bild 6-1 Messanordnung

Die Netzgerätauslastung im Arbeitspunkt „ruhender Bildschirm“ der PCs liegt zwischen 14 und 25% (Mittelwert 20.2%). Damit verbunden sind Wirkungsgrade zwischen 57 und 78% (Mittelwert 65.6%) (Bild 6-2).

Die Netzgeräte produzieren ein Spannungsniveau von 3.3 bis 12 V. Das schlussendlich benötigte Spannungsniveau auf der Ebene der Chips kann aber nur noch 1.5 V betragen. Bei der dazu notwendigen DC-DC-Wandlung kann bei Einsatz von Schaltreglern (Abwärts-wandler oder engl. buck converter) etwa mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 85% (50%-65% bei Einsatz von linearen Spannungsreglern) ausgegangen werden (Herstellerangaben). In der ganzen Kette von 230 V Wechselspannung bis hinunter auf 1.5 V Gleichspannung resultiert somit ein Gesamtwirkungsgrad von etwa 50%.

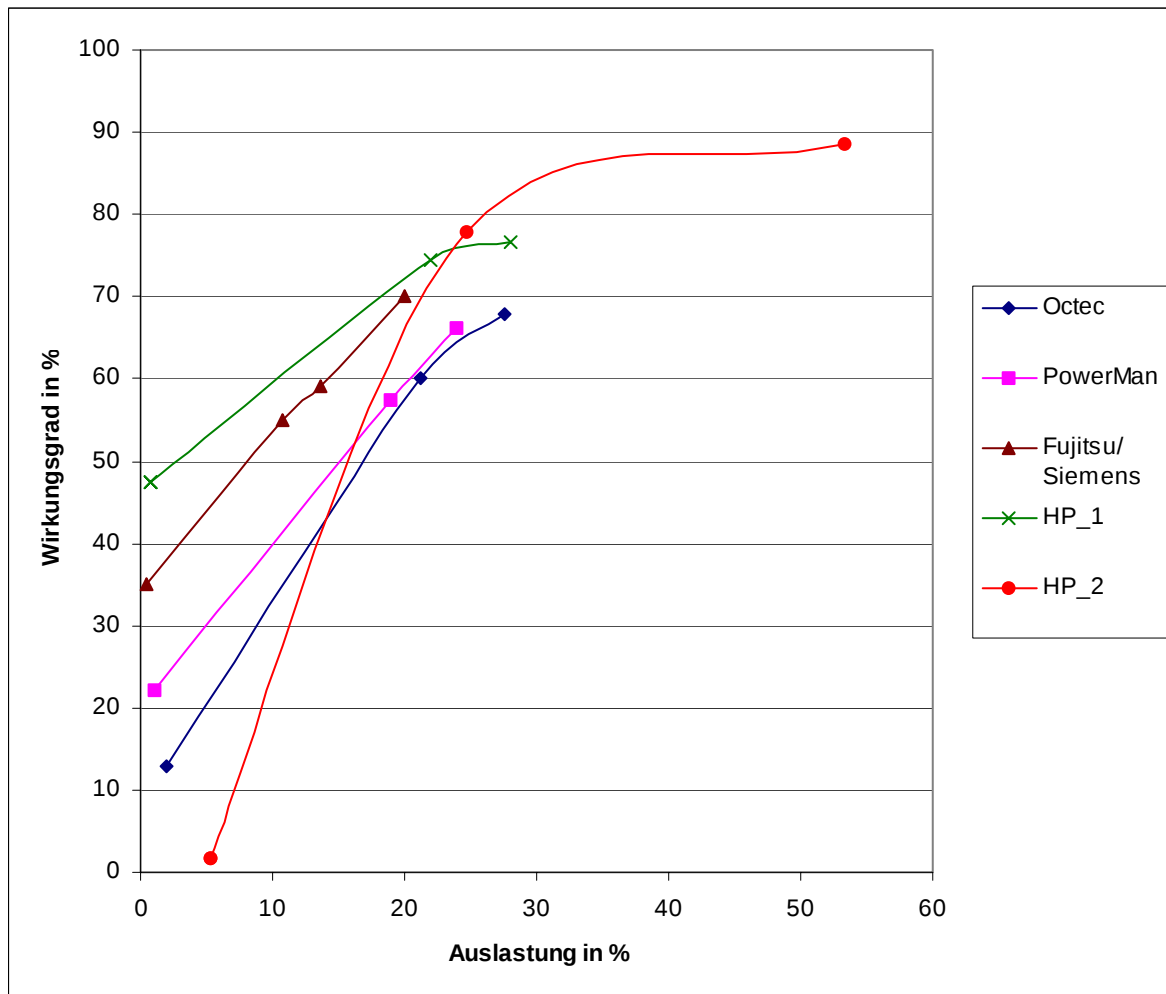


Bild 6-2 Arbeitspunkt und Wirkungsgrad bei verschiedenen PCs

Im Standby- und im Aus-Betrieb liegen die Wirkungsgrade zwischen 2 und beinahe 50%. Diese grossen Unterschiede haben elektrische Wirkleistungen am Eingang zwischen 1 und 8 W zur Folge.

Der PC „HP e-pc“ mit einem Intel Pentium 4 Prozessor bezieht die Energie ab dem Netzgerät auf einem Spannungsniveau von +12V und +19V, anstatt der bisher üblichen +5V oder +3.3V. Die Wandlung auf die Prozessorspannung von 1.5V geschieht durch eine DC-DC-Wandlung auf dem Motherboard. Das Netzgerät ist nicht im PC-Gehäuse eingebaut, ist hermetisch verschlossen und weist somit keine aktive Lüftung auf. Es fällt der sehr hohe Wirkungsgrad dieses Netzgerätes bei einer hohen Auslastung auf.

Bei drei PCs wird das Netzgerät praktisch nur auf der +5V-Schiene belastet (Tab. 6-2). Bei den PCs des Herstellers „HP“ belastet der Prozessor den 12V-Ausgang des Netzgerätes.

PC und Betriebszustand	+19V	+12V	+5V	+3.3V
Indiv. konfiguriert				
Desktop ruhend	-	14	86	0
Prozessor belastet	-	7	93	0
Indiv. konfiguriert				
Desktop ruhend	-	18	82	0
Prozessor belastet	-	10	90	0
Fujitsu/Siemens Cordant				
Desktop ruhend	-	15	85	0
Prozessor belastet	-	7	93	0
HP Vectra VL 420 MT				
Desktop ruhend	-	20	1	79
Prozessor belastet	-	32	1	67
HP e-pc 42				
Desktop ruhend	42	58	-	-
Prozessor belastet	19	81	-	-

Tab. 6-2 Verteilung der Leistungen für das Mainboard auf die verschiedenen Spannungsniveaus bei 5 PCs

Die hohe Wärmelast des Prozessors (typischerweise 30 W/cm^2 , zum Vergleich eine elektrische Kochplatte hat etwa 7 W/cm^2) kann nur mit einer aktiven Lüftung abgeführt werden. Die dazu benötigten Lüfter sind mit Lärmemissionen verbunden. Durch eine Drehzahlregulierung kann die Drehgeschwindigkeit und damit der Lärm heraufgesetzt werden, wenn die Wärmeproduktion zeitweise gesenkt werden kann. Heutige Prozessoren passen die elektrische Leistungsaufnahme der Prozessorbelastung dynamisch an. Dies wird durch ein sogenanntes Clock-Gating (die Clockfrequenz wird gestoppt), der Abschaltung der Spannungsversorgung nicht benötigter Prozessorteile oder einer Reduktion der Taktfrequenz erreicht. In der Praxis hat dies beispielsweise die folgenden Auswirkungen bei der Arbeit mit einem PC des Typs „HP e-pc“. Bei ruhendem Bildschirm benötigt der PC eine elektrische Leistung von 36 W (Prozessorauslastung 1-4%). Bei einer Prozessorauslastung von 100% (z. B. Einschalten des Bildschirmschoners mit komplizierten Bewegungsmustern) nimmt der PC 63 W auf. Dies ist eine Erhöhung um 75%.

An einem typischen Arbeitstag mit hauptsächlichlicher Schreibearbeit im Office-Programm „Word“ betrug die durchschnittliche Prozessorauslastung 7% und der durchschnittliche elektrische Leistungskonsum 40 W . Bei einer vermehrten Prozessorbelastung (Arbeit eines Softwareentwicklers) steigt die durchschnittliche Prozessorauslastung auf 16.3% (Bild 6-3) und die elektrische Leistung auf 44 W . Die beiden Untersuchungen ergeben Hinweise, dass der durchschnittliche Arbeitspunkt bei einem PC, welcher an einem Büroarbeitsplatz eingesetzt wird, erstens nicht so sehr von der Art der Arbeit abhängt und zweitens dass der Arbeitspunkt 10 bis 20% über dem Arbeitspunkt „ruhender Bildschirm“ liegt. Für erhärtete Erkenntnisse müssten in dieser Frage aber umfangreichere Untersuchungen durchgeführt werden.

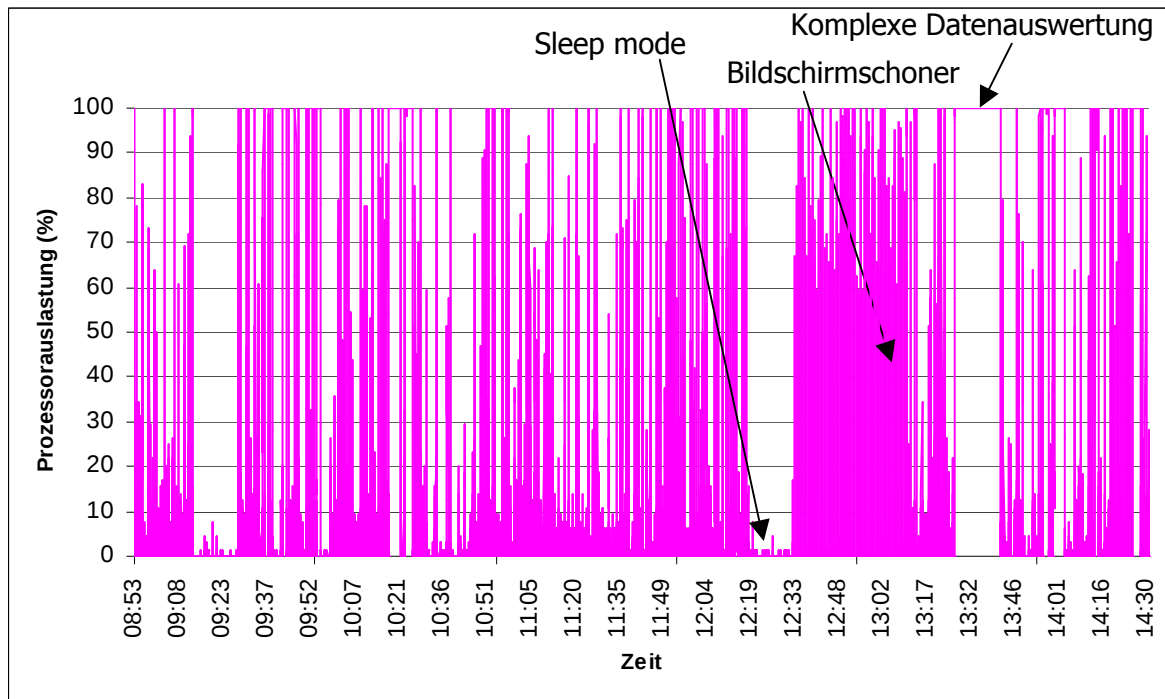


Bild 6-3 Prozessorauslastung bei einem EDV-Entwicklungsarbeitsplatz

7 Massnahmen und Potenziale für eine effizientere Energienutzung

7.1 Zukünftige Trends in der Stromversorgung von IKT-Komponenten

Die Versorgungsspannungen für die Prozessoren werden weiter sinken und die Ströme ansteigen. Gleichzeitig nehmen die Anforderungen an die Dynamik (schnelle Strombedarfschwankungen) zu. Dies wird zu vermehrten dezentralen Spannungsversorgungen unmittelbar am Ort eines Verbrauchers führen (Margaritis und Ide 2001). Durch die primäre Spannungswandlung im klassischen Netzgerät werden nur noch eine oder einige wenige Gleichspannungen erzeugt, welche dann im Gerät verteilt (DC-Bus) und am Verbraucher (Chip) auf die notwendige Spannung hinunter transformiert wird (DC/DC-Wandlung).

Für eine energieeffiziente Stromversorgung sind deshalb nicht mehr nur die Netzgeräte sondern auch die nachfolgenden DC/DC-Wandlungen zu beachten. Eine solche umfassende Betrachtung war nicht Thema des vorliegenden Projekts. Im Rahmen eines Folgeprojekts könnten dazu in Zusammenarbeit mit Spezialisten an der ETH grundsätzliche Aussagen ausgearbeitet werden. Bei der Diskussion der Massnahmen und in den Empfehlungen gehen wir jedoch auf diese neue Entwicklung ein: Anforderungen an den Energieverbrauch der IKT-Geräte (z.B. PC) haben gegenüber Anforderungen an die Netzgeräte den Vorteil, dass sie die Energieeffizienz der gesamten Stromversorgung (inkl. DC/DC-Wandlungen) einbeziehen.

7.2 Akteure, die Einfluss nehmen (können) auf die Energieeffizienz der Netzgeräte

Im Rahmen dieses Projekts konnte keine detaillierte Akteuranalyse vorgenommen werden. Dazu müsste der Markt segmentiert werden nach Gerätetypen und Einsatzgebieten (z.B. aus betriebswirtschaftlicher Sicht nach KMU, Grossbetriebe, öffentliche Hand oder Privatkunde). Die Charakterisierung der verschiedenen Akteure kann deshalb nur sehr schemenhaft sein und ihre Funktion bei der Umsetzung einer Massnahme müsste bei einer eventuellen konkreten Massnahmenplanung vertieft untersucht werden.

Neben den wichtigsten Akteuren im IKT-Geräte-Markt, wie sie in der Graphik von Calwell und Reeder (2002) (Bild 7-1) skizziert sind, sind die Unternehmen, welche Endgeräte assemblieren, die Dienststellen, welche über die Endkonfiguration des Gerätes entscheiden, die Betreiber von Data Centres aber auch die Stromversorgungsunternehmen und mögliche Regulatoren zu berücksichtigen.

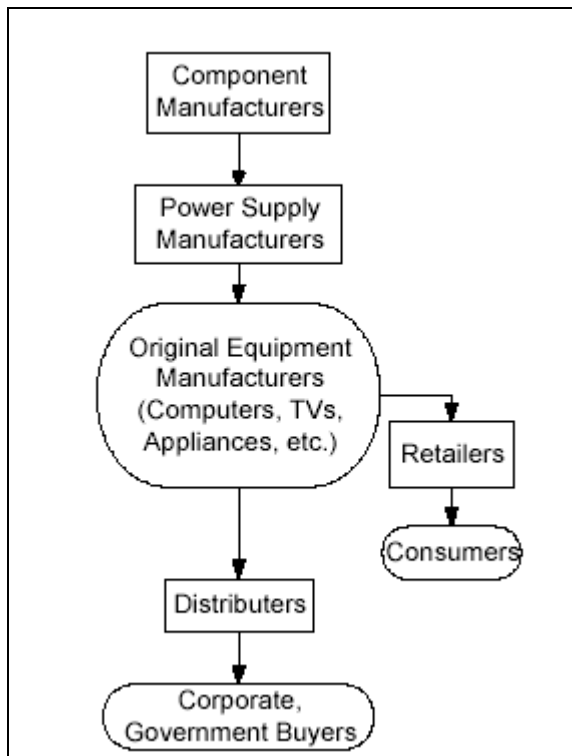


Bild 7-1 Wichtige für IKT-Geräte (Calwell und Reeder, 2002)

Die Akteure haben unterschiedliche Funktionen, Interessen und Handlungsspielräume:

- *Hersteller von elektronischen Komponenten, v.a. Prozessoren:* Die Hersteller benötigen für den Betrieb der Komponenten eine ausreichende und zuverlässige Spannungsqualität sowie gewisse Temperaturbedingungen. Diese führte zu einer Industriespezifikation für die Anordnung der Komponenten in einem PC und zu definierten Anforderungen an die Spannungsversorgung (Intel Corporation 2002).
- *Hersteller und Assembler von IT-Geräten:* Die Entwicklung und Produktion von Netzgeräten werden von den Produzenten der IT-Geräte auf Drittfirmen, welche hauptsächlich im fernen Osten beheimatet sind, ausgelagert. Die grossen Hersteller lassen die Netzgeräte gemäss ihren Spezifikationen herstellen. Die kleineren Gerätehersteller und Assembler bauen Standard-Netzgeräte ein.
- *Entwickler und Produzenten von Netzgeräten:* Die Netzgeräte werden nach Standards in grosser Stückzahl vor allem im fernen Osten produziert. Auf dem Markt gibt es eine breite Auswahl von Anbietern. In Deutschland wurde in einer Fachzeitschrift ATX-Netzgeräte von 14 Anbietern getestet (Steffens, E. 2001).
- *Käufer von IT-Geräten:* Die Käufer von IT-Geräten kaufen ein Gerät aufgrund von Leistungsmerkmalen und Investitionskosten. Die internen Komponenten interessieren ihn nicht, sofern damit keine Leistungs- und Emissionswerte (z.B. Lärm) verbunden sind. Die Netzgeräte beeinflussen einige Leistungswerte des Endgerätes:
 - Lärmemissionen durch Lüftungsgeräte
 - Elektromagnetische Emissionen
 - Wärmeabgabe
- *Konfigurierer von Geräten (Server und ähnliches):* Unter einem Konfigurierer verstehen wir die Dienststelle/die Person, welche die Basiskonfiguration eines Gerätes den spezifischen Anforderung bei der Endnutzung anpasst. Das kann von der Aufstockung

an Speicherkapazität über die Bestückung von Optionen bis zur Konfigurierung einer redundanten Stromversorgung gehen.

- *Endnutzer:* Durch die Art der Benutzung und die Einstellungen des Power-Managements wird der Arbeitspunkt und damit der Wirkungsgrad stark beeinflusst.
- *Betreiber von Data Centres oder Rechenzentren:* Der Betreiber eines Data Centres oder eines Rechenzentrums oder eines Rechenraums ist insbesondere verantwortlich für den zuverlässigen und kostengünstigen Betrieb der Infrastruktur, die den Betrieb der IKT-Geräte erst erlaubt. Der Handlungsspielraum hängt stark vom Typ des Data Centres ab. In einem „corporate“ oder „dedicated“ Data Centre ist der Betreiber des Data Centre zuständig für die IKT-Geräte; in einem Data Centre vom Typ „Collocation“ ist er nur zuständig für die Infrastruktur und die IKT-Geräte werden von den Klienten eingebracht. Im Rahmen der Studie „Energy- and Eco-Efficiency of Data Centres“ (Aebischer u. A., 2002) wird auch der Frage nachgegangen, ob und wie in diesem Fall der Betreiber trotzdem Einfluss nehmen kann auf die Energieeffizienz der IKT-Geräte.
- *Stromversorgungsunternehmen:* Die Netze der Stromversorgung werden durch Blindstrombezug und Oberwellenströme der Netzgeräte belastet. Bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) gibt es verbindliche Normen (EN 61000-3-2, 2000).
- *Regulierende Behörden (Staat) und Organisationen (Berufsverbände, Industrieverbände, Normenvereinigungen):* Verschiedene Initiativen laufen bei den kleinsten Netzgeräten (Ladegeräte), die hier nicht behandelt werden (z.B. in der EU: Code of Conduct On Efficiency of External Power Supplies).

7.3 Massnahmen zur Effizienzverbesserung der Netzgeräte und technische Potenziale

7.3.1 Netzgeräte richtig dimensionieren (Netzgeräte der richtigen Dimension einsetzen)

Massnahme

Die Auslastung des Netzgerätes bei 5 gemessenen PC liegt zwischen 14 und 25%. Mit dieser tiefen Auslastung liegen sie im stark abfallenden Bereich der Wirkungsgradkurve. Der Wirkungsgrad ist entsprechend tief und liegt im Durchschnitt bei etwa 60%. Würden die Netzgeräte so ausgelegt, dass die Belastung im Arbeitspunkt „ruhender Bildschirm“ grösser als 30% betragen würde, so würde der Wirkungsgrad bei etwa 80% liegen. Für die Leistungsspitze (hohe Prozessorauslastung, Peripheriegeräte im Betrieb) wäre unserer Ansicht damit immer noch eine genügende Leistungsreserve vorhanden. Die Hersteller erklären die hohe Leistung mit der Reserve, welche eingebaut werden muss, damit das frei ausbaubare Gerät in jedem Fall versorgt werden kann. Bei den von uns gemessenen Geräten war es im bestehenden Gerätegehäuse aber gar nicht möglich, so viele Komponenten einzubauen, so dass die hohe Netzgeräteleistung gerechtfertigt wäre.

Ein PC benötigt heute im Arbeitspunkt „ruhender Bildschirm“ etwa 40 bis 60 W. Für diese Leistung sollte ein Netzgerät nicht höher als auf 100 bis 150 W ausgelegt werden, damit sie bei einer „vernünftigen“ Auslastung betrieben werden. Heute werden in PCs meist Netzgeräte mit einer Ausgangsleistung von 250 bis 300 W eingebaut. Es gibt allerdings

auf dem Markt auch kleinere Netzgeräte (z. B. Fortron-Source mit den Geräten der Flex ATX-Serie mit 90 oder 150 W Ausgangsleistung).

In einem ersten Schritt müsste durch eine genauere Untersuchung überprüft werden, ob die dynamischen Strombedarfsanforderungen heutiger PCs auch mit kleiner dimensionierten Netzgeräte erfüllt werden können. Gemäss unseren Erfahrungen beurteilen wir dies positiv. Dies im Gegensatz zu anderen Experten, welche aussagen: „Für einen durchschnittlichen Rechner sind nunmehr 230 Watt zu veranschlagen. Kleinere Netzgeräte verfügen mithin nicht über die notwendigen Reserven, um einen Rechner stabil betreiben zu können.“ (Steffens, E. 2001)

Potenzial

In der Schweiz sind etwa 2 Mio. PCs an Arbeitsplätzen in Betrieb (Weiss, R. 2002). Im Heimbereich sind weitere 1.8 Mio. PCs installiert. Geht man von den folgenden Annahmen aus:

- Nutzungszeit an Arbeitsplätzen: 1'870 h pro Jahr im Normalbetriebszustand, 330 h pro Jahr im Bereitschaftszustand und 5'250 h im Aus-Zustand
- Nutzungszeit in Haushalten: 370 h pro Jahr im Normalbetriebszustand, 590 h pro Jahr im Bereitschaftszustand und 5'500 h im Aus-Zustand (Cremer, C. et al. 2002)
- durchschnittlicher Leistungsbezug im Normalbetriebszustand: 50 W (eigene Schätzung)
- durchschnittlicher Leistungsbezug im Bereitschaftsbetriebszustand: 25 W (eigene Schätzung)
- durchschnittlicher Leistungsbezug im Aus-Zustand: 4 W (eigene Schätzung)

so benötigen alle installierten PCs in der Schweiz (ohne Bildschirme) einen Strombedarf von 345 GWh. Wäre der Netzteilwirkungsgrad bei allen PCs im Normalbetriebszustand um 20% höher, so wäre der Strombedarf noch 290 GWh. Die Einsparung würde somit 55 GWh betragen.

Akteure

Die primären Akteure sind die Hersteller und Assembler der IKT-Geräte. Da wo die eingekauften Geräte von einem Konfigurierer für den Einsatz angepasst werden, besteht im Prinzip die Möglichkeit auch die korrekte Dimensionierung des Netzgerätes sicherzustellen.

Der Endkunde hat heute noch keine Möglichkeit beim Kauf eines IKT-Gerätes die korrekte Dimensionierung des Netzgerätes zu berücksichtigen. Falls eine Energiedeklaration für Netzgeräte bestehen würde und falls auch der Leistungsbezug des Endgerätes im Zustand „ruhender Bildschirm“ bekannt ist, könnte er zur Beurteilung die folgende Faustregel anwenden: Nennleistung des Netzgerätes ≤ 2.5 mal Leistung „ruhender Bildschirm“, womit der Arbeitspunkt „ruhender Bildschirm“ bei etwa 40% zu liegen kommt.

Die Betreiber von Data Centres haben die Möglichkeit mit einer korrekten Dimensionierung die Wärmelast der IKT-Geräte signifikant zu reduzieren und damit die benötigten Investitionen in die Infrastruktur zu reduzieren. Diese Kostenreduktion kann beträchtlich sein. In (Aebischer, 1996) wird dazu Bänninger (1991) zitiert: CHF 20'000 pro eingesparter Wärmelast von 1 kW. Von Klienten in einem Data Centre von Typ „Collocation“ könnte die

Anwendung einer Faustregel analog zur Faustregel für den PC-Endnutzer „Nennleistung des Netzgerätes ≤ 2.5 mal Leistung ruhender Bildschirm“ verlangt werden (mit kostenwirksamen Ausnahmegewilligungen für übermässige Wärmeabgabe!).

Als sekundärer Akteur kann die regulierende Behörde/Organisation mit Anforderungen an den Leistungsbezug der Endgeräte (siehe 7.4.3) eine Rolle spielen. Auch schon die Einführung einer Energiedeklaration für die Netzgeräte kann einen gewissen Druck auf die Hersteller/Assembler ausüben, da damit, z.B. für den Endnutzer, die Beurteilung der korrekten Dimensionierung erleichtert wird.

7.3.2 Hoher Wirkungsgrad für den Standby-Ausgang

Massnahme

Im Aus- und Standby-Zustand (Versorgung über den Netzgerätausgang + 5 V SB gemäss Beschreibung im Kapitel 4) wird nur eine kleine Ausgangsleistung benötigt. Typische Verbraucher sind neben dem Mainboard die Netzwerkkarten mit Wake-On-LAN-Funktionen, auf Anrufe wartende Fax- oder Modemkarten und USB-Geräte. Die maximale Leistung soll gemäss Spezifikationen 2 A (Ausgangsleistung 10 W) betragen (Intel Corporation 2002). Die in diesem Projekt gemessenen PC benötigen allerdings vom 5 V Standby-Ausgang des Netzgerätes weniger als 1 W, was einem Strom von weniger als 200 mA entspricht. Das heisst, dass auch dieser Teil des Netztes in der Praxis meist stark überdimensioniert ist.

Das Umweltzeichen blauer Engel schreibt vor, dass der Wirkungsgrad des Standby-Ausganges bei einer Belastung von 500 mA mindestens 50% betragen muss (*the AC input power shall not exceed 5 W when the main outputs are in the "DC disabled" state with 500 mA load on +5VSB and a 230 VAC/50 Hz input.*).

Die Netzgeräte sollten so optimiert werden, dass bei kleinen Leistung (< 1 W) über diesen Ausgang ein Wirkungsgrad von mindestens 50% erreicht wird. Dass diese Vorgaben technisch zu erreichen sind, zeigte schon Mitte der 90er-Jahre das Schaltnetzteil (externes Steckernetzteil) *Mainy* von *Egston* mit den folgenden technischen Daten:

- Ausgangsleistung 6 W bei 6 V DC
- Wirkungsgrad ungefähr 70%
- Wirkungsgrad bei 150 mA (0.8 W): 50%
- gemessene Leerlaufleistungsaufnahme 0.6 W (eigene Messung)

Auch verschiedene andere Hersteller von Schaltregler-Kontroller (z.B. Motorola, Power Integration, Philips) zeigen Schaltungskonzepte, welche Schaltnetzteile im Leistungsbereich von 10 Watt mit einem Wirkungsgrad von grösser 70% und einer Leerlaufleistung von 50 mW und weniger ermöglichen.

Die *Europäische Kommission* hat in ihrem *Code of Conduct on Efficiency of External Power Supplies* (15. Juni 2000) für externe Netzgeräte im Leistungsbereich zwischen 0.3 W und 75 W einen Leerlaufleistungskonsum von 0.75 W (ab 1. Januar 2003) ausgehandelt. Dieser kann von den Herstellern eingehalten werden (z.B. Zitat aus Werbung der Firma Power Integration, www.powerint.com: *Technology for practically eliminating standby losses already exists – There is no cost penalty associated with an energy efficient design*). Diese Konzepte könnten auch für interne Netzgeräte angewendet werden.

Die Stromversorgung wird heute in vielen Geräten durch externe Netzgeräte realisiert. Was früher nur mobilen Geräten vorbehalten war, wird heute auch bei stationären Geräten verwendet (insbesondere im Low-end-Bereich). Diese externen Netzgeräte sollten den niedrigen Standby-Verbrauch des zu versorgenden Endgerätes mit einem speziellen Ausgang (analog ATX-Spezifikation +5V SB) mit einem optimierten Wirkungsgrad für kleine Leistungen realisieren.

Potenzial

Messungen an verschiedenen Netzgeräten zeigten einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 40% (Variation von 30 bis 50%) bei einer Belastung von 500 mA (Steffens, E. 2001). Wir nehmen an, dass die durchschnittliche Leistung eines PCs im Auszustand etwa 4 W beträgt. Der Strombedarf für die PCs im Auszustand beträgt in der Schweiz etwa 82 GWh (gleiche Annahmen wie im Kapitel 9.3.1). Würde die Leistung auf 1 W sinken, so würde sich dieser Strombedarf auf 20 GWh verringern. Die Einsparung würde somit 62 GWh betragen.

Akteure

Die primären Akteure sind die Computerhersteller, welche den Netzgeräteherstellern die Spezifikationen für die Netzgeräte vorgeben, welche in die in Grossserien hergestellten Endgeräte eingesetzt werden. Aber für viele Produkte werden die von den Netzgeräteherstellern auf dem Markt angebotenen Netzgeräte verwendet und für die Energieeffizienz dieser Geräte sind die Netzgerätehersteller verantwortlich. Ob für energieeffiziente Geräte Mehrkosten anfallen und wie hoch sie sind, wissen wir nicht. Falls ja, könnte das ein gewichtiges Hemmnis sein, denn bezogen auf das Netzgerät allein, wäre natürlich die Verteuerung sehr viel deutlicher³, als wenn diese Mehrkosten auf das ganze Endgerät bezogen werden können.

Der Kostendruck auf Netzgerätehersteller ist enorm – der Lieferpreis liegt bei grossen Serien bei US\$0.08 pro Watt (Calwell und Reeder, 2002) - und es ist deshalb sehr unwahrscheinlich, dass die Hersteller von sich aus Mehrkosten auch nur von wenigen 10 cts auf sich nehmen.

Die Regulierer können mit verschärften Anforderungen für Energielabels (Kapitel 7.4.3) auf beide Herstellergruppen (Endgeräte und Netzgeräte) einwirken. Die Einführung einer Energiedeklaration erlaubt dem Endkunden zwischen einem im Standby-Modus effizienten und ineffizienten Netzgerät zu unterscheiden.

7.3.3 Hoher Wirkungsgrad über einen breiten Betriebsbereich für die anderen DC-Ausgänge

Der maximale Wert des Wirkungsgrades liegt bei den verschiedenen Netzgeräte mehr oder weniger hoch. Ebenso werden unterschiedlich weite Plateaus mit einem guten Wirkungsgrad beobachtet. Auf eine Analyse der technischen und wirtschaftlichen Hintergründe dieser Unterschiede konnte in diesem Projekt nicht eingegangen werden. Ebenso wissen

³ Ein 200-Watt Netzgerät kostet typischerweise US\$ 16 und damit werden IKT-Geräte mit einem Wert von typischerweise US\$ 1000 betrieben (Calwell und Reeder, 2002)

wir nichts über mögliche Wechselwirkungen zwischen maximalem Wert des Wirkungsgrades und maximale Breite des Bereichs mit einem guten Wirkungsgrad. Diese Fragen könnten möglicherweise von Fachpersonen ohne grossen Aufwand beantwortet werden. Wir müssen uns hier darauf beschränken, diese Stossrichtung zur Effizienzverbesserung zu erwähnen, ohne im weiteren auf die Potenziale und die Akteure einzugehen. Unter 7.4.2 kommen wir im Rahmen der Diskussion von technischen Anforderungen kurz darauf zurück.

7.3.4 Energieeffizienz der Stromversorgung

Wir nehmen diese Massnahme hier auf, obwohl die gesamte Stromversorgung eines IKT-Gerätes (Netzgeräte und DC/DC-Wandler auf dem Mainboard oder auf dem Chip selbst), nicht Thema dieses Projektes ist. Wir können deshalb auch nicht detaillierte technische Massnahmen und die entsprechenden Potenziale beschreiben, aber diese Gesamtschau ist entscheidend für die Empfehlungen im Kapitel 8.

Massnahmen

Die Massnahmen betreffen das Netzgerät selbst (siehe Kapitel 7.3.1 bis 7.3.3), die DC/DC-Wandlungen auf dem Mainboard und auf den Chips und das Zusammenspiel dieser Massnahmen auf diesen verschiedenen Ebenen.

Die Massnahmen auf der Ebene des Netzgerätes sind oben beschrieben.

Auf der Ebene der DC/DC-Wandler ist der Einsatz von effizienten Wandlern die offensichtlichste Massnahme. DC-DC-Wandler haben gemäss Herstellerangaben einen Wirkungsgrad zwischen etwa 60% bis 95%⁴ mit einem typischen Bereich zwischen 80% und 90%. Reine „on-Chip-Wandler“ ohne externe Kapazitäten und Induktivitäten dürften schlechtere Wirkungsgrade haben (Kaeslin, H., 2002a).

Weniger offensichtlich ist, welches die zentralen Punkte beim Zusammenspiel der verschiedenen Ebenen sind. Wahrscheinlich spielt die Auslastung der verschiedenen DC-Spannungsniveaus eine Rolle, was bedeutet, dass die Endkonfiguration des Gerätes berücksichtigt werden muss. Die Frage, wie signifikant dieser letzte Punkt ist, müssen wir offen lassen.

Potenziale

Die Stromeinsparungen, die mit dieser Massnahme technisch realisiert werden könnten, können nicht quantifiziert werden; sie sind aber natürlich grösser als die Massnahmen, die sich nur auf Effizienzverbesserungen im Netzgerät beschränken.

Akteure

Die auf der Ebene der Netzgeräte angesprochenen Akteure sind unter den Massnahmen 7.3.1 bis 7.3.3 aufgeführt.

⁴ Für DC-DC-Wandlung kann beim Einsatz von Schaltreglern (Abwärtswandler oder engl. buck converter) etwa mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 85% gerechnet werden; zwischen 50% und 65% beim Einsatz von linearen Spannungsreglern (Siderius, 1999).

Auf der Ebene der DC/DC-Wandler sind es primär die Computerhersteller (Architektur) und die Chip-Designer. Aber noch sehr viel mehr als in anderen Bereichen dürften hier sekundäre Akteure eine wichtige (vielleicht entscheidende) Rolle spielen. Die Nachfrage nach immer schnelleren Chips mit mehr Rechenleistung hat klare Auswirkungen auf die Art und Weise der Stromversorgung (Kapitel 7.1)

Beim Zusammenspiel der Massnahmen auf den zwei Ebenen spielen zusätzlich zu den Akteuren auf diesen Ebenen auch noch die Assembler, Konfigurierer und sogar der Endnutzer eine Rolle.

7.3.5 Nutzung des Powermanagements

Mit der Nutzung des Powermanagements wird der Arbeitspunkt des Netzgerätes stark beeinflusst. Eine Reduktion der bezogenen elektrischen Leistung führt im Allgemeinen weg vom Bereich, wo das Netzgerät den maximalen Wirkungsgrad hat. Trotz einer möglichen Erhöhung der relativen Energieverluste sinken jedoch die Energieverluste absolut betrachtet. Bei sehr grossen Abweichungen vom ursprünglichen optimalen Arbeitspunkt – z.B. durch den Übergang des Endgerätes in den Sleep-Mode – wird in neuen Netzgeräten die Stromversorgung neu organisiert. Die gesamte Leistung wird über einen eigenen für diese tiefe Leistungen optimierten DC-Ausgang (Bild 4-4) geliefert.

Massnahmen

Das automatische Powermanagement von gewissen Gerätetypen wurde vor wenigen Jahren von den Importeuren systematisch ausgeschaltet, um mögliche Nachfragen und Beschwerden der Käufer zu vermeiden. Ob das heute anders ist, wissen wir nicht. Sicher ist die Auslieferung der Geräte mit eingeschaltetem Powermanagement die wichtigste Massnahme, dass der Endnutzer dieses auch nutzt.

Potenziale

Nicht Inhalt dieser Studie

Akteure

Endnutzer (benützen), Importeure/Verkäufer/Einkäufer (nicht ausschalten), Computerhersteller ("invisible"), Forschung/Entwicklung (Interface Mensch-Maschine), Softwareanbieter (unterstützen).

7.4 Unterstützende Massnahmen

Damit die im obigen Kapitel 7.3 beschriebenen Massnahmen durchgeführt werden können, müssen gewisse Voraussetzungen existieren. Insbesondere müssen die dazu notwendigen Informationen allen Akteuren zugänglich sein. Im Zentrum steht hier eine Energiedeklaration für die Netzgeräte. Aber auch das technische Know-How muss vorhanden sein und die meistens neue/zusätzliche Aufgabe muss im Pflichtenheft/Betriebsablauf/Produkteabnahme/Produktespezifikation spezifiziert sein; es dürfen auch keine rechtlichen Hemmnisse (Haftungsfragen z.B. betreffend genügender Dynamik der Netzgeräte) existieren und Anreize geschaffen werden.

7.4.1 Energiedeklaration für Netzgeräte

Eine umfassende Energiedeklaration für Netzgeräte ist eine notwendige Voraussetzung, damit Akteure, welche nicht selbst die Spezifikationen der Netzgeräte festlegen oder diese Geräte entwickeln, designen oder herstellen, überhaupt die Möglichkeit haben, die Energieeffizienz zu beurteilen und einen effizienteren Einsatz zu erwägen. In der Studie „Energiedeklaration von Elektrogeräten“ (Aebischer und Huser, 2002) wird deshalb dem Bundesamt für Energie die Erarbeitung von Grundlagen für eine Energiedeklaration von Netzgeräten empfohlen. Die vorliegende Studie ist ein erster Schritt in diese Richtung.

Mit einer umfassenden Deklaration haben die kleineren Hersteller von IKT-Geräten und die Assembler die Möglichkeit ein für ihre Nutzung energieoptimales Netzgerät zu benutzen. Damit diese Möglichkeit genutzt wird, ist zusätzliche Information (-> Ausbildung) und Motivation (-> Anreize) notwendig.

Der Käufer eines IKT-Geräts kann die Effizienz des Netzgerätes berücksichtigen, muss zur Beurteilung aber die Belastung der einzelnen DC-Niveaux in seinem Gerät kennen ->-> Deklaration für Käufer und Endnutzer kaum nützlich.

Die Energiedeklaration dient aber nicht nur der Information von kleineren Herstellern von IKT-Geräten, von Assemblern, Einkäufern und Endnutzer sondern kann in einem funktionierenden Markt auch einen gewissen Druck auf die Hersteller der Netzgeräten ausüben, die sich mit besseren Geräten einen höheren Marktanteil erhoffen können oder wenigstens ein gutes Image!

7.4.2 Technische Anforderungen (freiwillige Vereinbarungen oder Zulassungsbedingungen) an Netzgeräte

Die Energiedeklaration kann auch als Grundlage für technische Anforderungen an die Netzgeräte benutzt werden. Denkbar sind primär – wie in 7.3.2 skizziert – Anforderungen an den Wirkungsgrad des DC-Ausgangs für die Stromversorgung bei ganz kleinen Lasten im Standby- und Auszustand. Für diese Betriebszustände sind aber wahrscheinlich Anforderungen an den Leistungsbezug der Endgeräte vorzuziehen, da diese auch die Verluste in den DC/DC-Wandlern beinhalte. Wichtiger – aber komplexer – sind Anforderungen an das Netzgerät für Bereiche, die für den Betrieb des Endgeräts im Normalzustand genutzt werden, denn für diesen Zustand wird es wohl noch eine ganze Weile dauern - insbesondere für PCs – bis Anforderungen an den Leistungsbezug des Endgerätes gestellt werden können. Cawell und Reeder (2002) meinen: „Mandatory standards for power supply efficiency are currently under consideration in various proposed Congressional energy bills, though the focus is primarily on standby power use. Likewise, the California Energy Commission is evaluating proposed standards that would improve standby and active mode efficiency for power supplies, though the process is in its early stages and the effective date for such a standard would be many years in the future.“

Denkbar sind minimale Anforderungen an den maximalen Wert des Wirkungsgrads der einzelnen DC-Ausgänge. Ob damit die Verwendung von Abwärtswandlern im Netzgerät selbst verunmöglicht würde und was das für Konsequenzen auf die Architektur der Stromversorgung und auf die Kosten hat können wir nicht beantworten.

Eine Festlegung, in welchem Betriebspunkt dieses Maximum liegen soll, macht keinen Sinn, da die Belastung der einzelnen DC-Ausgänge von einem Endgerät zum nächsten sehr unterschiedlich sein kann. Anzustreben ist aber ein hoher Wirkungsgrad über einen möglichst weiten Bereich des Betriebspunktes.

7.4.3 Tiefere Grenzwerte von Energielabels für Endgeräte

EnergyStar hat zur Zeit die folgenden Grenzwerte für den elektrischen Leistungsbezug von PCs im Sleep-Mode festgelegt:

- 15 W für Geräte mit einer maximalen Netzgeräteleistung <200 W
- 20 W für Geräte mit einer Netzgeräteleistung von 200 W bis 300 W
- 25 W für Geräte mit einer Netzgeräteleistung von 300 W bis 350 W
- 30 W für Geräte mit einer Netzgeräteleistung von 350 W bis 400 W
- 10% of the maximum continuous output rating für Geräte mit einer Netzgeräteleistung grösser als 400 W

Die Grenzwerte der *Group for Energy Efficient Appliances* (<http://www.efficient-appliances.org>) sind wesentlich anspruchsvoller. Die folgenden Werte gelten für das Jahr 2003:

- Aus-Zustand: 3 W
- Sleep mode (low-power mode): 10 W

Im Rahmen der Aktivitäten der Internationalen Energieagentur (IEA) wurden maximale Leistungswerte von 1 W für den Aus-Zustand empfohlen (<http://www.iea.org/standby/index.htm>)

Tiefe Verbrauchsgrenzwerte für das Endgerät erzeugen Druck auf die Gerätehersteller, den Wirkungsgrad bei den Netzgeräten bei kleinen Auslastungen zu beachten. Tiefe Verbrauchswerte sind nur noch mit gut dimensionierten Netzgeräten und einem hohen Wirkungsgrad im Teillastbereich zu erreichen. Im Gegensatz zu Spezifikationen für die Netzgeräte wirken Verbrauchsgrenzwerte für das Endgerät auf die gesamte Stromversorgung (Netzgeräte und DC/DC Wandler).

Dieser Zusammenhang „Verbrauchsgrenzwerte für das Endgerät“ und „Reduktion der Verluste im Netzgerät“ besteht natürlich auch für den Normalbetriebszustand. Calwell und Reeder (2002) empfehlen deshalb EnergyStar und andere Energieprogramme auch auf den Normalbetriebszustand auszudehnen. Das dürfte für viele Geräte, insbesondere Bildschirme und Fernseher sinnvoll sein. Ob und wie schnell das allerdings für das in dieser Studie betrachtete Marktsegment der PCs und Netzwerkkommunikationsgeräte gemacht werden wird, ist nach unserer Meinung noch offen.

8 Empfehlungen

Die Empfehlungen ergeben sich aus den folgenden zentralen Erkenntnissen:

- Es ist sehr schwierig und für Endkunden fast unmöglich, technische Informationen zu Netzgeräten zu finden.
- Der Handlungsspielraum der Endnutzer ist gering.
- Die isolierte Betrachtung der Netzgeräte ist aus energiewirtschaftlicher Sicht suboptimal. Erweiterte Untersuchungen, welche die Stromversorgung insgesamt zum Thema haben sind angesichts der technologischen Entwicklungen notwendig.
- Anforderungen an den Leistungsbezug der Endgeräte haben in der Vergangenheit Auswirkungen auf die Energieeffizienz der Netzgeräte gehabt (spezieller DC-Ausgang für Standby-Betrieb).
- Anforderungen an den Leistungsbezug der Endgeräte haben gegenüber Anforderungen an die Netzgeräte den Vorteil, dass die gesamte Stromversorgung (inkl. DC/DC-Wandler) angesprochen ist.

Sie lassen sich in vier Punkten zusammenfassen:

- *Forschung*: Wissen aufarbeiten und Wissenslücken erarbeiten zur Stromversorgung von Komponenten, Geräte und Systeme (inkl. Zuverlässigkeit). Es handelt sich hier um eine grössere Aufgabe, die in Zusammenarbeit mit Spezialisten auf den einzelnen Stufen in Angriff genommen werden sollte. Ausgangsbasis auf der Ebene System könnte das Paper von Margaritis und Ide (2001) sein. Auf der Ebene der Komponenten dürfte das Vorlesungsskript von Kaeslin (2002b) nützlich sein.
- *Ausbildung*: Die Erkenntnisse der Studie, insbesondere Massnahme 7.3.1 Netzgeräte richtig dimensionieren, passt gut in die Ausbildung der Informatik-Lehrlinge.
- *Energiedeklaration von Netzgeräten*: Aufarbeitung der Ergebnisse bezüglich der Fragen Nutzen, Voraussetzungen, Wissenslücken um auf internationaler Ebene eine Initiative zur Erarbeitung einer Energiedeklaration von Netzgeräten zu erarbeiten (siehe auch politische Begründung unter Punkt „Grenzwerte für Energielabels“).
- *Anforderungen für Energielabels*: Aktivitäten in zwei Richtungen können empfohlen werden:
 - o Verschärfung der Anforderungen an den Leistungsbezug der IKT-Geräte im Bereitschafts-/Standby-/Auszustand, insbesondere für PCs. In diese Richtung zielen mehrere laufende Initiativen. Unterstützung und ergänzende Inputs der Schweiz.
 - o Initiative für Anforderungen an Leistungsbezug im On-Zustand der IKT-Geräte. Damit könnten die drei Massnahmen 7.3.1 Netzgeräte richtig dimensionieren, 7.3.3 Hoher Wirkungsgrad über einen breiten Betriebsbereich für die anderen DC-Ausgänge, und 7.3.4 Energieeffizienz der Stromversorgung unterstützt werden.

Generell kann der Weg über die Energielabels (analog zur Energiekennzahl für Gebäude) gegenüber dem Weg über Anforderungen an die Komponenten, wie den

Netzgeräten, empfohlen werden. Aus politischer Sicht dürfte es aber sinnvoll sein, den Weg über die Komponenten nicht aufzugeben und mit der Erarbeitung und Einführung einer Energiedeklaration für Netzgeräte zu beginnen. Damit kann die Bereitschaft gezeigt werden, im Falle eines Verhandlungs-Misserfolges bei der Verschärfung und Ausweitung der Anforderungen an die Endgeräte, trotzdem auf die Komponenten auszuweichen. Und ein Misserfolg – oder eine lange Verzögerung – bei den Anforderungen für die Energielabels kann angesichts der unklaren Zuordnung (Umwelt- oder Wirtschaftsverordnung) der EnergyStar-Verordnung zwischen der EU und den USA nicht ausgeschlossen werden.

Literaturverzeichnis

- Aebischer, B. und A. Huser: Energiedeklaration von Elektrogeräten. CEPE Report Nr. 3, Januar 2002
- Aebischer, B., R. Frischknecht, Ch. Genoud, A. Huser, F. Varone: Energy- and Eco-Efficiency of Data Centres. A study commissioned by DIAE / ScanE of the Canton of Geneva. (to be published in December 2002)
- Aebischer, B., H. Bradke, H. Kaeslin (2000): Energie und Informationstechnik. Energiesparer oder Energiefresser? Bulletin ETH Zürich Nr. 276, Januar 2000
- Aebischer, B. (1996): Rationellere Energieverwendung beim Einsatz von Computern. In Proceedings „Workstations und ihre Anwendungen. SIWORK ,96“. Vdf-Verlag, Zürich, 1996 (ISBN 3 7281 2342 0)
- BFE (1993) Die heimlichen Stromfresser. Standby-Verluste von Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten. BEW-Schriftenreihe Studie Nr.51, Januar 1993
- Calwell, C. and T. Reeder (2002) Power Supplies: A Hidden Opportunity for Energy Savings. A NRDC Report. San Francisco, CA, 2002
- Intel Corporation (2000) ATX/ATX12V Power Supply Design Guide, Version 1.2
- Intel Corporation (2002) ATX-Specification, Version 2.1, Juni 2002
- Kaeslin, H. (2002a) Microelectronics Design Center, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), mündliche Aussage, 2002
- Kaeslin, H. (2002b) Design of VLSI Circuits – Energy Efficiency and Heat Removal, Microelectronics Design Center, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), 2002
- Kaeslin, H. (2002c) Fabrication and Verification of VLSI Circuits – Technology Outlook, Microelectronics Design Center, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), 2002
- Margaritis, B. und P. Ide (2001): Contemporary Architectures for Power Systems Considering Future Trends, Ascom Energy System, in INTELEC 2001, Conference Publication No. 484, 2001
- Siderius, P.J.S. (1999) Energy related issues of Consumer Electronics. Novem, 1999
- Steffens, E. (2001) 14 ATX-Netzteile im Vergleich, in c't magazin für computertechnik Heft 10, 2001
- Weiss, R. (2002) Weissbuch 2002, Marktreport IT, Männedorf 2002
- Windeck, Ch. (2002) Sechs Mainboards für Intels Pentium 4, in c't magazin für computertechnik Heft 21, 2002

Anhang

Empfehlungen bezüglich dem Wirkungsgrad in „ATX / ATX12V Power Supply Design Guide Version 1.2, Intel Corporation, 2000“

Beilagen

Messresultate Netzgerät „Compaq Deskpro 575“

Messresultate Netzgerät „Minebea 200W“

Messresultate Netzgerät „Lead Year“

Messresultate Netzgerät „Hp“

Messresultate Netzgerät „Artesyn Baynet AC/PS“

Messresultate Netzgerät „Cisco 34-0873-01“

Messresultate Arbeitspunkte und Wirkungsgrade von verschiedenen PCs

Empfehlungen bezüglich dem Wirkungsgrad in „ATX / ATX12V Power Supply Design Guide Version 1.2, Intel Corporation, 2000“

Efficiency

General

The power supply should be a minimum of 68% efficient under maximum rated load. The efficiency of the power supply should be met over the AC input range defined in Table 2, under the load conditions defined in Section 3.2.3, and under the temperature and operating conditions defined in Section 5.

Energy Star

The "Energy Star" efficiency requirements of the power supply depend on the intended system configuration. In the low-power / sleep state (S1 or S3) the system should consume power in accordance with the values listed in Table 8.

Table 11. Energy Star Input Power Consumption

Maximum Continuous Power Rating of Power Supply	RMS Watts from the AC line in sleep/low-power mode
< 200 W	< 15 W
> 200 W < 300 W	< 20 W
> 300 W < 350 W	< 25 W
> 350 W < 400 W	< 30 W
> 400 W	10% of the maximum continuous outputting

Note: To help meet the "Energy Star" system requirements, it is recommended that the power supply have > 50% efficiency at light load and in standby mode.

Blue Angel, RAL-UZ 78

The +5VSB standby supply efficiency should be a minimum of 50% at 500 mA output. Standby efficiency is measured with the main outputs off and with PS_ON# high. To meet Blue Angel requirements, the AC input power shall not exceed 5 W when the main outputs are in the "DC disabled" state with 500 mA load on +5VSB and a 230 VAC/50 Hz input.

Johann Miniböck

power electronics consultant
- design and prototyping -

Bericht

Compaq Deskpro 575

Inhalt	Seite
1 Einleitung.....	3
2 Technische Daten	3
3 Inbetriebnahme	3
4 Messschaltung	4
5 Messergebnisse.....	5
5.1 Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	5
5.2 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	6
5.3 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	8
5.4 Leistungsfaktor bei Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	10
5.5 Belastung des 3.4V und 12V Ausganges.....	11
5.6 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.4V und des 12V Ausganges	12
5.7 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.4V und des 12V Ausganges.....	14
5.8 Leistungsfaktor bei Belastung des 3.4V und 12V Ausganges.....	16
6 Messschaltung bei Belastung aller drei Ausgänge	17
7 Messergebnisse bei Belastung aller drei Ausgänge.....	18
8 Diskussion	21

1 Einleitung

Dieser Bericht dokumentiert die Bestimmung des Wirkungsgrades eines Compaq PC Netzgerätes. Das Netzgerät zeichnet sich durch mehrere Ausgangsspannungen (3.4V, 5V, 12V) und einem umschaltbaren Eingangsspannungsbereich aus. Die Gesamtausgangsleistung des Gerätes beträgt 145W.

2 Technische Daten



Eingangsnennspannung	100-120 / 220-240V, einphasig, umschaltbar
Eingangsnennfrequenz	50 - 60Hz
Eingangsnennstrom	4 / 2A
Ausgang 1:	+5V / 18A (90W)
Ausgang 2:	+12V / 4A (48W)
Ausgang 3:	+3.4V / 10A
Ausgang 4:	-12V / 0.15A (1.8W)
Ausgang 5:	-5V / 0.15A (0.75W)
Ausgangsleistung gesamt:	max. 145W

3 Inbetriebnahme

Das Netzgerät befindet sich bei offenen Ausgangsklemmen im „Shutdown“, d.h. es sind die Ausgänge nicht freigegeben und liefern daher keine Ausgangsspannung. Die Freigabe des Netzgerätes erfolgt durch Verbindung der beiden weissen verdrehten Leitungen mit den 2.8mm Faston Steckern.

Das Gerät ist leerlauffest, d.h. es kann ohne Last betrieben werden, ohne dass es kaputt geht. Es muss jedoch eine Mindestlast von ca. 5W am 12V oder am 5V Ausgang vorhanden sein, damit es sich ordnungsgemäß verhält. Das Gerät wurde im gegenständlichen Fall mit der Nennspannung von 230V versorgt.

4 Messschaltung

In Abb.1 ist die Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades dargestellt. Das Netzgerät wird mittels einer einstellbaren AC-Spannungsquelle U_{ac} versorgt (Spartrafo).

Der -12V Ausgang und der -5V Ausgang werden nicht belastet und haben durch die relativ kleine Belastbarkeit (gesamt 2.55W) keine Auswirkung auf die Qualität des Messergebnisses. Durch die Verbindung der beiden verdrehten Leitungen erfolgt die Freigabe der Ausgangsspannungen. Die Belastung des +12V Ausganges erfolgt durch ein Hochleistungs-IGBT Modul in Konstantstrombetrieb. Die Gatespannung dieses Moduls wird mit einem Potentiometer eingestellt, um den Stromwert einstellen zu können.

Der +5V bzw. 3.4V Ausgang U_2 wird ebenfalls mit einem IGBT Modul belastet. Dieses IGBT Modul wird wegen der höheren Gate-Threshold-Spannung mit einem externen Gleichspannungsnetzgerät angesteuert und stellt wieder eine Konstantstromlast dar.

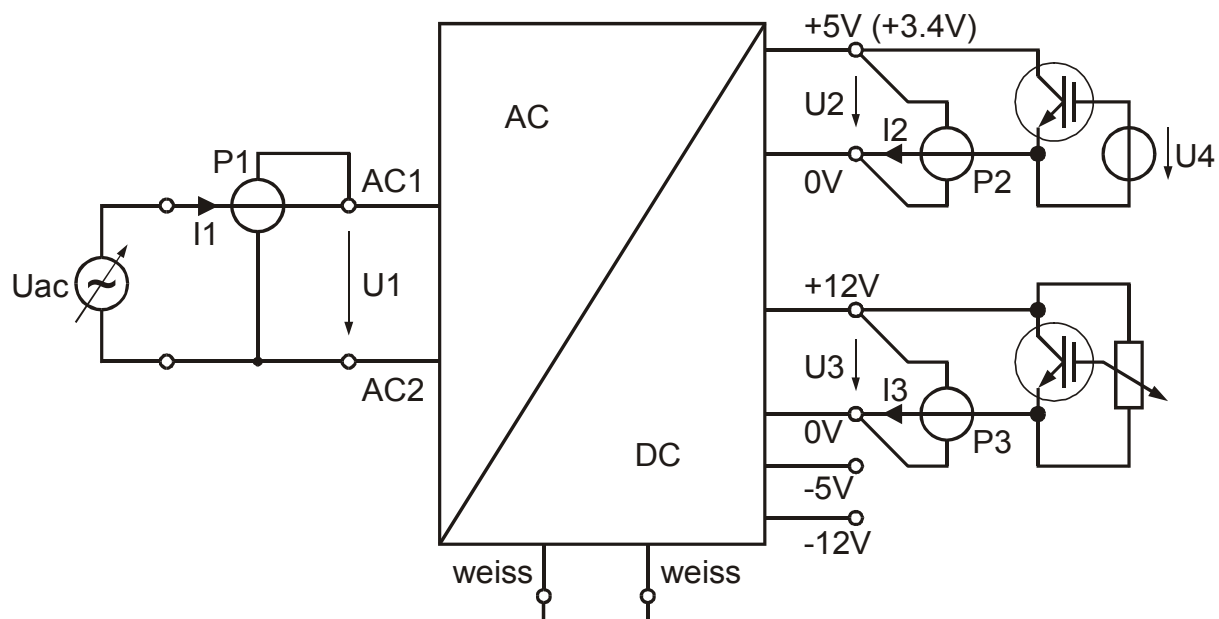


Abb.1: Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades

Alle Ströme, Spannungen und Leistungen werden in einem LEM NORMA Power Analyzer NORMA 4000 gleichzeitig erfasst, wodurch eine Konsistenz der Messwerte sichergestellt werden kann. Die Genauigkeit des Power Analyzer ist mit $\pm 0.1\%$ pro Strom- bzw. Spannungskanal angegeben, wodurch sich eine Genauigkeit in der Leistungsmessung pro Kanal von $\pm 0.2\%$ ergibt. Die **Gesamtgenauigkeit** beträgt daher im schlimmsten Fall $\pm 0.4\%$.

5 Messergebnisse

5.1 Belastung des 5V und 12V Ausganges

U1 V	I1 A	P1 W	I %	U2 V	I2 A	P2 W	U3 V	I3 A	P3 W	Pges W	Pv W	eta %	Pges/ Pmax %
227.97	1.1355	198.8	76.78	5.1842	20.104	104.22	12.779	4.0270	51.460	155.68	43.12	78.31	97.30
228.67	1.0552	184.4	76.42	5.1738	20.106	104.03	12.829	3.0891	39.630	143.66	40.74	77.91	89.79
229.01	0.9676	168.8	76.16	5.1593	20.290	104.68	12.891	2.0085	25.890	130.57	38.23	77.35	81.61
228.89	0.8706	151.0	75.76	5.1501	19.905	102.51	12.937	1.0238	13.244	115.75	35.25	76.66	72.35
229.21	0.8146	141.1	75.56	5.1362	19.911	102.27	12.971	0.4044	5.255	107.53	33.58	76.20	67.20
229.06	0.7777	134.1	75.25	5.0847	19.934	101.36	13.201	0.0000	0.000	101.36	32.74	75.59	63.35
228.69	0.9422	164.1	76.17	5.2297	14.946	78.16	12.618	4.0917	51.630	129.79	34.31	79.09	81.12
229.09	0.8614	149.4	75.73	5.2184	15.063	78.61	12.672	3.0618	38.800	117.41	31.99	78.59	73.38
229.26	0.7696	133.0	75.37	5.2061	15.004	78.11	12.726	2.0202	25.710	103.82	29.18	78.06	64.89
229.54	0.6816	117.2	74.88	5.1925	14.960	77.68	12.788	0.9935	12.704	90.38	26.82	77.12	56.49
229.09	0.6339	108.0	74.37	5.1802	15.042	77.92	12.837	0.4157	5.335	83.26	24.75	77.09	52.03
229.67	0.5910	100.6	74.10	5.1401	14.962	76.91	12.996	0.0000	0.000	76.91	23.69	76.45	48.07
230.13	0.7537	130.5	75.25	5.2707	10.123	53.35	12.478	4.0018	49.930	103.28	27.22	79.14	64.55
230.24	0.6727	115.8	74.80	5.2610	9.998	52.60	12.520	3.0684	38.410	91.01	24.79	78.59	56.88
230.63	0.5910	101.2	74.21	5.2468	10.170	53.36	12.580	2.0168	25.370	78.73	22.47	77.80	49.21
230.81	0.5096	86.5	73.52	5.2340	10.083	52.77	12.636	1.0828	13.681	66.45	20.05	76.82	41.53
230.92	0.4510	75.8	72.76	5.2206	10.005	52.23	12.689	0.4108	5.212	57.44	18.36	75.78	35.90
230.98	0.4144	69.2	72.30	5.1910	9.993	51.87	12.806	0.0000	0.000	51.87	17.33	74.96	32.42
230.94	0.5705	97.6	74.09	5.3142	5.0458	26.814	12.316	4.0458	49.830	76.64	20.96	78.53	47.90
231.51	0.4871	82.7	73.35	5.3024	5.0121	26.576	12.367	3.0368	37.550	64.13	18.57	77.54	40.08
232.12	0.4035	67.8	72.38	5.2884	5.0317	26.610	12.426	2.0025	24.880	51.49	16.31	75.94	32.18
231.88	0.3230	53.1	70.95	5.2755	4.9694	26.216	12.483	1.0119	12.631	38.85	14.25	73.16	24.28
231.80	0.2766	44.6	69.61	5.2621	5.0264	26.450	12.534	0.4037	5.060	31.51	13.09	70.65	19.69
232.43	0.2438	39.0	68.86	5.2398	5.0790	26.613	12.627	0.0000	0.000	26.61	12.39	68.24	16.63
231.87	0.4588	77.6	72.96	5.3469	2.0114	10.755	12.192	4.0440	49.300	60.06	17.55	77.39	37.53
232.27	0.3753	62.5	71.64	5.3361	1.9575	10.446	12.238	2.9991	36.700	47.15	15.35	75.43	29.47
232.58	0.2996	48.9	70.12	5.3244	1.9959	10.627	12.228	2.0180	24.800	35.43	13.47	72.45	22.14
232.31	0.2224	35.1	67.69	5.3109	2.0096	10.673	12.346	1.0258	12.665	23.34	11.76	66.49	14.59
232.99	0.1712	26.3	65.91	5.3001	1.9841	10.516	12.395	0.3997	4.955	15.47	10.83	58.83	9.67
231.85	0.1396	20.6	63.55	5.2697	2.0195	10.642	12.512	0.0000	0.000	10.64	9.93	51.74	6.65
231.09	0.3902	64.7	71.73	5.3834	0.0000	0.000	12.050	4.0442	48.730	48.73	15.97	75.32	30.46
231.58	0.3068	50.0	70.40	5.3744	0.0000	0.000	12.094	2.9899	36.160	36.16	13.84	72.32	22.60
231.76	0.2313	36.6	68.29	5.3649	0.0000	0.000	12.134	2.0159	24.460	24.46	12.14	66.83	15.29
232.28	0.1523	22.9	64.68	5.3616	0.0000	0.000	12.151	1.0150	12.333	12.33	10.55	53.90	7.71
231.86	0.0997	13.8	59.56	5.3614	0.0000	0.000	12.152	0.4068	4.943	4.94	8.83	35.90	3.09
231.79	0.0613	6.8	48.17	5.3808	0.0000	0.000	12.067	0.0000	0.000	0.00	6.84	0.00	0.00

Formeln:

$$P_{ges} = P_2 + P_3$$

$$P_v = P_1 - P_{ges}$$

$$\eta = P_{ges} / P_1$$

$$P_{ges} / P_{max} = P_{ges} / 160W$$

5.2 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges

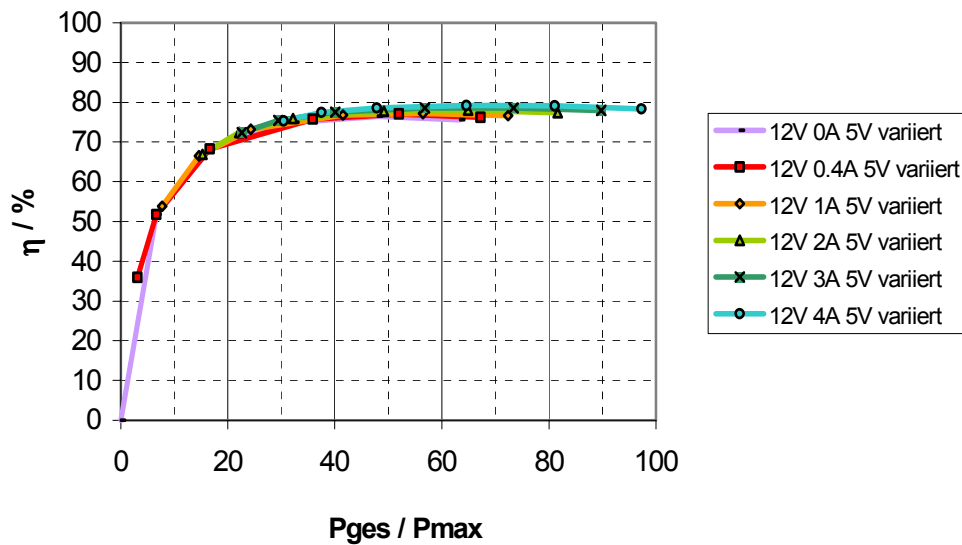


Abb.2: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 5V Ausganges.

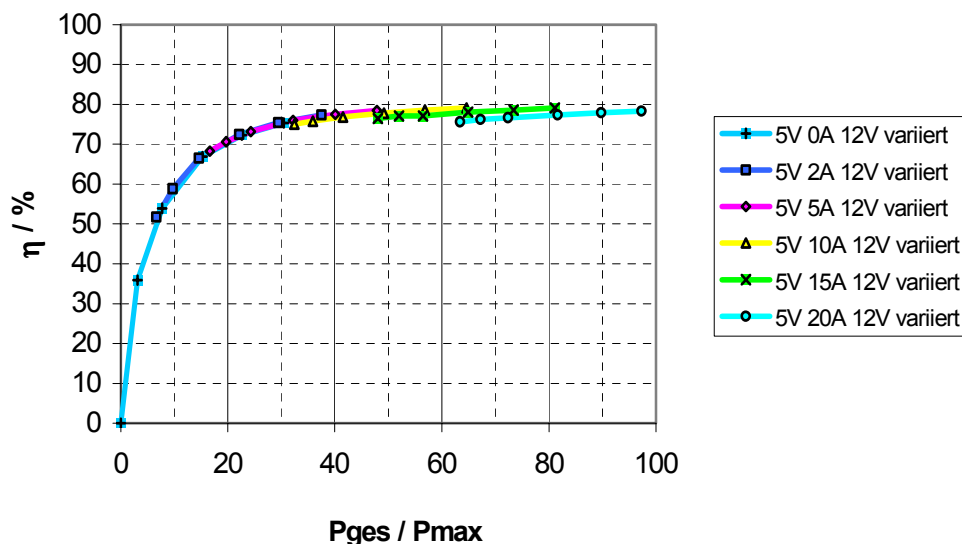


Abb.3: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 5V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

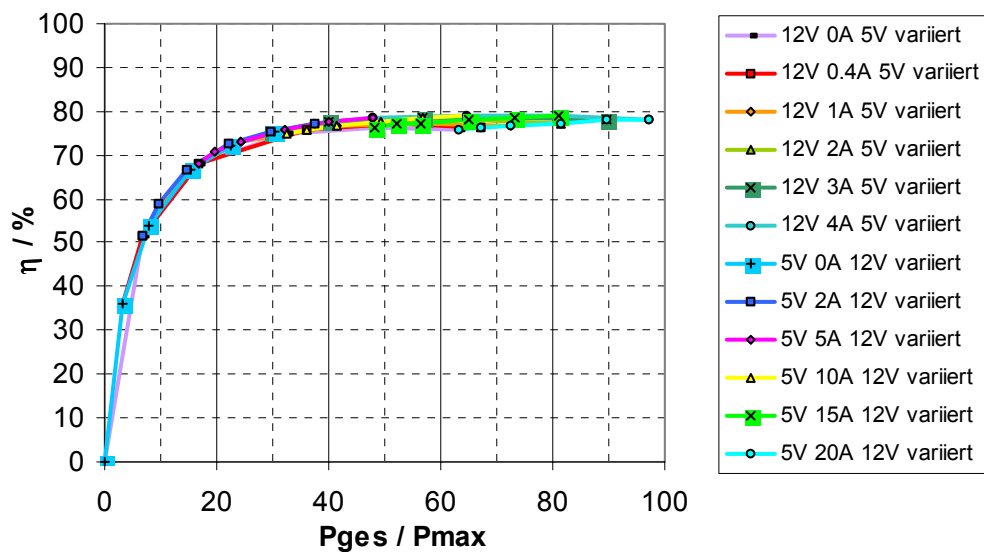


Abb.4: Zusammenfassung von Abb.2 und Abb.3: Abhängigkeit des Wirkungsgrades bei systematischer Variation des 5V und des 12V Ausganges.

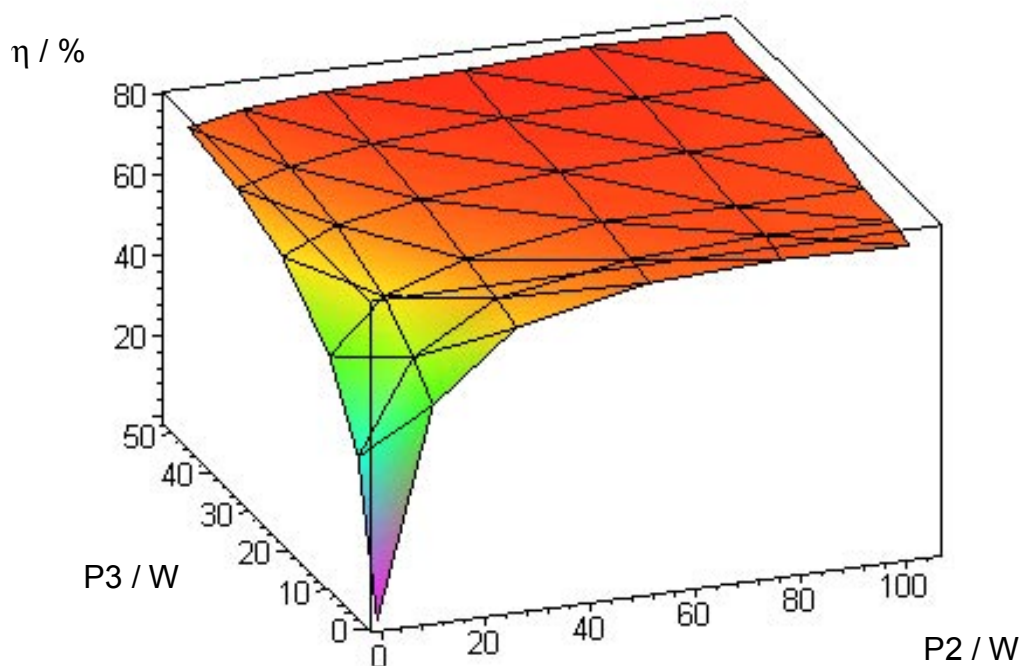


Abb.5: Dreidimensionale Darstellung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen $P2$ (5V Ausgang) und $P3$ (12V Ausgang).

5.3 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges

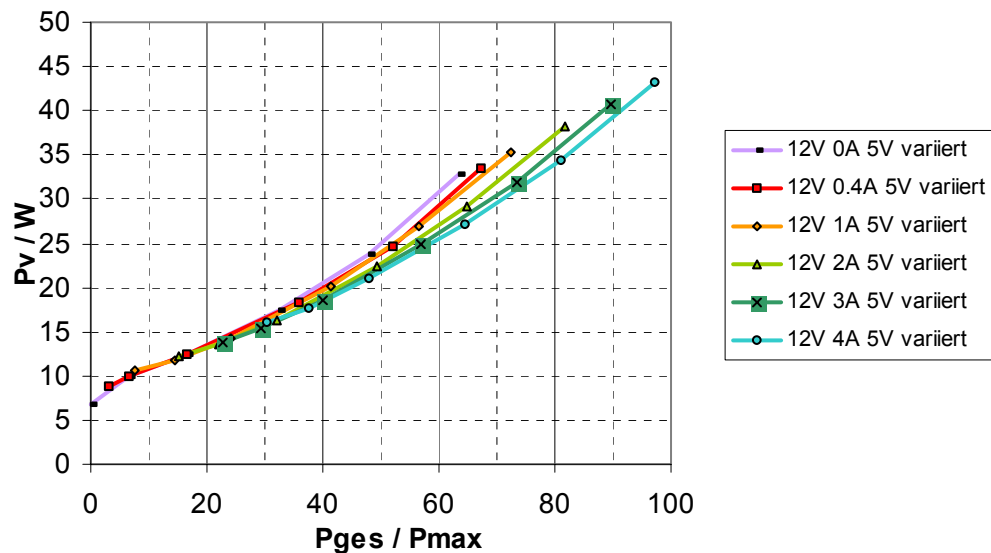


Abb.6: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 5V Ausganges.

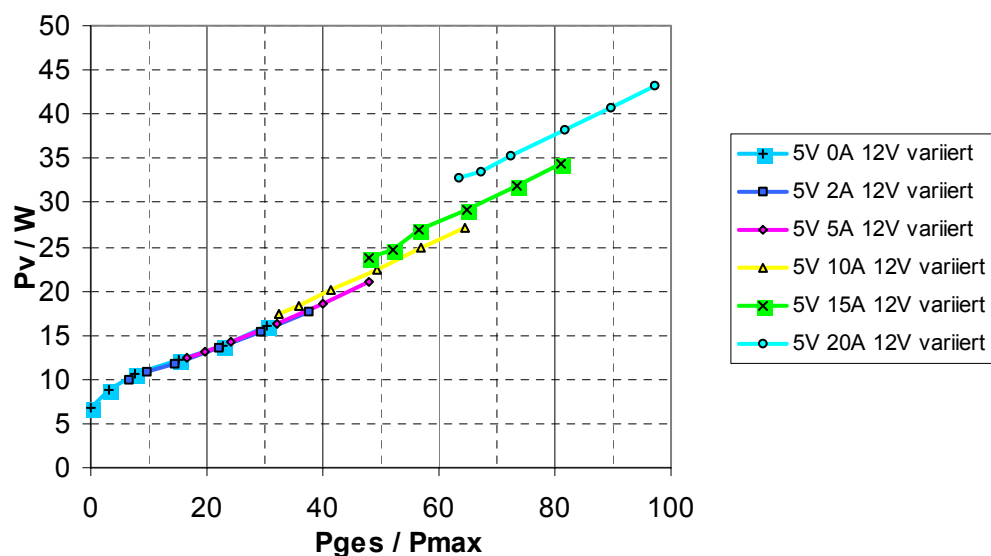


Abb.7: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 5V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

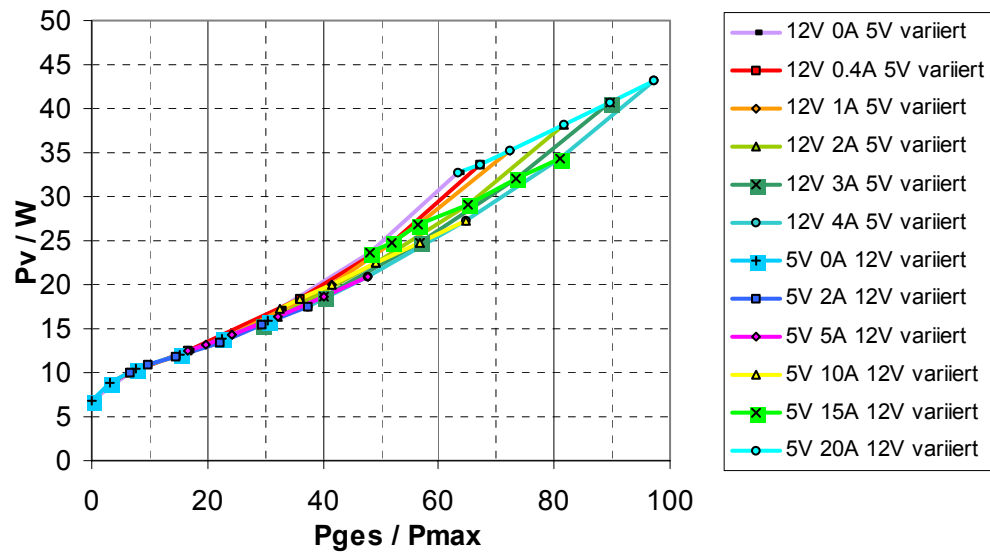


Abb.8: Zusammenfassung von Abb.6 und Abb.7: Verluste des Netzgerätes bei systematischer Variation des 5V und des 12V Ausganges.

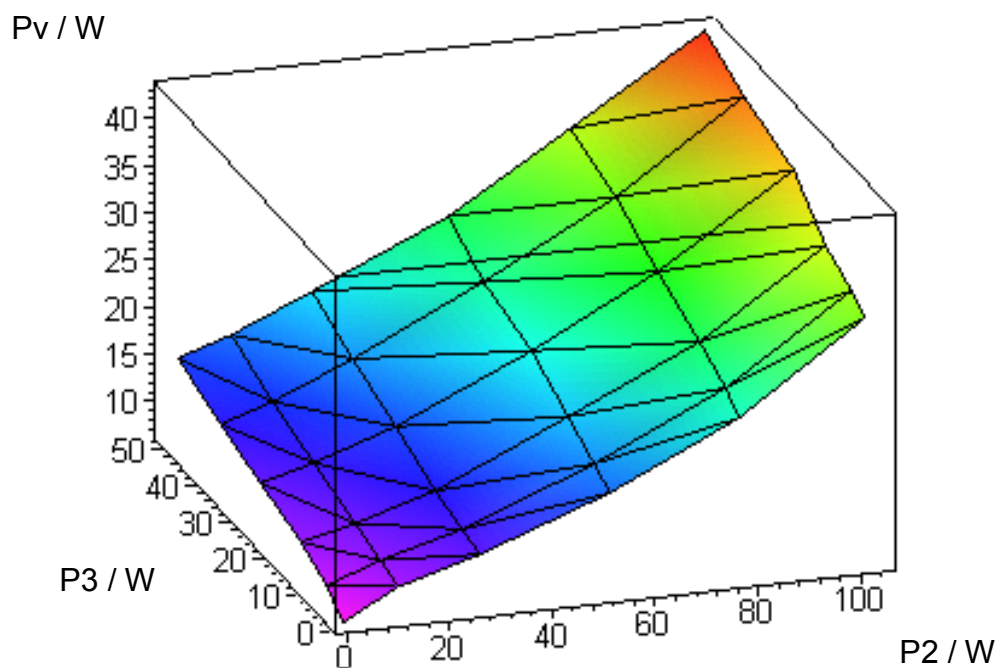


Abb.9: Dreidimensionale Darstellung der Verluste in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 (5V Ausgang) und P_3 (12V Ausgang).

5.4 Leistungsfaktor bei Belastung des 5V und 12V Ausganges

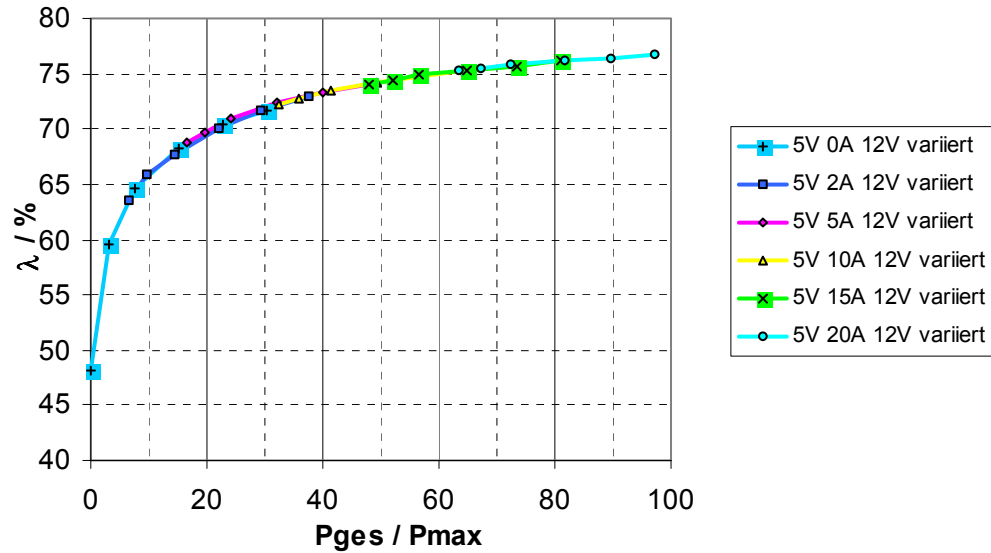


Abb.10: Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und des 12V Ausganges.

5.5 Belastung des 3.4V und 12V Ausganges

U1 V	I1 A	P1 W	I %	U2 V	I2 A	P2 W	U3 V	I3 A	P3 W	Pges W	Pv W	eta %	Pges/ Pmax %
233.34	0.6409	111.5	74.56	3.6033	10.137	36.53	11.763	3.9880	46.910	83.44	28.06	74.83	98.16
231.41	0.5779	98.6	73.74	3.5882	10.200	36.60	11.793	2.9910	35.270	71.87	26.73	72.89	84.55
231.98	0.5032	84.9	72.72	3.5806	10.227	36.63	11.837	1.9864	23.500	60.13	24.77	70.82	70.74
231.89	0.4240	70.7	71.96	3.5638	10.165	36.22	11.863	0.9944	11.797	48.02	22.68	67.92	56.49
232.05	0.3731	61.7	71.27	3.5010	10.110	35.39	11.820	0.4038	4.772	40.16	21.54	65.09	47.25
231.28	0.5901	101.2	74.14	3.6293	7.541	27.37	11.873	3.9741	47.190	74.56	26.64	73.68	87.72
231.34	0.5181	88.1	73.50	3.6399	7.525	27.31	11.918	0.0528	36.380	63.69	24.41	72.29	74.93
231.72	0.4413	74.3	72.68	3.6313	7.506	27.26	11.961	2.0780	24.850	52.11	22.19	70.13	61.31
232.25	0.3545	58.8	71.41	3.6306	7.484	27.17	11.979	0.9996	11.974	39.14	19.66	66.57	46.05
232.43	0.3139	51.4	70.52	3.6259	7.539	27.34	11.922	0.4613	5.500	32.84	18.56	63.89	38.64
232.08	0.5268	89.9	73.50	3.6366	4.949	18.00	11.942	4.0273	48.090	66.09	23.81	73.51	77.75
232.22	0.4454	75.1	72.57	3.6378	4.900	17.83	11.988	3.0150	36.140	53.97	21.13	71.86	63.49
232.77	0.3687	61.2	71.36	3.6395	4.869	17.72	12.019	2.0417	24.540	42.26	18.94	69.05	49.72
232.76	0.2886	47.0	69.90	3.6405	4.833	17.60	12.021	1.0692	12.850	30.45	16.55	64.78	35.82
233.85	0.2318	37.3	68.74	3.6397	4.806	17.49	11.948	0.4198	5.010	22.50	14.80	60.33	26.48
231.22	0.4586	77.4	73.03	3.6416	2.6338	9.591	11.990	4.0270	48.280	57.87	19.53	74.77	68.08
231.28	0.3811	63.2	71.74	3.6428	2.5726	9.375	12.033	3.0296	36.460	45.84	17.37	72.52	53.92
231.73	0.3051	49.8	70.38	3.6442	2.5557	9.314	12.067	2.0759	25.050	34.36	15.44	69.00	40.43
231.94	0.2202	34.8	68.21	3.6450	2.5416	9.264	12.066	1.0158	12.260	21.52	13.28	61.85	25.32
232.09	0.1703	26.1	65.99	3.6452	2.5239	9.200	11.996	0.4057	4.870	14.07	12.02	53.93	16.55
231.46	0.4137	69.3	72.35	3.6451	1.0710	3.904	12.035	4.0002	48.140	52.04	17.26	75.10	61.23
231.97	0.3387	55.8	71.05	3.6463	1.0534	3.841	12.075	3.0473	36.790	40.63	15.17	72.82	47.80
231.87	0.2605	42.0	69.50	3.6486	1.0476	3.822	12.121	2.0518	24.870	28.69	13.31	68.31	33.76
232.10	0.1801	27.8	66.55	3.6493	1.0374	3.786	12.138	1.0391	12.610	16.40	11.42	58.94	19.29
232.75	0.1269	18.6	62.77	3.6483	1.0330	3.769	12.100	0.4113	4.980	8.75	9.80	47.16	10.29
232.39	0.3841	64.1	71.79	3.6509	0.0000	0.000	12.048	4.0107	48.320	48.32	15.78	75.38	56.85
232.68	0.3085	50.4	70.20	3.6524	0.0000	0.000	12.089	3.0316	36.650	36.65	13.75	72.72	43.12
232.85	0.2271	36.0	68.09	3.6536	0.0000	0.000	12.131	1.9926	24.170	24.17	11.83	67.14	28.44
233.29	0.1497	22.7	64.85	3.6552	0.0000	0.000	12.145	1.0150	12.330	12.33	10.32	54.44	14.51
233.79	0.0974	13.6	59.59	3.6550	0.0000	0.000	12.147	0.4093	4.970	4.97	8.60	36.62	5.85

Formeln:

$$P_{ges} = P_2 + P_3$$

$$P_v = P_1 - P_{ges}$$

$$\eta = P_{ges} / P_1$$

$$P_{ges} / P_{max} = P_{ges} / 85W$$

5.6 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.4V und des 12V Ausganges

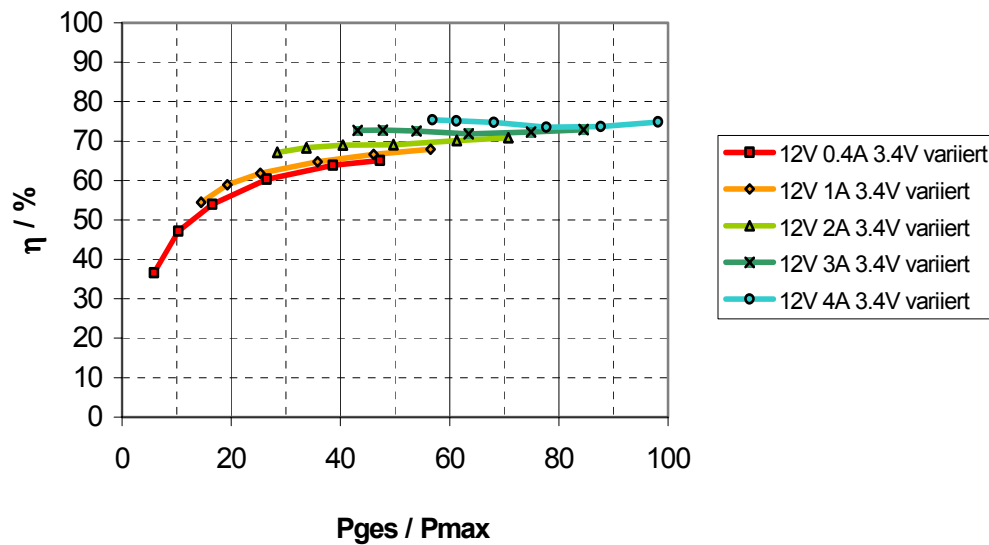


Abb.11: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 3.4V Ausganges.

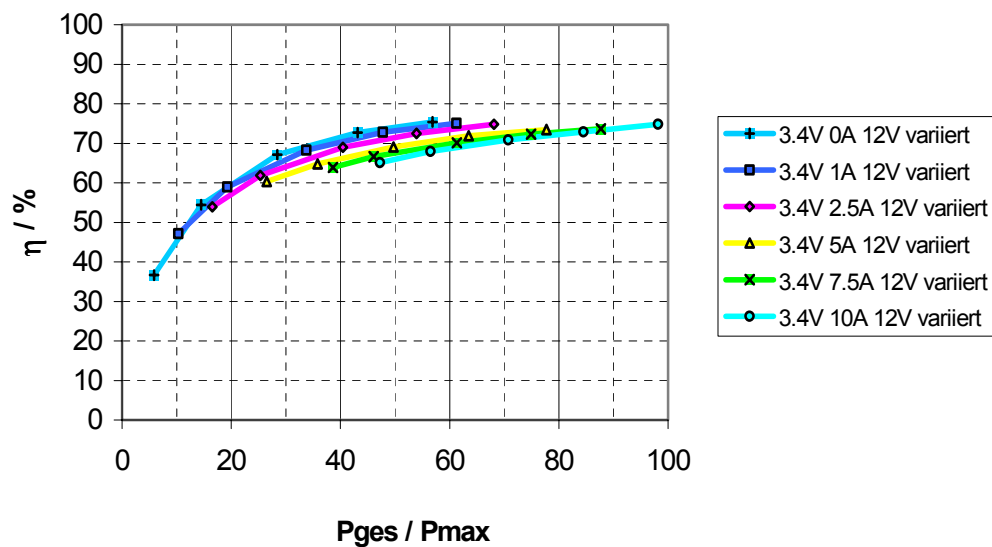


Abb.12: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 3.4V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

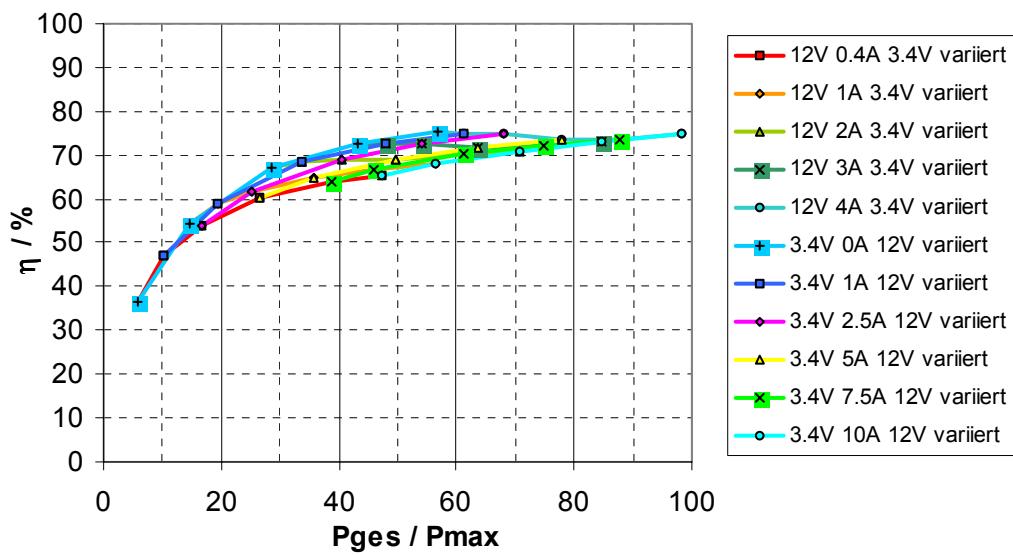


Abb.13: Zusammenfassung von Abb.11 und Abb.12: Abhängigkeit des Wirkungsgrades bei systematischer Variation des 3.4V und des 12V Ausganges.

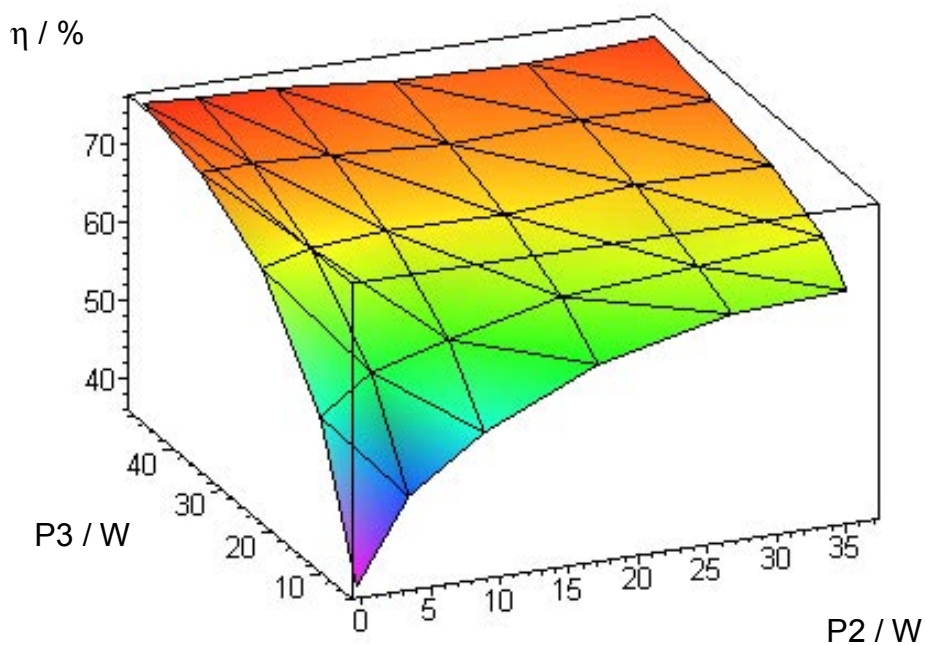


Abb.14: Dreidimensionale Darstellung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 (3.4V Ausgang) und P_3 (12V Ausgang).

5.7 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.4V und des 12V Ausganges

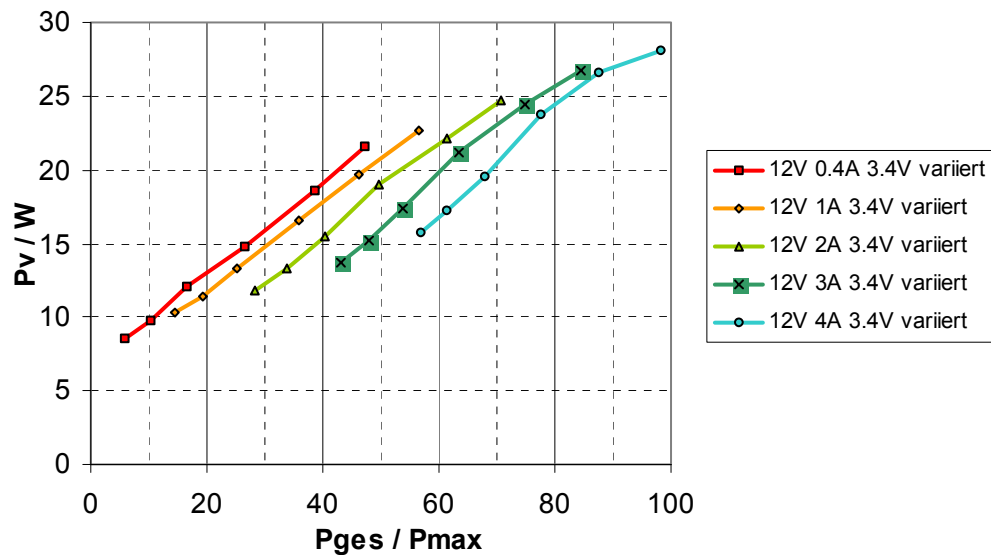


Abb.15: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 3.4V Ausganges.

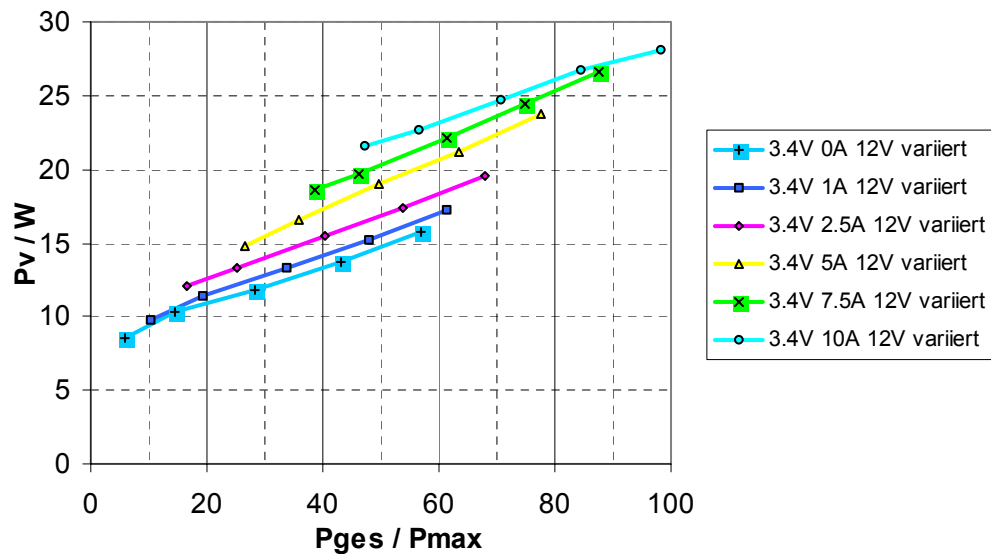


Abb.16: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 3.4V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

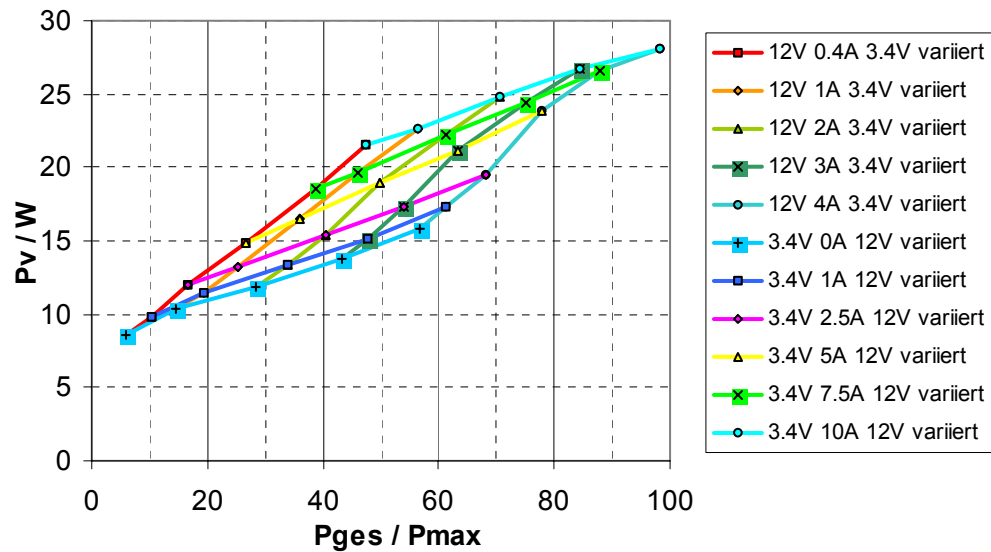


Abb.17: Zusammenfassung von Abb.15 und Abb.16: Verluste des Netzgerätes bei systematischer Variation des 3.4V und des 12V Ausganges.

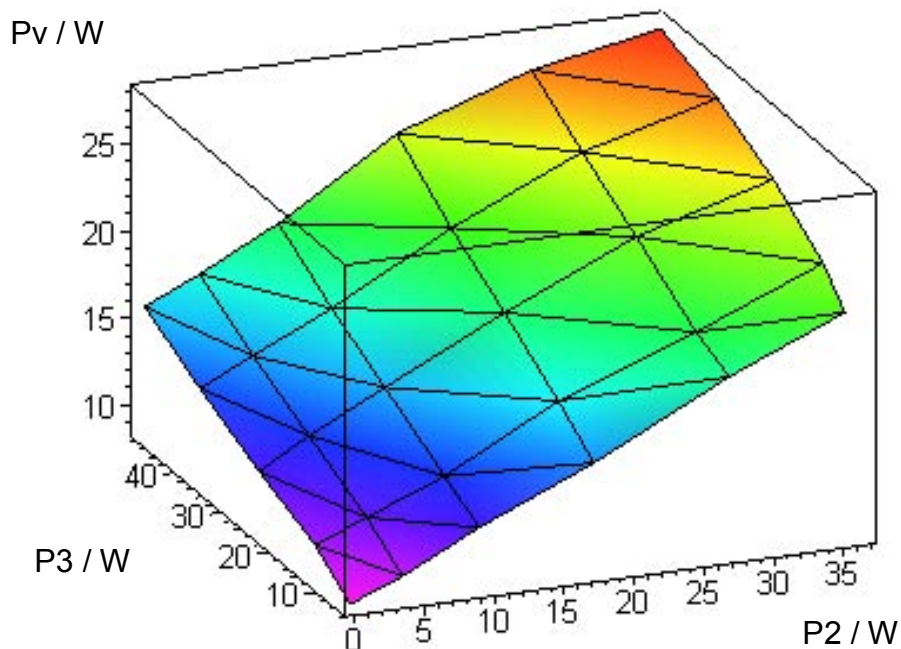


Abb.18: Dreidimensionale Darstellung der Verluste in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P2 (3.4V Ausgang) und P3 (12V Ausgang).

5.8 Leistungsfaktor bei Belastung des 3.4V und 12V Ausganges

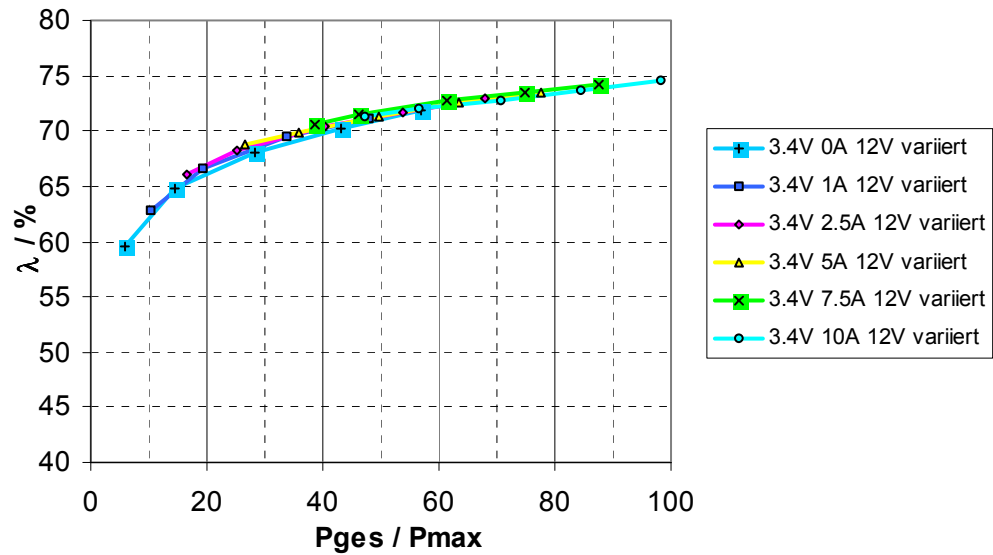


Abb.19: Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.4V und des 12V Ausganges.

6 Messschaltung bei Belastung aller drei Ausgänge

Messschaltung ähnlich wie unter Kapitel 4, jedoch mit zusätzlichem Lastkreis gebildet durch einen ohmschen Leistungs-Lastwiderstand zur Belastung des 12V Ausganges (Abb.20). Die Genauigkeit der zusätzlich verwendeten Messgeräte beträgt: 0.8% des A-Meters, 0.05% des V-Meters.

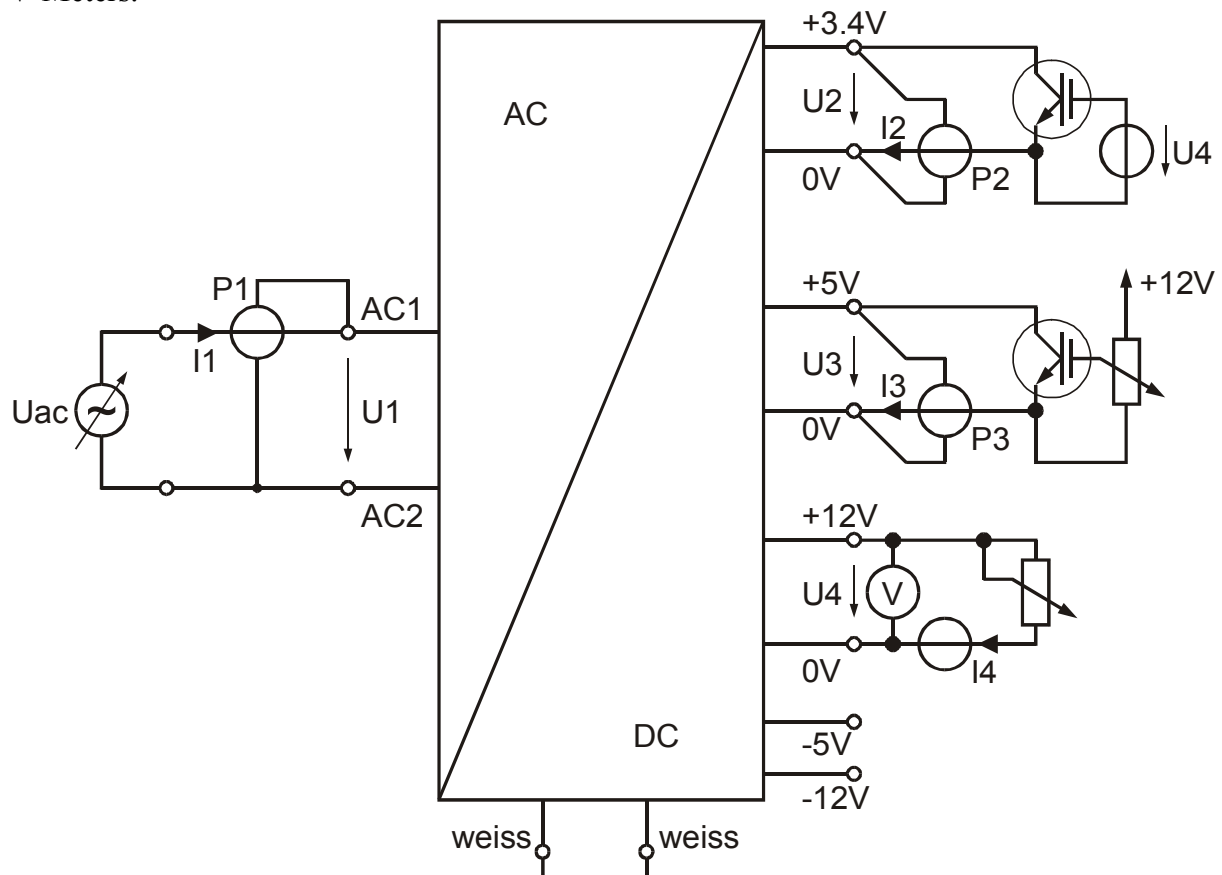


Abb.20: Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades bei Belastung aller drei Ausgänge (3.4V, 5V, 12V).

7 Messergebnisse bei Belastung aller drei Ausgänge

Nr	U1	I1	P1	λ	U2	I2	P2	U3	I3	P3	U4	I4	Pges /				
	V	A	W	%	V	A	W	V	A	W	V	A	P4	Pges	Pv	eta	Pmax
													W	W	W	%	%
1	228.52	1.0273	176.9	75.34	3.6298	8.7980	31.930	5.2442	10.1130	53.030	12.487	4.031	50.335	135.30	41.60	76.48	84.56
2	228.05	1.0120	173.6	75.24	3.6347	5.8823	21.380	5.2362	11.9890	62.780	12.532	3.995	50.065	134.23	39.37	77.32	83.89
3	228.22	0.9978	170.9	75.03	3.6392	2.8380	10.328	5.2271	12.9400	72.860	12.578	4.004	50.362	133.55	37.35	78.15	83.47
4	229.96	0.9876	170.3	75.00	3.6418	1.4808	5.393	5.2218	14.9310	77.970	12.606	4.012	50.575	133.94	36.36	78.65	83.71
5	229.78	0.8672	148.8	74.69	3.6315	8.8160	32.010	5.2789	6.0530	31.950	12.366	3.961	48.982	112.94	35.86	75.90	70.59
6	229.61	0.8537	145.8	74.39	3.6354	5.9131	21.497	5.2689	7.9110	41.680	12.409	3.972	49.289	112.47	33.33	77.14	70.29
7	228.97	0.8393	143.2	74.53	3.6407	2.8583	10.406	5.2598	9.9520	52.340	12.466	3.982	49.640	112.39	30.81	78.48	70.24
8	229.93	0.8343	142.5	74.29	3.6426	1.4439	5.260	5.2552	10.9710	57.660	12.484	3.986	49.761	112.68	29.82	79.07	70.43
9	232.38	0.7084	121.6	73.85	3.6305	8.7440	31.740	5.3193	2.0150	10.718	12.218	3.934	48.066	90.52	31.08	74.44	56.58
10	231.38	0.7068	120.5	73.70	3.6367	5.9195	21.528	5.3049	4.0191	21.321	12.291	3.950	48.549	91.40	29.10	75.85	57.12
11	231.56	0.6881	117.2	73.54	3.6422	2.9116	10.605	5.2947	9.9778	31.651	12.343	3.960	48.878	91.13	26.07	77.76	56.96
12	231.12	0.6859	116.6	73.52	3.6454	1.4525	5.295	5.2893	7.0700	37.390	12.372	3.966	49.067	91.75	24.85	78.69	57.35
13	230.79	0.5502	92.1	72.57	3.6400	4.3574	15.861	5.3431	1.0190	5.445	12.153	3.965	48.187	69.49	22.61	75.45	43.43
14	232.15	0.5415	90.9	72.31	3.6421	2.9113	10.603	5.3312	2.0213	10.776	12.207	3.933	48.010	69.39	21.51	76.34	43.37
15	231.82	0.5372	90.0	72.28	3.6456	1.4497	5.285	5.3253	3.0539	16.263	12.239	3.938	48.197	69.75	20.25	77.49	43.59
16	231.04	0.8377	144.4	74.62	3.6340	8.7980	31.970	5.2231	10.1000	52.760	12.590	1.971	24.815	109.54	34.86	75.86	68.47
17	232.17	0.8171	141.8	74.76	3.6394	5.8712	21.367	5.2155	11.9790	62.470	12.635	1.979	25.005	108.84	32.96	76.76	68.03
18	231.87	0.8051	139.0	74.47	3.6445	2.8757	10.481	5.2071	13.9430	72.600	12.650	1.985	25.110	108.19	30.81	77.84	67.62
19	232.35	0.7987	138.2	74.48	3.6469	1.4518	5.295	5.2009	14.9550	77.780	12.706	1.990	25.285	108.36	29.84	78.41	67.72
20	230.78	0.6881	117.5	73.97	3.6346	8.8030	32.000	5.2564	6.0090	31.590	12.464	1.953	24.342	87.93	29.57	74.84	54.96
21	232.26	0.6711	114.8	73.64	3.6407	5.8187	21.184	5.2475	7.9710	41.830	12.517	1.961	24.546	87.56	27.24	76.27	54.72
22	232.17	0.6578	112.1	73.42	3.6455	2.8658	10.447	5.2381	9.9090	51.910	12.562	1.986	24.948	87.31	24.79	77.88	54.57
23	232.13	0.6584	112.1	73.34	3.6474	1.4769	5.387	5.2331	11.0000	57.570	12.593	1.972	24.833	87.79	24.31	78.31	54.87
24	231.87	0.5428	91.6	72.81	3.6340	8.8110	32.020	5.2945	1.9894	10.533	12.322	1.931	23.794	66.35	25.25	72.43	41.47
25	231.40	0.5345	89.9	72.71	3.6416	5.8749	21.394	5.2811	3.9967	21.107	12.394	1.942	24.069	66.57	23.33	74.05	41.61
26	231.51	0.5191	87.2	72.53	3.6461	2.8993	10.571	5.2703	5.9827	31.530	12.448	1.950	24.274	66.37	20.83	76.12	41.48
27	231.61	0.5125	86.0	72.43	3.6486	1.4988	5.469	5.2654	6.9540	36.610	12.474	1.955	24.387	66.47	19.53	77.29	41.54
28	230.97	0.3834	62.6	70.67	3.6439	4.3119	15.712	5.3166	1.0304	5.478	12.271	1.923	23.597	44.79	17.81	71.54	27.99
29	231.38	0.3763	61.3	70.44	3.6467	2.8350	10.338	5.3064	1.9832	10.524	12.313	1.930	23.764	44.63	16.67	72.80	27.89
30	231.74	0.3712	60.6	70.42	3.6496	1.4430	5.266	5.2994	2.9775	15.779	12.346	1.934	23.877	44.92	15.68	74.13	28.08
31	229.48	0.7015	119.0	73.93	3.6362	8.7670	31.880	5.1976	9.8720	51.310	12.695	0.401	5.091	88.28	30.72	74.19	55.18
32	229.51	0.6935	117.7	73.93	3.6425	5.8431	21.283	5.1891	12.0050	62.300	12.747	0.403	5.137	88.72	28.98	75.38	55.45
33	229.04	0.6797	115.0	73.89	3.6468	2.8303	10.322	5.1797	14.0410	72.730	12.795	0.404	5.169	88.22	26.78	76.71	55.14
34	229.21	0.6726	113.7	73.74	3.6492	1.4773	5.391	5.1758	14.9330	77.290	12.819	0.404	5.179	87.86	25.84	77.27	54.91
35	229.74	0.5613	93.9	72.84	3.6368	8.7690	31.890	5.2302	5.9930	31.340	12.576	0.397	4.993	68.22	25.68	72.65	42.64
36	229.59	0.5484	91.5	72.66	3.6433	5.8390	21.273	5.2222	7.9530	41.530	12.628	0.399	5.039	67.84	23.66	74.14	42.40
37	229.41	0.5358	89.0	72.41	3.6481	2.8262	10.310	5.2121	10.0050	52.150	12.677	0.400	5.071	67.53	21.47	75.88	42.21
38	229.48	0.533	88.6	72.44	3.6495	1.4797	5.400	5.2069	11.1050	57.350	12.704	0.402	5.107	67.86	20.74	76.59	42.41

39	229.73	0.4201	68.7	71.15	3.6358	8.7227	31.730	5.2667	1.9934	10.498	12.435	0.392	4.875	47.10	21.60	68.56	29.44
40	230.13	0.5088	66.7	70.86	3.6438	5.8069	21.159	5.2538	3.9890	20.957	12.506	0.394	4.927	47.04	19.66	70.53	29.40
41	230.14	0.3913	63.9	70.94	3.6486	2.8658	10.456	5.2437	5.9364	31.128	12.559	0.397	4.986	46.57	17.33	72.88	29.11
42	230.11	0.389	63.4	70.87	3.6509	1.4273	5.211	5.2377	7.0440	36.900	12.587	0.398	5.010	47.12	16.28	74.32	29.45
43	230.21	0.2612	41.0	68.13	3.6463	4.3000	15.679	5.2922	1.0011	5.298	12.368	0.400	4.947	25.92	15.08	63.23	16.20
44	230.50	0.2542	39.6	67.61	3.6483	2.8300	10.325	5.2811	1.9593	10.347	12.418	0.402	4.992	25.66	13.94	64.81	16.04
45	230.73	0.2495	39.0	67.68	3.6521	1.4968	5.466	5.2745	2.9528	15.574	12.452	0.404	5.031	26.07	12.93	66.85	16.29

Formeln:

$$P_4 = U_4 \cdot I_4$$

$$P_{ges} = P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_v = P_1 - P_{ges}$$

$$\eta = P_{ges} / P_1$$

$$P_{ges} / P_{max} = P_{ges} / 160W$$

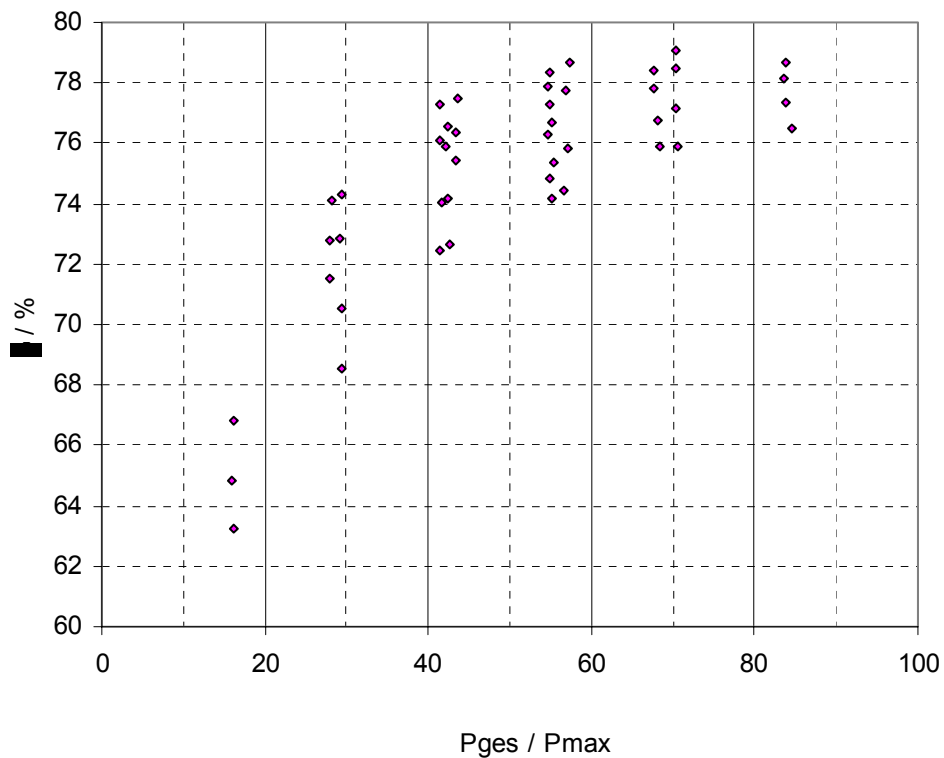


Abb.21: Darstellung aller Wirkungsgradpunkte in Abhängigkeit der Auslastung bei Variation aller drei Ausgänge.

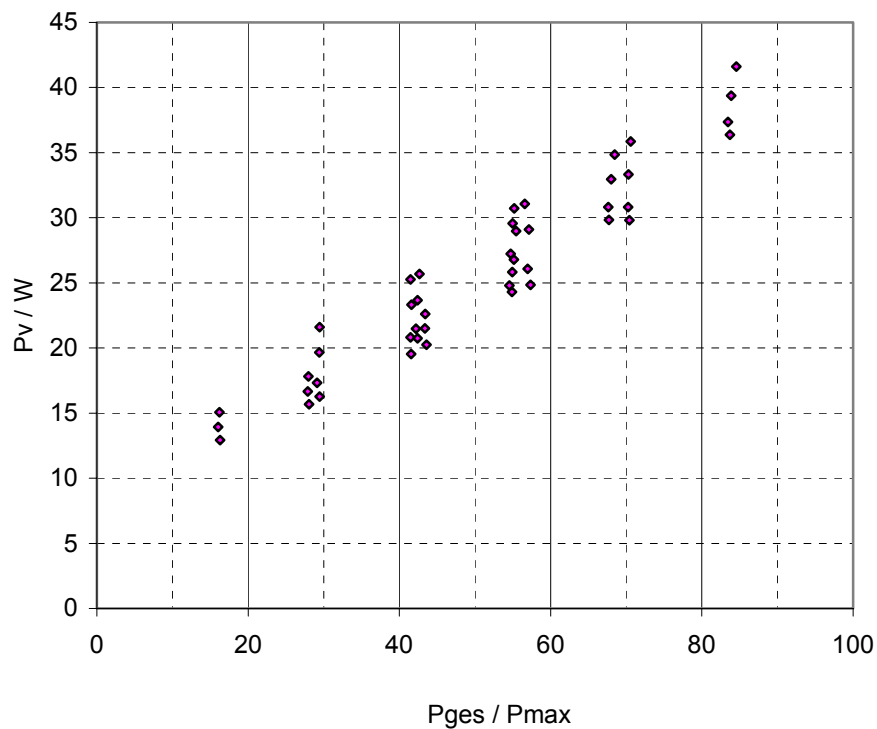


Abb.22: Darstellung aller Verlustleistungspunkte im Netzgerät in Abhängigkeit der Auslastung bei Variation aller drei Ausgänge.

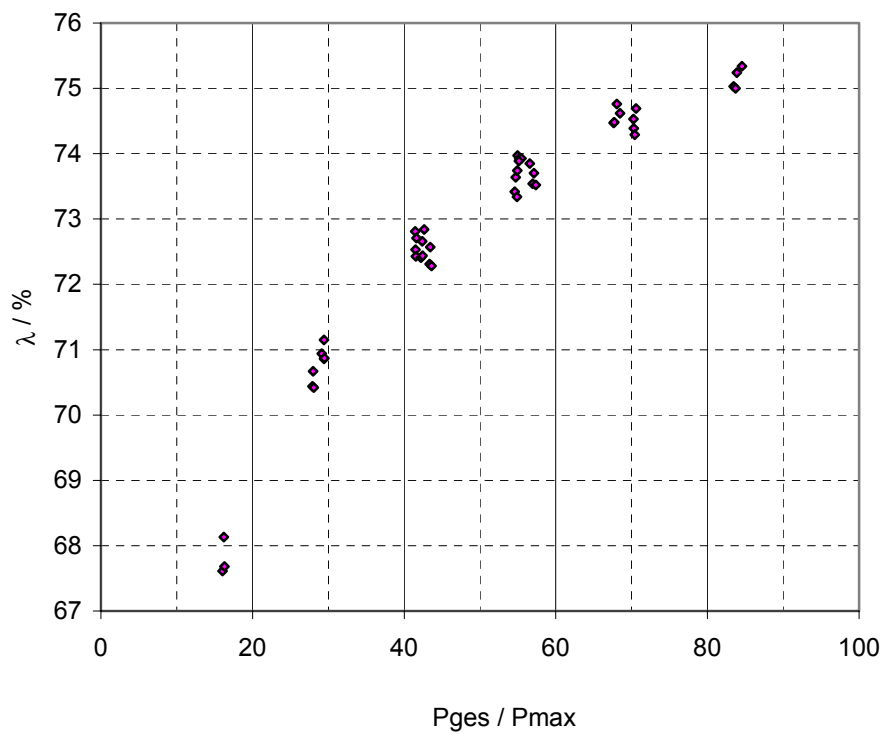


Abb.23: Darstellung aller Leistungsfaktorpunkte in Abhängigkeit der Auslastung bei Variation aller drei Ausgänge.

8 Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass beim untersuchten Netzgerät für eine Gesamtausgangsleistung größer 30% der Nennleistung, bei Belastung des 5V und des 12V Ausganges ein Wirkungsgrad im Bereich 73 ... 79% liegt, bei Belastung des 3.4V Ausganges sinkt der Wirkungsgrad auf 60... 75%. Der Leistungsfaktor wird nicht korrigiert und ist bei größer 30% Auslastung im Bereich von 72...77%, was wesentlich besser ist als das untersuchte Netzgerät von Minebea.

Johann Miniböck

power electronics consultant
- design and prototyping -

Bericht

Minebea 200W

Inhalt	Seite
1 Einleitung.....	3
2 Technische Daten	3
3 Inbetriebnahme	3
4 Messschaltung	4
5 Messergebnisse.....	5
5.1 Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	5
5.2 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	6
5.3 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	8
5.4 Leistungsfaktor bei Belastung des 5V und 12V Ausganges.....	10
5.5 Belastung des 3.3V und 12V Ausganges.....	11
5.6 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.3V und des 12V Ausganges	12
5.7 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.3V und des 12V Ausganges.....	14
5.8 Leistungsfaktor bei Belastung des 3.3V und 12V Ausganges.....	16
6 Messschaltung bei Belastung aller drei Ausgänge	17
7 Messergebnisse bei Belastung aller drei Ausgänge.....	18
8 Diskussion	21

1 Einleitung

Dieser Bericht dokumentiert die Bestimmung des Wirkungsgrades eines Minebea PC Netzgerätes. Das Netzgerät zeichnet sich durch mehrere Ausgangsspannungen (3.3V, 5V, 12V) und einem umschaltbaren Eingangsspannungsbereich aus. Die Gesamtausgangsleistung des Gerätes beträgt 200W.

2 Technische Daten

INPUT 100 – 127V~5.0A 200 – 240V~2.85A 50/60Hz	Minebea Electronics (UK) Ltd MADE IN THAILAND
OUTPUT +5V 20.0A MAX +12V 8.0A MAX (11A 15 SECS) +3.3V 20A MAX -12V 0.5A MAX -5V 0.5A MAX AUX +5V 20mA MAX	MEUK No. ME200S0CSCV21 PART No. AF000128 E.C. No. D31234 SERIAL No. 121890 YY/WW. 95/30 IBM PT No. 06H2966 IBM FRU No. 06H2968
	MAX POWER 200W COMBINED +5V & +3.3V LOADING 100W MAX
 Bauart geprüft	  
	LEVEL 3 HP-150 Vdc
DP	*B16Q8121890*

Eingangsnennspannung	100-127 / 200-240V, einphasig, umschaltbar
Eingangsnennfrequenz	50 / 60Hz
Eingangsnennstrom	5 / 2.85A
Ausgang 1:	+5V / 20A (100W)
Ausgang 2:	+12V / 8A (96W)
Ausgang 3:	+3.3V / 20A
Ausgang 4:	-12V / 0.5A (6W)
Ausgang 5:	-5V / 0.5A (2.5W)
Ausgangsleistung gesamt:	max. 200W

3 Inbetriebnahme

Das Netzgerät befindet sich bei offenen Ausgangsklemmen im „Shutdown“, d.h. es sind die Ausgänge nicht freigegeben und liefern daher keine Ausgangsspannung. Die Freigabe des Netzgerätes erfolgt durch Verbindung des grauen mit dem schwarzen Kabel an Stecker P9.

Das Gerät ist leerlauffest, d.h. es kann ohne Last betrieben werden, ohne dass es kaputt geht. Es muss jedoch eine Mindestlast von ca. 10Ω am 5V Ausgang (=2.5W) angeschlossen werden, damit es auch Leistung am 3.3V Ausgang liefern kann. Das Gerät wurde im gegenständlichen Fall mit der Nennspannung von 230V versorgt.

4 Messschaltung

In Abb.1 ist die Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades dargestellt. Das Netzgerät wird mittels einer einstellbaren AC-Spannungsquelle U_{ac} versorgt (Spartrafo).

Der $-12V$ Ausgang und der $-5V$ Ausgang werden nicht belastet und haben durch die relativ kleine Belastbarkeit (gesamt $8.5W$) keine Auswirkung auf die Qualität des Messergebnisses. Durch die Verbindung GND – Shutdown erfolgt die Freigabe der Ausgangsspannungen. Die Belastung des $+12V$ Ausganges erfolgt durch ein Hochleistungs- IGBT Modul in Konstantstrombetrieb. Die Gatespannung dieses Moduls wird mit einem Potentiometer eingestellt, um den Stromwert einstellen zu können.

Der $+5V$ bzw. $3.3V$ Ausgang U_2 wird ebenfalls mit einem IGBT Modul belastet. Dieses IGBT Modul wird wegen der höheren Gate-Threshold-Spannung mit einem externen Gleichspannungsnetzgerät angesteuert und stellt wieder eine Konstantstromlast dar.

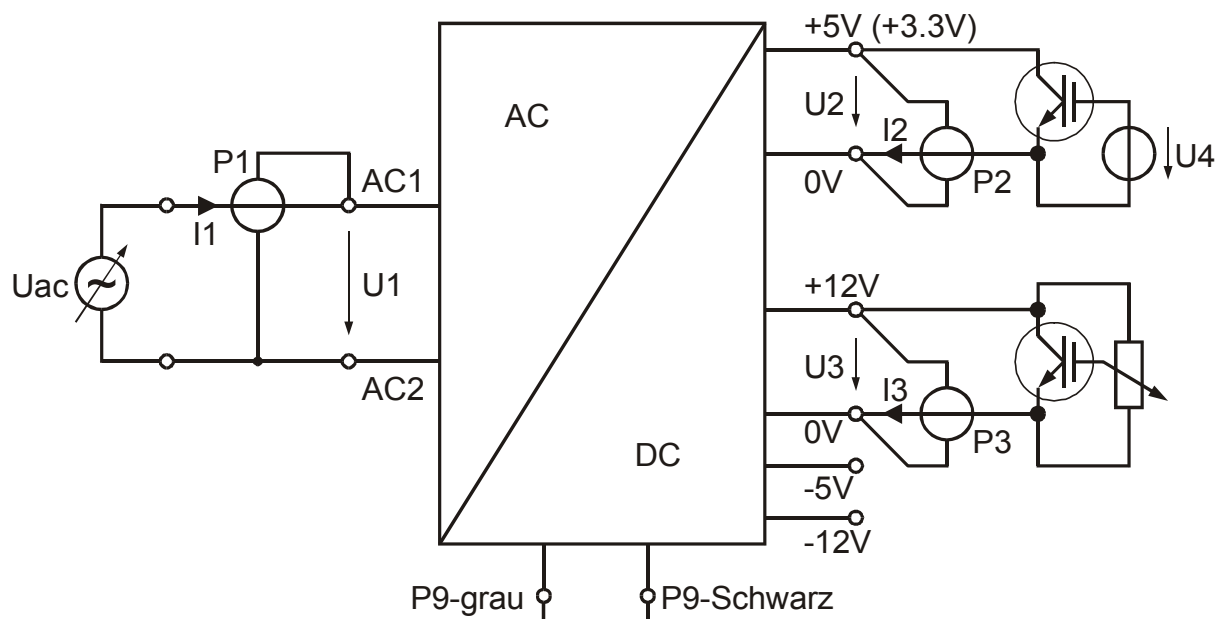


Abb.1: Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades

Alle Ströme, Spannungen und Leistungen werden in einem LEM NORMA Power Analyzer NORMA 4000 gleichzeitig erfasst, wodurch eine Konsistenz der Messwerte sichergestellt werden kann. Die Genauigkeit des Power Analyzer ist mit $\pm 0.1\%$ pro Strom- bzw. Spannungskanal angegeben, wodurch sich eine Genauigkeit in der Leistungsmessung pro Kanal von $\pm 0.2\%$ ergibt. Die **Gesamtgenauigkeit** beträgt daher im schlimmsten Fall **$\pm 0.4\%$** .

5 Messergebnisse

5.1 Belastung des 5V und 12V Ausganges

U1 V	I1 A	P1 W	I %	U2 V	I2 A	P2 W	U3 V	I3 A	P3 W	Pges W	Pv W	eta %	Pges/ Pmax %
229.49	1.7904	255.4	62.61	4.9345	20.042	98.90	11.922	8.0790	96.480	195.38	60.02	76.50	97.69
229.22	1.5835	224.3	61.79	4.9322	20.060	98.64	12.076	6.0080	72.560	171.20	53.10	76.33	85.60
229.62	1.3761	193.8	61.33	4.9300	20.070	98.95	12.211	3.9876	48.690	147.64	46.16	76.18	73.82
229.69	1.1645	163.4	61.09	4.9263	19.973	98.39	12.349	1.9967	24.660	123.05	40.35	75.31	61.53
229.59	1.0410	145.8	61.02	4.9201	19.992	98.36	12.460	0.8052	10.033	108.39	37.41	74.34	54.20
229.55	0.9682	135.1	60.80	4.8677	20.275	98.69	12.941	0.0000	0.000	98.69	36.41	73.05	49.35
228.93	1.5433	219.6	62.15	4.9707	15.028	74.70	11.779	8.0210	94.480	169.18	50.42	77.04	84.59
229.37	1.3447	190.5	61.76	4.9676	15.018	74.60	11.898	6.0580	72.080	146.68	43.82	77.00	73.34
229.89	1.1430	160.3	61.00	4.9647	15.032	76.63	12.032	4.0052	48.190	124.82	35.48	77.87	62.41
229.91	0.9441	131.4	60.54	4.9586	15.058	74.67	12.176	1.9939	24.280	98.95	32.45	75.30	49.48
230.36	0.8266	114.1	59.94	4.9525	15.033	74.45	12.281	0.7992	9.815	84.27	29.84	73.85	42.13
230.65	0.7426	102.5	59.84	4.9132	15.054	73.96	12.654	0.0000	0.000	73.96	28.54	72.16	36.98
229.99	1.3100	186.4	61.86	5.0028	9.999	50.03	11.614	8.0820	93.860	143.89	42.51	77.19	71.95
229.92	1.1154	157.0	61.21	5.0003	10.027	50.14	11.738	6.0140	70.590	120.73	36.27	76.90	60.37
229.80	0.9263	128.6	60.39	4.9962	10.042	50.17	11.864	4.0134	47.610	97.78	30.82	76.03	48.89
230.20	0.7353	100.6	59.43	4.9908	9.983	49.82	11.999	2.0457	24.550	74.37	26.23	73.93	37.19
230.33	0.6169	83.2	58.58	4.9854	9.996	49.83	12.109	0.8000	9.688	59.52	23.68	71.54	29.76
231.10	0.5428	72.5	57.77	4.9572	10.060	49.87	12.378	0.0000	0.000	49.87	22.63	68.79	24.94
230.27	1.0933	153.5	60.96	5.0354	5.0318	24.330	11.453	8.0530	92.230	116.56	36.94	75.93	58.28
230.79	0.9035	125.5	60.17	5.0316	5.0743	25.532	11.572	6.0230	69.690	95.22	30.28	75.87	47.61
230.60	0.7225	99.0	59.39	5.0276	5.0160	25.218	11.688	4.1206	48.160	73.38	25.62	74.12	36.69
230.97	0.5329	71.1	57.73	5.0221	5.0360	25.291	11.829	2.0603	24.370	49.66	21.44	69.85	24.83
231.73	0.4118	53.9	56.46	5.0157	4.9973	25.065	11.938	0.8042	9.600	34.67	19.24	64.31	17.33
231.53	0.3341	42.6	55.11	5.0004	5.0072	25.038	12.101	0.0000	0.000	25.04	17.56	58.77	12.52
230.22	0.9520	133.9	61.10	5.0577	2.0199	10.216	11.330	8.0430	91.130	101.35	32.55	75.69	50.67
231.09	0.7746	106.8	59.65	5.0539	2.0386	10.303	11.446	6.0450	69.180	79.48	27.32	74.42	39.74
231.49	0.5876	79.3	58.27	5.0489	2.0127	10.162	11.574	4.0118	46.430	56.59	22.71	71.36	28.30
231.71	0.4074	52.5	55.59	5.0426	1.9942	10.056	11.714	2.0035	23.470	33.53	18.97	63.86	16.76
232.46	0.2892	36.4	54.14	5.0371	1.9993	10.071	11.815	0.7991	9.441	19.51	16.89	53.60	9.76
232.29	0.2127	25.6	51.91	0.0226	2.0055	10.073	11.973	0.0000	0.000	10.07	15.53	39.35	5.04
231.33	0.7693	107.3	60.29	5.2431	0.0000	0.000	9.822	8.0070	78.640	78.64	28.66	73.29	39.32
231.50	0.6269	85.2	58.68	5.2118	0.0000	0.000	10.148	6.0160	61.050	61.05	24.15	71.65	30.53
231.75	0.4686	62.0	57.11	5.1853	0.0000	0.000	10.449	4.0065	41.860	41.86	20.14	67.52	20.93
232.04	0.3133	39.3	54.01	5.1349	0.0000	0.000	10.963	2.0152	22.090	22.09	17.21	56.21	11.05
231.86	0.2100	24.6	50.51	5.0972	0.0000	0.000	11.340	0.7974	9.043	9.04	15.56	36.76	4.52
231.85	0.1021	10.5	44.35	5.0873	0.0000	0.000	11.531	0.0000	0.000	0.00	10.50	0.00	0.00

Formeln:

$$P_{ges} = P_2 + P_3$$

$$P_v = P_1 - P_{ges}$$

$$\eta = P_{ges} / P_1$$

$$P_{ges} / P_{max} = P_{ges} / 200W$$

5.2 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges

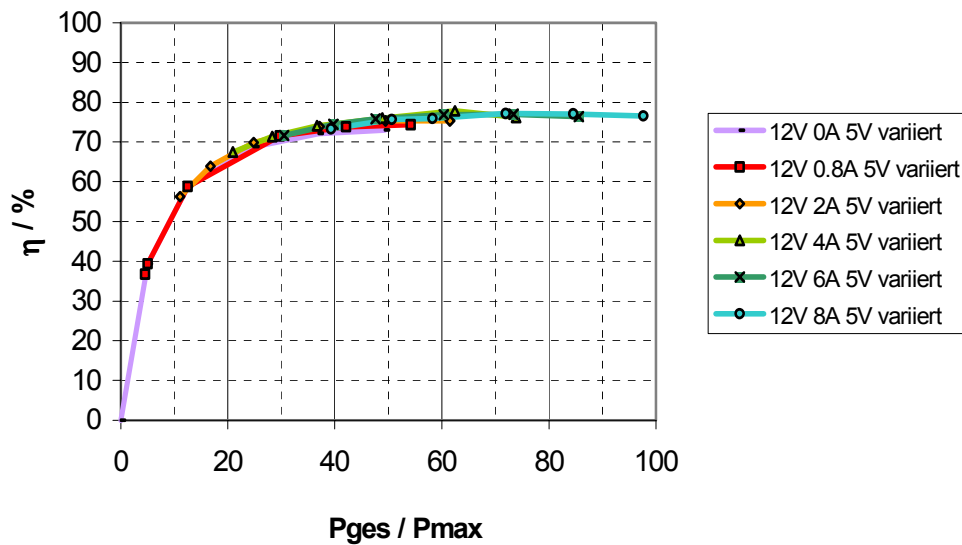


Abb.2: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 5V Ausganges.

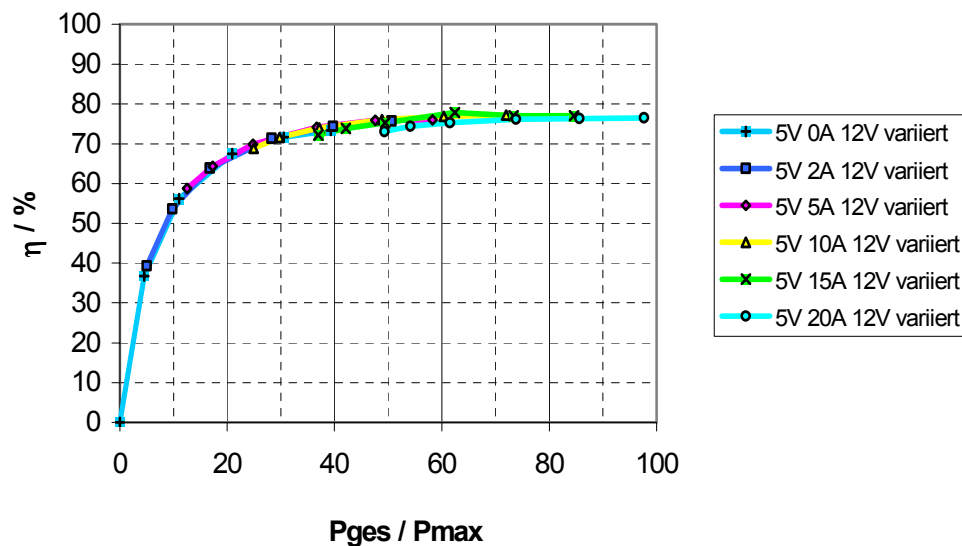


Abb.3: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 5V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

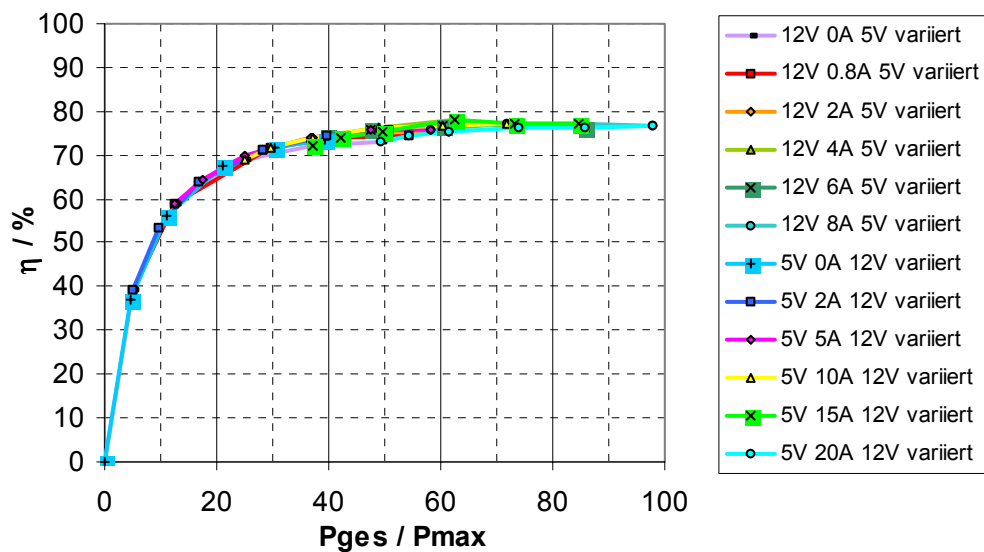


Abb.4: Zusammenfassung von Abb.2 und Abb.3: Abhängigkeit des Wirkungsgrades bei systematischer Variation des 5V und des 12V Ausganges.

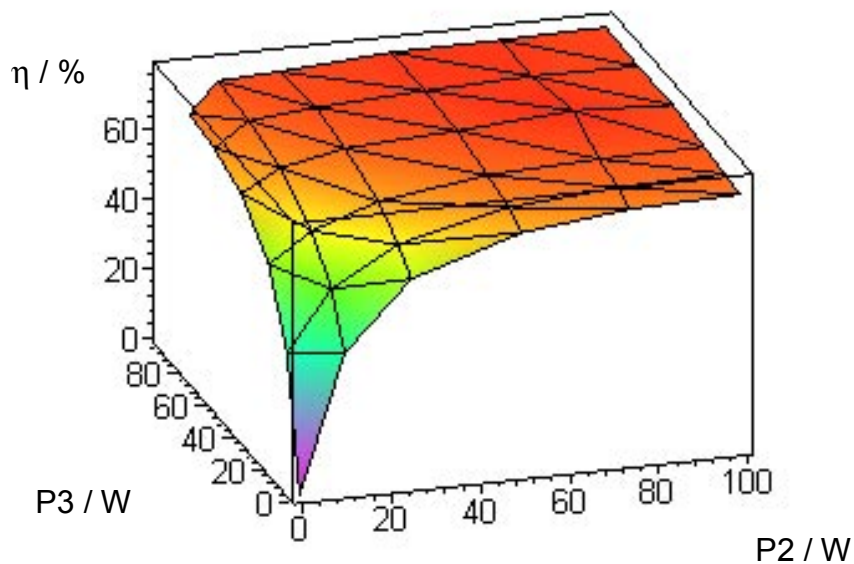


Abb.5: Dreidimensionale Darstellung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 (5V Ausgang) und P_3 (12V Ausgang).

5.3 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und 12V Ausganges

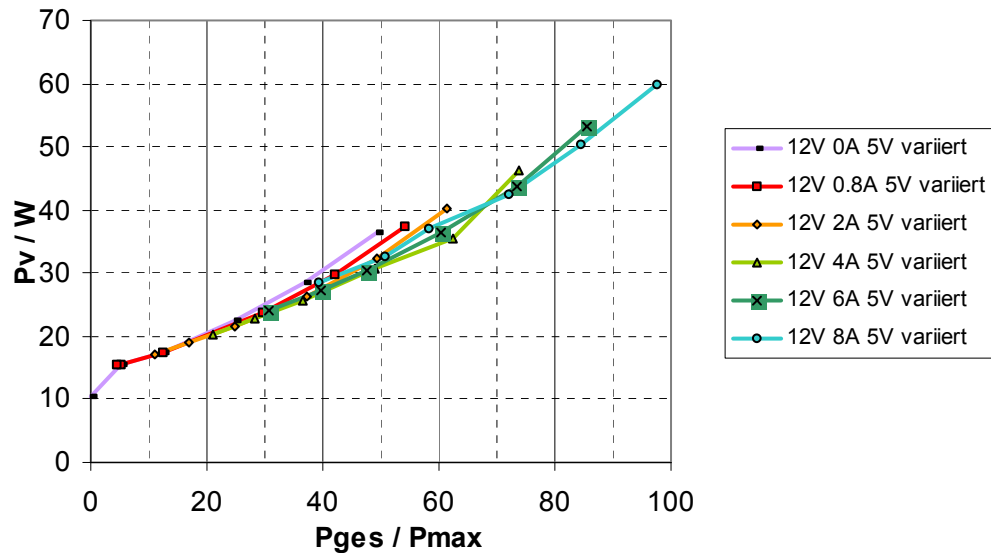


Abb.6: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 5V Ausganges.

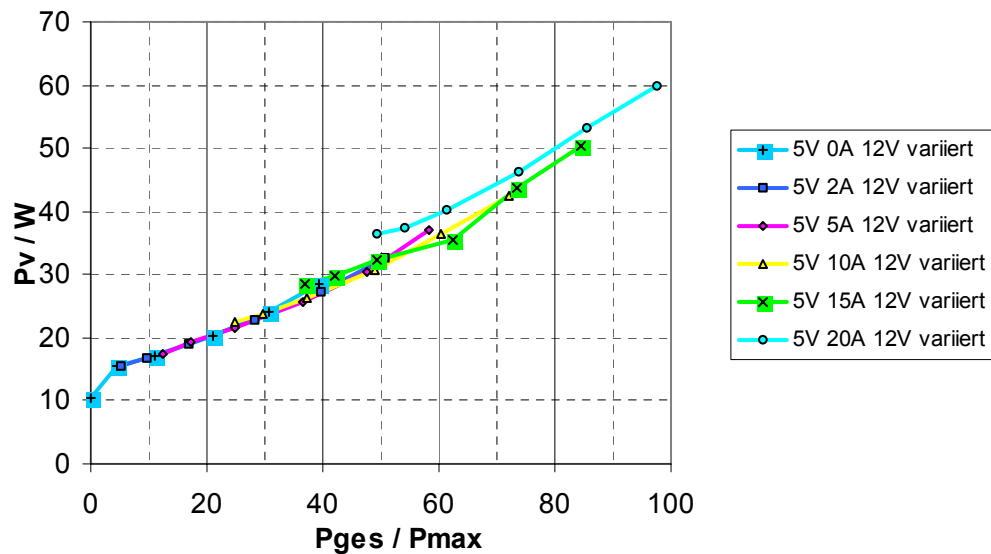


Abb.7: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 5V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

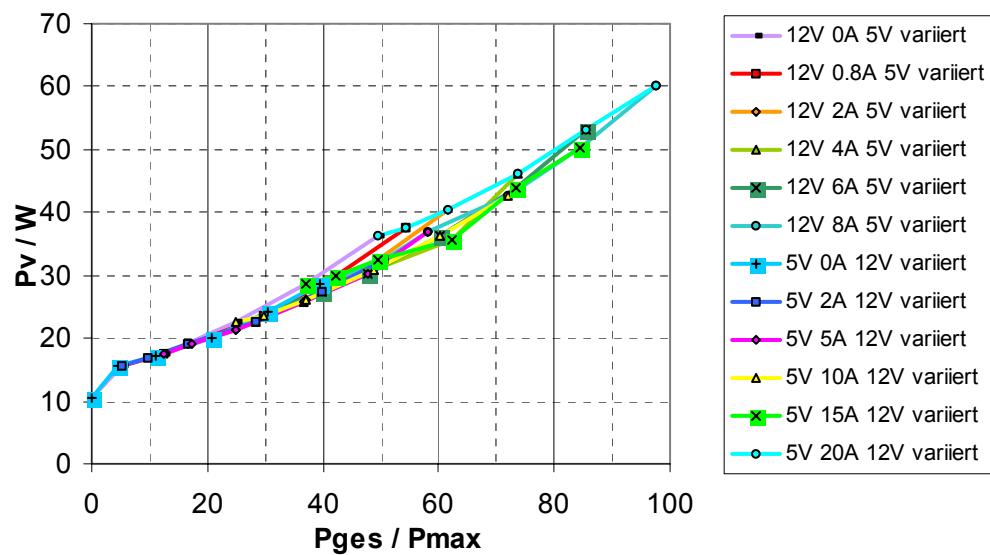


Abb.8: Zusammenfassung von Abb.6 und Abb.7: Verluste des Netzgerätes bei systematischer Variation des 5V und des 12V Ausganges.

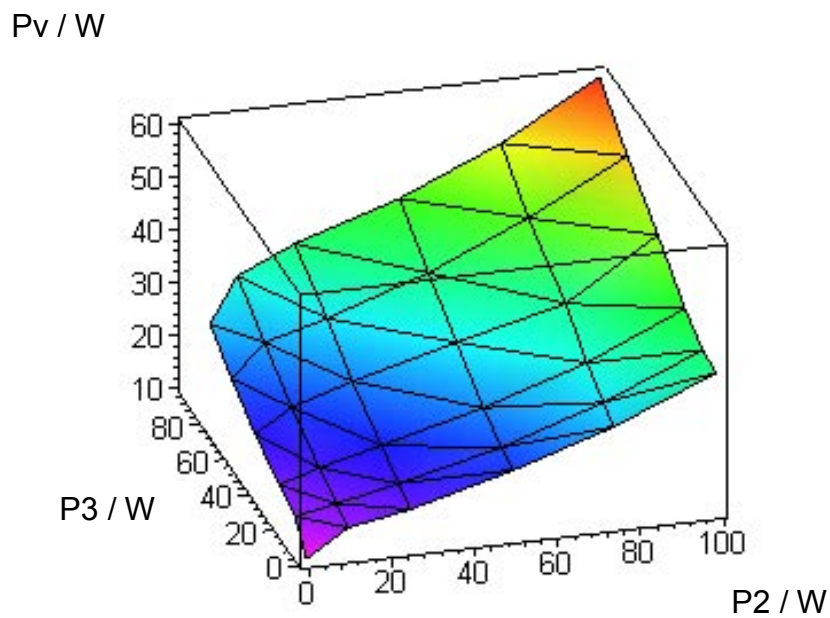


Abb.9: Dreidimensionale Darstellung der Verluste in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 (5V Ausgang) und P_3 (12V Ausgang).

5.4 Leistungsfaktor bei Belastung des 5V und 12V Ausganges

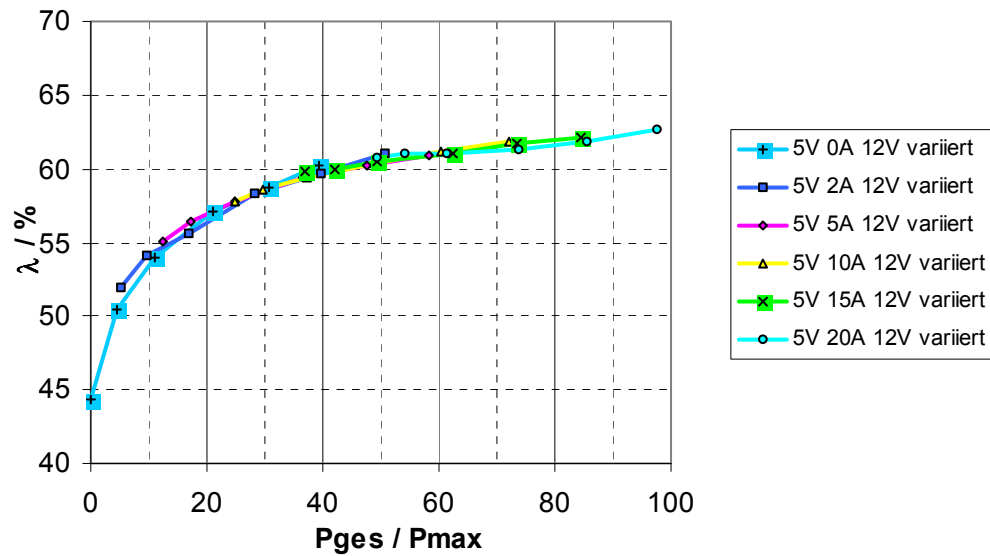


Abb.10: Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bei Belastung des 5V und des 12V Ausganges.

5.5 Belastung des 3.3V und 12V Ausganges

U1 V	I1 A	P1 W	I %	U2 V	I2 A	P2 W	U3 V	I3 A	P3 W	Pges W	Pv W	eta %	Pges/ Pmax %
230.15	1.5427	221.9	62.51	3.3279	20.079	66.82	11.145	8.0280	89.470	158.79	63.11	71.56	79.40
230.83	1.3570	192.3	61.38	3.2872	20.047	65.90	11.233	5.9900	67.280	135.68	56.62	70.56	67.84
230.06	1.1802	164.8	60.71	3.2555	20.098	65.43	11.326	4.0366	45.720	113.65	51.15	68.96	56.83
231.10	0.9821	136.1	59.94	3.2403	19.965	64.69	11.436	1.9986	22.850	90.04	46.06	66.16	45.02
231.27	0.8729	120.0	59.44	3.2340	19.992	64.66	11.535	0.8052	9.288	76.45	43.55	63.71	38.22
230.66	0.7873	107.1	58.98	3.1733	20.012	63.50	11.720	0.0000	0.000	66.00	41.10	61.62	33.00
231.74	1.3325	195.2	63.22	3.3784	15.055	50.86	11.109	8.0100	88.980	142.34	52.86	72.92	71.17
232.07	1.1520	167.7	62.73	3.3800	15.076	50.96	11.226	6.0280	67.670	121.13	46.57	72.23	60.57
232.28	0.9716	139.9	62.00	3.3808	15.061	50.92	11.329	4.0068	45.390	98.81	41.09	70.63	49.41
232.00	0.7955	112.8	61.13	3.3810	15.031	50.82	11.445	2.0079	22.980	76.30	36.50	67.64	38.15
232.52	0.6845	96.6	60.69	3.3812	14.996	50.70	11.545	0.8022	9.262	62.46	34.14	64.66	31.23
232.55	0.6102	85.1	59.97	3.3812	15.000	50.72	11.745	0.0000	0.000	53.22	31.88	62.54	26.61
231.46	1.1525	169.3	63.46	3.3817	10.044	33.96	11.130	8.0480	89.580	126.04	43.26	74.45	63.02
231.72	0.9815	142.5	62.65	3.3822	10.097	34.15	11.265	6.0360	68.000	104.65	37.85	73.44	52.33
231.93	0.8025	114.7	61.62	3.3817	10.039	33.95	11.388	3.9967	45.510	81.96	32.74	71.46	40.98
232.32	0.6240	87.6	60.45	3.3815	10.003	33.83	11.500	2.0003	23.000	59.33	28.27	67.73	29.67
232.13	0.5247	72.6	59.64	3.3813	10.183	34.43	11.596	0.8007	9.286	46.22	26.38	63.66	23.11
232.69	0.4476	60.9	58.48	3.3808	10.153	34.33	11.782	0.0000	0.000	36.83	24.07	60.48	18.42
231.99	0.9971	146.2	63.18	3.3818	5.0869	17.203	11.108	8.0870	89.830	109.53	36.67	74.92	54.77
231.94	0.8299	118.9	61.75	3.3829	5.0948	17.235	11.252	6.0390	67.950	87.69	31.22	73.75	43.84
229.71	0.6619	91.6	60.23	3.3828	5.0023	16.922	11.404	4.0277	45.930	65.35	26.25	71.34	32.68
230.37	0.4889	65.2	57.90	3.3831	4.9923	16.889	11.540	2.0283	23.410	42.80	22.40	65.64	21.40
230.99	0.3842	49.3	55.50	3.3828	4.9819	16.852	11.644	0.8067	9.393	28.75	20.56	58.31	14.37
230.75	0.3005	37.2	53.63	3.3824	4.9818	16.850	11.809	0.0000	0.000	19.35	17.85	52.02	9.68
231.74	0.9148	132.5	62.50	3.3831	2.0082	6.794	11.093	8.0990	89.840	99.13	33.37	74.82	49.57
232.11	0.7512	105.2	60.32	3.3828	1.9606	6.632	11.252	6.0310	67.860	76.99	28.21	73.19	38.50
232.31	0.5816	79.4	58.78	3.3826	2.0768	7.025	11.403	4.0453	46.130	55.66	23.75	70.09	27.83
232.65	0.4016	52.7	56.36	3.3830	2.0511	6.939	11.564	1.9980	23.100	32.54	20.16	61.74	16.27
233.09	0.2947	37.0	53.88	3.3826	2.0371	6.891	11.697	0.8002	9.359	18.75	18.25	50.68	9.38
233.19	0.2083	24.9	51.29	3.3822	2.0282	6.860	11.830	0.0000	0.000	9.36	15.54	37.59	4.68
229.92	0.8628	122.9	61.95	3.3835	0.0000	0.000	11.080	8.0960	89.710	92.21	30.69	75.03	46.11
230.84	0.6944	96.3	60.09	3.3835	0.0000	0.000	11.239	6.0440	67.930	70.43	25.87	73.14	35.22
230.98	0.5185	70.0	58.44	3.3839	0.0000	0.000	11.406	4.0229	45.880	48.38	21.62	69.11	24.19
231.30	0.3415	43.9	55.56	3.3835	0.0000	0.000	11.586	2.0136	23.330	25.83	18.07	58.84	12.92
231.90	0.2334	28.1	52.00	3.3831	0.0000	0.000	11.703	0.8041	9.411	11.91	16.19	42.39	5.96
231.84	0.1480	16.4	47.91	3.3829	0.0000	0.000	11.835	0.0000	0.000	2.50	13.94	15.21	1.25

Formeln:

$$P_{ges} = P_2 + P_3 + 2.5W \text{ (2.5W geforderte minimale Belastung des 5V-Ausganges)}$$

$$P_v = P_1 - P_{ges}$$

$$\eta = P_{ges} / P_1$$

$$P_{ges} / P_{max} = P_{ges} / 200W$$

5.6 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.3V und des 12V Ausganges

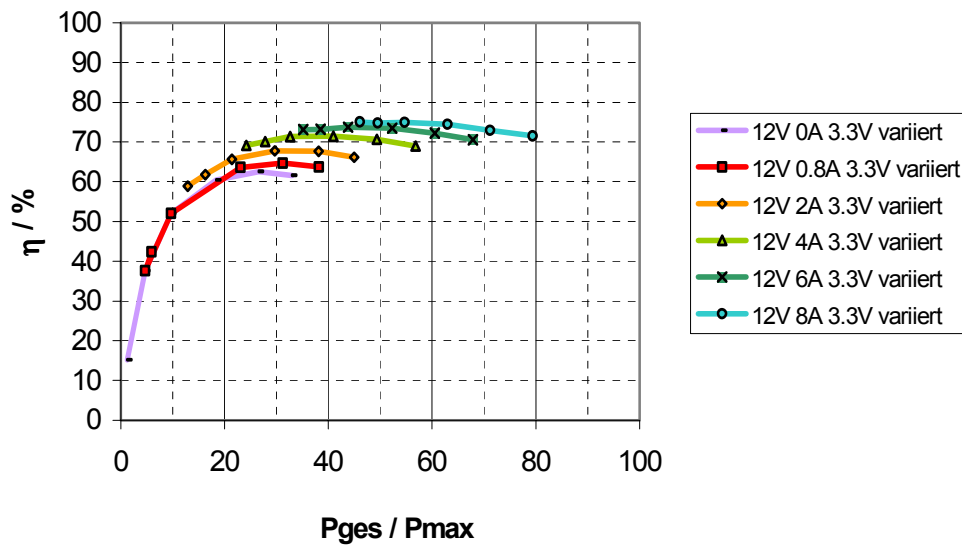


Abb.11: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 3.3V Ausganges.

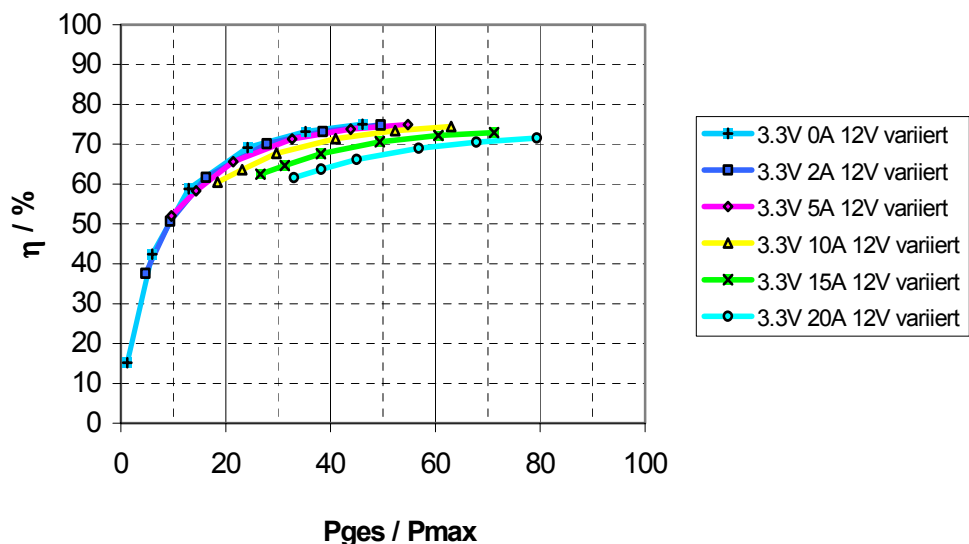


Abb.12: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 3.3V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

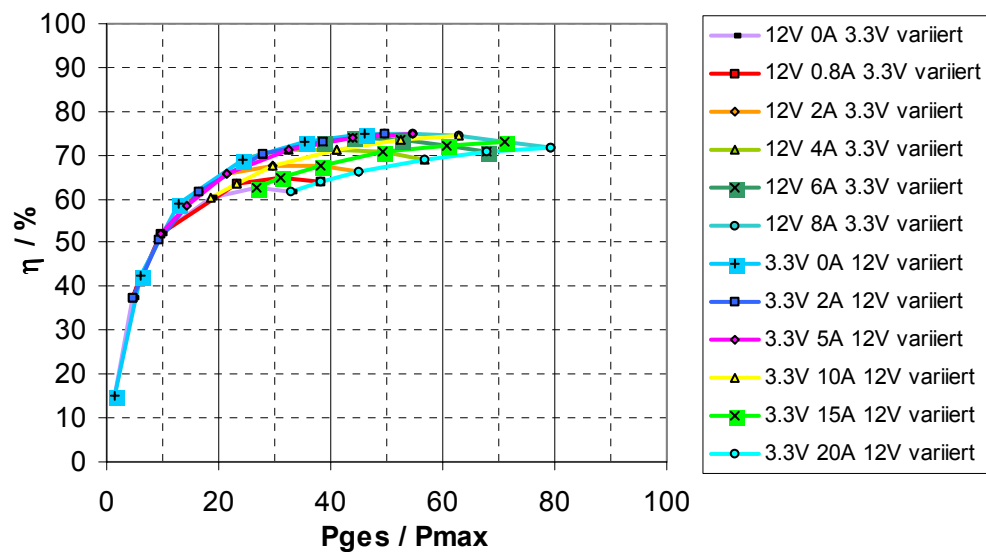


Abb.13: Zusammenfassung von Abb.11 und Abb.12: Abhängigkeit des Wirkungsgrades bei systematischer Variation des 3.3V und des 12V Ausganges.

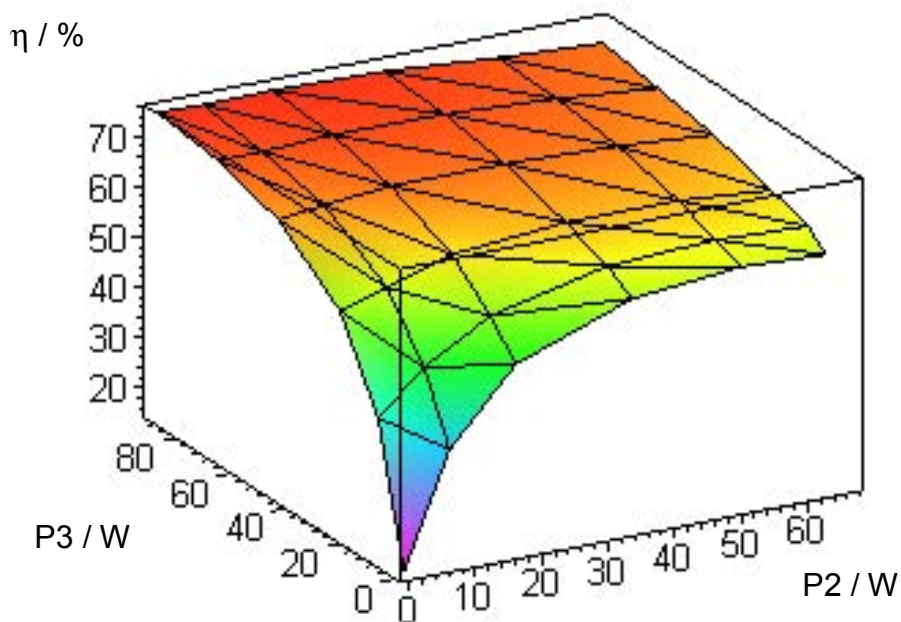


Abb.14: Dreidimensionale Darstellung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 (3.3V Ausgang) und P_3 (12V Ausgang).

5.7 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.3V und des 12V Ausganges

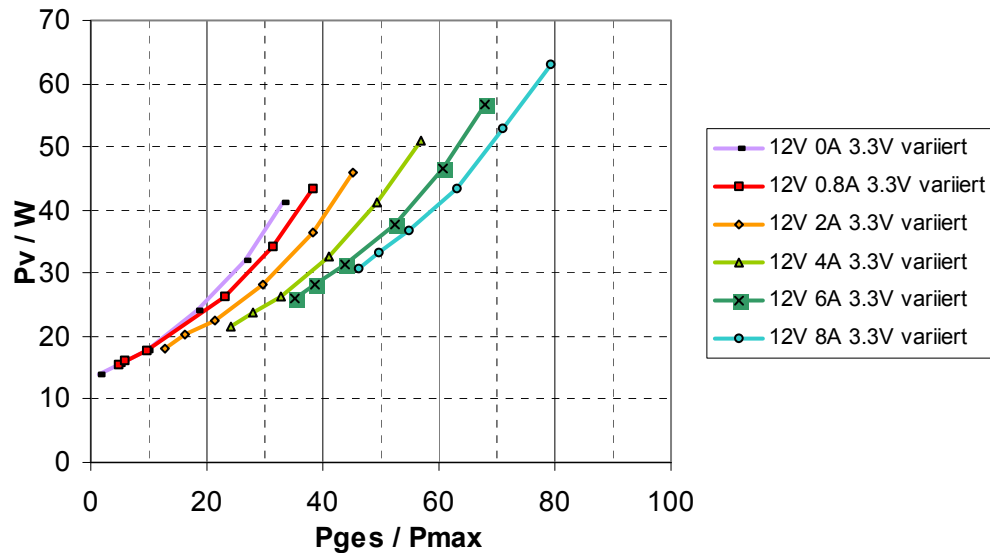


Abb.15: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 3.3V Ausganges.

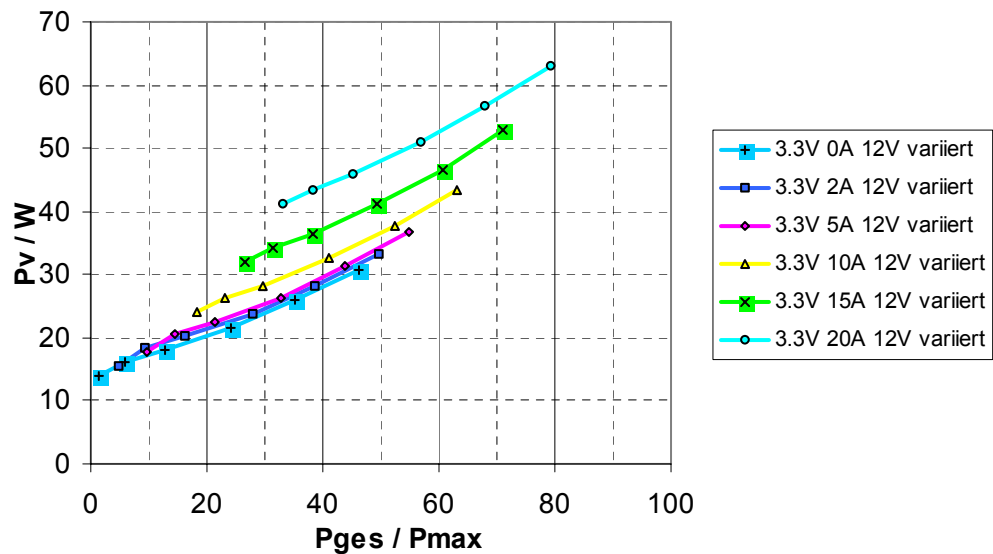


Abb.16: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 3.3V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

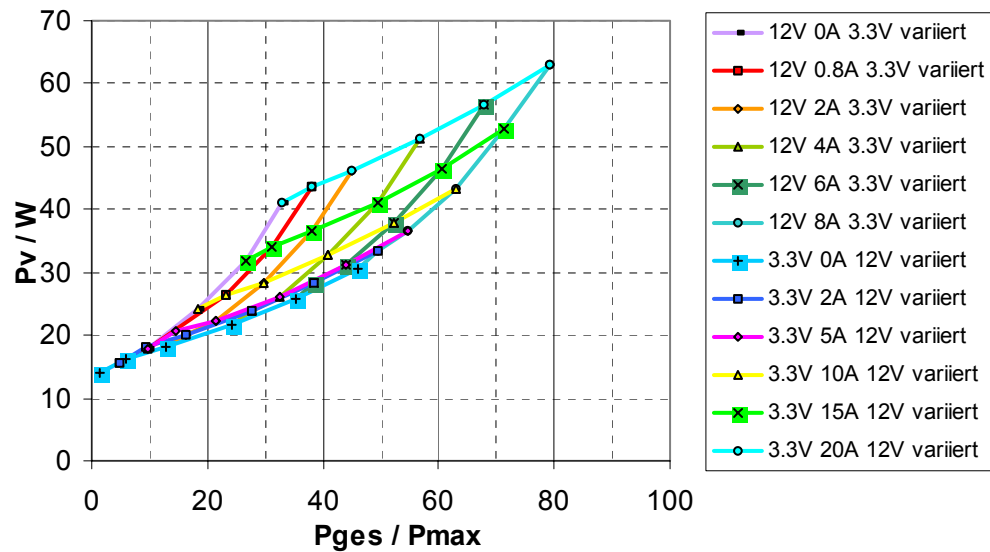


Abb.17: Zusammenfassung von Abb.15 und Abb.16: Verluste des Netzgerätes bei systematischer Variation des 3.3V und des 12V Ausganges.

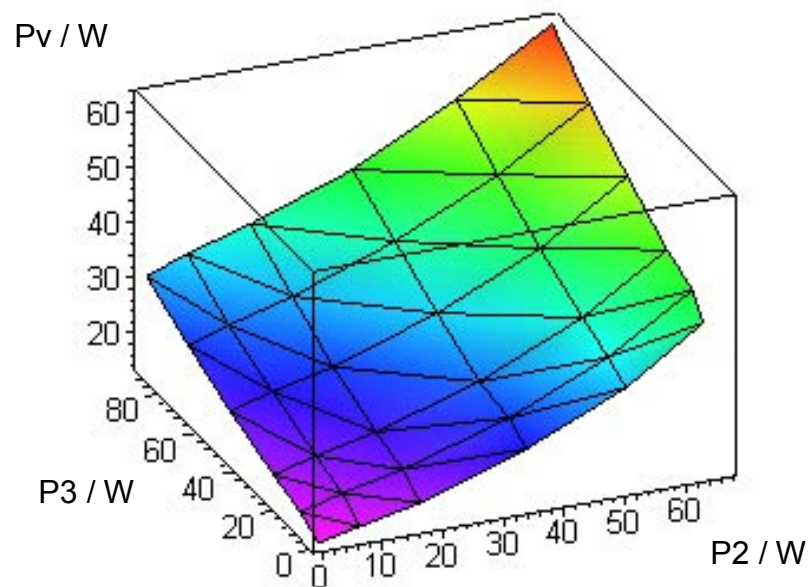


Abb.18: Dreidimensionale Darstellung der Verluste in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 (3.3V Ausgang) und P_3 (12V Ausgang).

5.8 Leistungsfaktor bei Belastung des 3.3V und 12V Ausganges

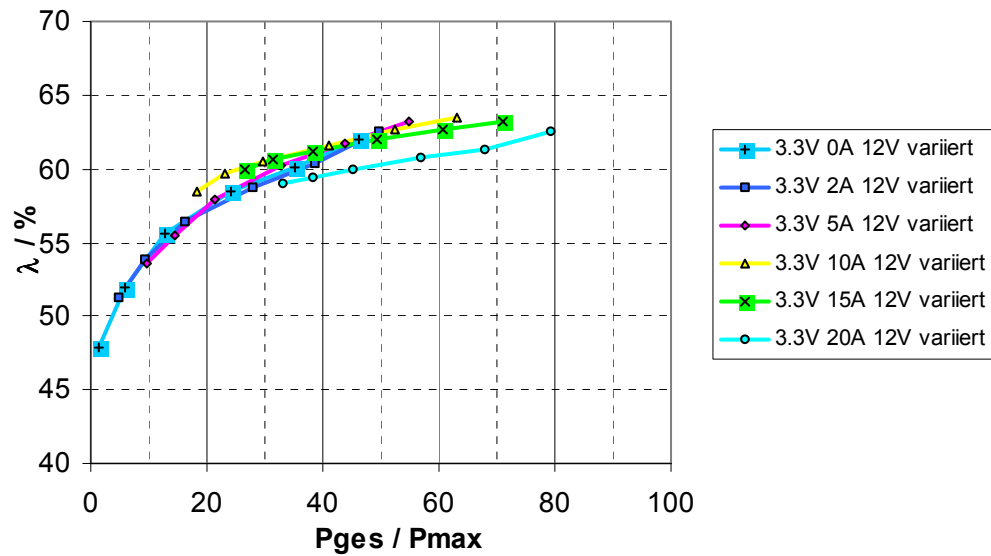


Abb.19: Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bei Belastung des 3.3V und des 12V Ausganges.

6 Messschaltung bei Belastung aller drei Ausgänge

Messschaltung ähnlich wie unter Kapitel 4, jedoch mit zusätzlichem Lastkreis gebildet durch einen ohmschen Leistungs-Lastwiderstand zur Belastung des 12V Ausganges (Abb.20). Die Genauigkeit der zusätzlich verwendeten Messgeräte beträgt: 0.8% des A-Meters, 0.05% des V-Meters.

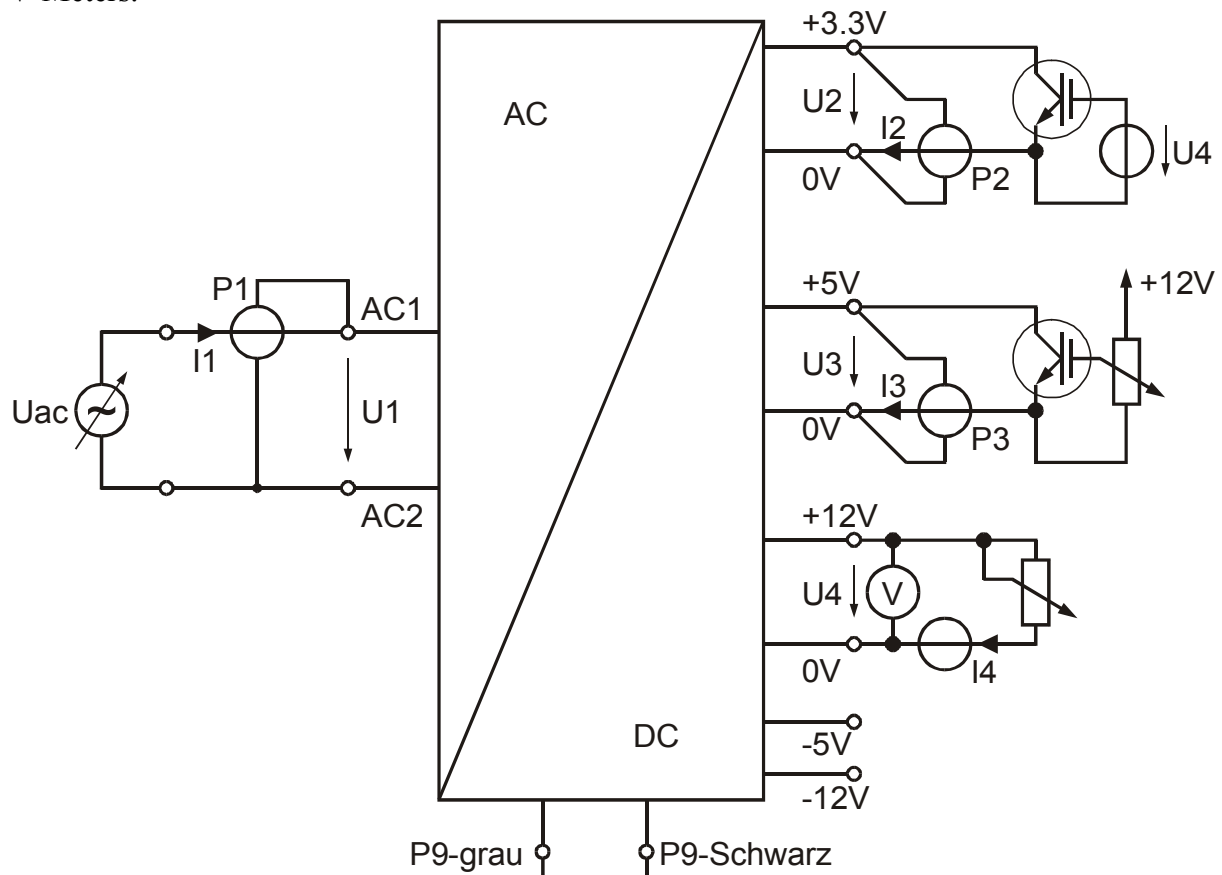


Abb.20: Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades bei Belastung aller drei Ausgänge (3.3V, 5V, 12V).

7 Messergebnisse bei Belastung aller drei Ausgänge

Nr	U1 V	I1 A	P1 W	λ %	U2 V	I2 A	P2 W	U3 V	I3 A	P3 W	U4 V	I4 A	P4 W	Pges W	Pv W	eta %	Pges/ Pmax %
1	227.36	1.8958	269.0	62.40	3.3819	18.1220	61.290	4.9579	8.0520	39.920	11.549	8.072	93.224	194.43	74.57	72.28	97.22
2	228.40	1.8390	261.1	62.17	3.3817	12.0670	40.810	4.9506	11.9690	59.260	11.679	8.020	93.666	193.74	67.36	74.20	96.87
3	228.34	1.8288	257.8	61.74	3.3816	6.0464	20.447	4.9404	16.0610	79.350	11.816	7.980	94.292	194.09	63.71	75.29	97.04
4	229.27	1.6471	235.1	62.26	3.3817	19.7680	66.850	5.0010	1.9899	9.951	11.330	7.964	90.232	167.03	68.07	71.05	83.52
5	229.04	1.6301	232.0	62.13	3.3825	16.6590	56.350	4.9933	4.0530	20.238	11.422	8.012	91.513	168.10	63.90	72.46	84.05
6	228.54	1.5948	225.0	61.74	3.3827	10.5940	35.840	4.9836	8.0090	39.910	11.559	7.964	92.056	167.81	57.19	74.58	83.90
7	228.80	1.5766	221.7	61.45	3.3822	4.5190	15.226	4.9744	11.9970	59.680	11.866	7.917	93.943	168.85	52.85	76.16	84.42
8	231.26	1.3672	193.3	61.14	3.3824	12.0560	40.780	5.0253	2.0215	10.159	11.326	7.963	90.189	141.13	52.17	73.01	70.56
9	231.92	1.3459	192.1	61.54	3.3824	9.1190	30.840	5.0171	4.0410	20.274	11.419	8.012	91.489	142.60	49.50	74.23	71.30
10	232.67	1.3226	189.4	61.56	3.3826	6.1040	20.650	5.0118	6.0240	30.191	11.494	7.933	91.182	142.02	47.38	74.99	71.01
11	229.95	1.3284	189.3	61.99	3.3823	3.0330	10.259	5.0059	8.0920	40.510	11.560	7.970	92.133	142.90	46.40	75.49	71.45
12	229.27	1.1509	164.6	62.32	3.3833	6.0594	20.501	5.0394	1.0393	5.237	11.369	7.990	90.838	116.58	48.02	70.82	58.29
13	229.76	1.1483	163.9	62.11	3.3830	4.5930	15.538	5.0361	1.9974	10.059	11.398	8.001	91.195	116.79	47.11	71.26	58.40
14	229.78	1.1398	163.3	62.41	3.3830	2.9922	10.123	5.0326	3.0224	15.210	11.432	8.005	91.513	116.85	46.45	71.55	58.42
15	229.80	1.1340	162.0	62.15	3.3827	1.5064	5.096	5.0296	3.9905	20.071	11.468	7.931	90.953	116.12	45.88	71.68	58.06
16	229.50	1.4889	213.8	62.58	3.3818	18.1460	61.360	4.9545	8.0650	39.960	11.858	3.981	47.207	148.53	65.27	69.47	74.26
17	229.37	1.4421	207.7	62.69	3.3818	12.0940	40.900	4.9444	12.0520	59.590	11.984	4.008	48.032	148.52	59.18	71.51	74.26
18	229.81	1.4180	203.0	62.30	3.3809	6.0088	20.315	4.9338	16.0280	79.080	12.113	4.005	48.513	147.91	55.09	72.86	73.95
19	230.53	1.2827	184.4	62.36	3.3817	19.6590	66.480	4.9902	2.0148	10.054	11.640	4.001	46.572	123.11	61.29	66.76	61.55
20	230.19	1.2509	179.8	62.44	3.3814	16.5160	55.850	4.9845	4.0597	20.235	11.714	3.983	46.657	122.74	57.06	68.27	61.37
21	230.36	1.2132	173.2	61.96	3.3812	10.4700	35.400	4.9752	8.0600	40.100	11.849	3.980	47.159	122.66	50.54	70.82	61.33
22	230.49	1.1852	170.4	62.37	3.3814	4.4942	15.197	4.9648	12.0670	59.910	11.978	4.006	47.984	123.09	47.31	72.24	61.55
23	230.65	1.0291	144.5	60.86	3.3822	12.1800	41.190	5.0112	2.0027	10.036	11.648	4.004	46.639	97.86	46.64	67.73	48.93
24	230.20	1.0013	141.4	61.32	3.3823	9.0090	30.470	5.0064	3.9831	19.941	11.713	4.018	47.063	97.47	43.93	68.93	48.74
25	229.62	0.9874	139.7	61.62	3.3822	6.1120	20.670	5.0002	5.9874	29.939	11.782	3.997	47.093	97.70	42.00	69.94	48.85
26	229.49	0.9848	138.5	61.30	3.3818	3.0314	10.252	4.9940	8.0670	40.290	11.850	3.980	47.163	97.71	40.80	70.55	48.85
27	229.98	0.7868	109.3	60.38	3.3828	6.1157	20.688	5.0315	1.0192	5.128	11.606	3.995	46.366	72.18	37.12	66.04	36.09
28	229.94	0.7695	107.5	60.74	3.3828	4.4478	15.046	5.0279	2.0244	10.178	11.647	3.970	46.239	71.46	36.04	66.48	35.73
29	229.66	0.7717	107.3	60.56	3.3828	3.0154	10.200	5.0251	3.0110	15.131	11.684	3.978	46.479	71.81	35.49	66.92	35.90
30	230.18	0.7694	106.6	60.19	3.3827	1.4442	4.885	5.0225	3.9769	19.974	11.716	3.985	46.688	71.55	35.05	67.12	35.77
31	230.23	1.1302	162.3	62.38	3.3805	18.2740	61.780	4.9399	8.0400	39.720	12.191	0.419	5.108	106.61	55.69	65.69	53.30
32	229.96	1.0912	155.2	61.86	3.3805	12.1540	41.090	4.9296	12.0830	59.560	12.309	0.411	5.059	105.71	49.49	68.11	52.85
33	229.63	1.0691	151.3	61.62	3.3804	6.0183	20.344	4.9181	16.2090	79.720	12.445	0.416	5.177	105.24	46.06	69.56	52.62
34	229.99	0.9513	134.1	61.29	3.3811	19.6820	66.540	4.9780	2.0089	10.000	11.946	0.423	5.053	81.59	52.51	60.85	40.80
35	230.95	0.9230	129.9	60.93	3.3806	16.6200	56.190	4.9728	4.0171	19.976	12.013	0.413	4.961	81.13	48.77	62.45	40.56
36	230.90	0.8762	122.9	60.73	3.3804	10.6390	35.970	4.9619	7.9490	39.440	12.146	0.417	5.065	80.47	42.43	65.48	40.24
37	231.07	0.843	118.4	60.79	3.3806	4.4369	15.000	4.9502	12.0570	59.680	12.282	0.410	5.036	79.72	38.68	67.33	39.86
38	231.25	0.6844	94.8	59.9	3.3815	12.1770	41.180	1.9971	1.9922	9.955	11.935	0.410	4.893	56.03	38.77	59.10	28.01
39	231.65	0.6646	91.8	59.64	3.3823	9.1320	30.890	4.9908	3.9760	19.843	12.004	0.412	4.946	55.68	36.12	60.65	27.84
40	231.81	0.6525	89.9	59.47	3.3823	6.1280	20.173	4.9845	6.0332	30.072	12.074	0.414	4.999	55.24	34.66	61.45	27.62
41	232.12	0.6368	88.2	59.64	3.3814	3.0715	10.386	4.9790	7.9940	39.800	12.138	0.417	5.062	55.25	32.95	62.64	27.62

42	231.62	0.4552	60.7	57.58	3.3829	6.0692	20.531	5.0174	1.0389	5.213	11.890	0.408	4.851	30.60	30.10	50.40	15.30
43	231.97	0.4403	59.4	58.12	3.3818	4.4419	15.022	5.0136	2.0310	10.182	11.930	0.410	4.891	30.10	29.30	50.67	15.05
44	232.66	0.4333	59.0	58.56	3.3827	3.0661	10.372	5.0107	3.0081	15.072	11.966	0.411	4.918	30.36	28.64	51.46	15.18
45	232.85	0.4262	57.9	58.37	3.3826	1.4738	4.985	5.0083	3.9959	20.013	11.998	0.412	4.943	29.94	27.96	51.71	14.97

Formeln:

$$P_4 = U_4 \cdot I_4$$

$$P_{ges} = P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_v = P_1 - P_{ges}$$

$$\eta = P_{ges} / P_1$$

$$P_{ges} / P_{max} = P_{ges} / 200W$$

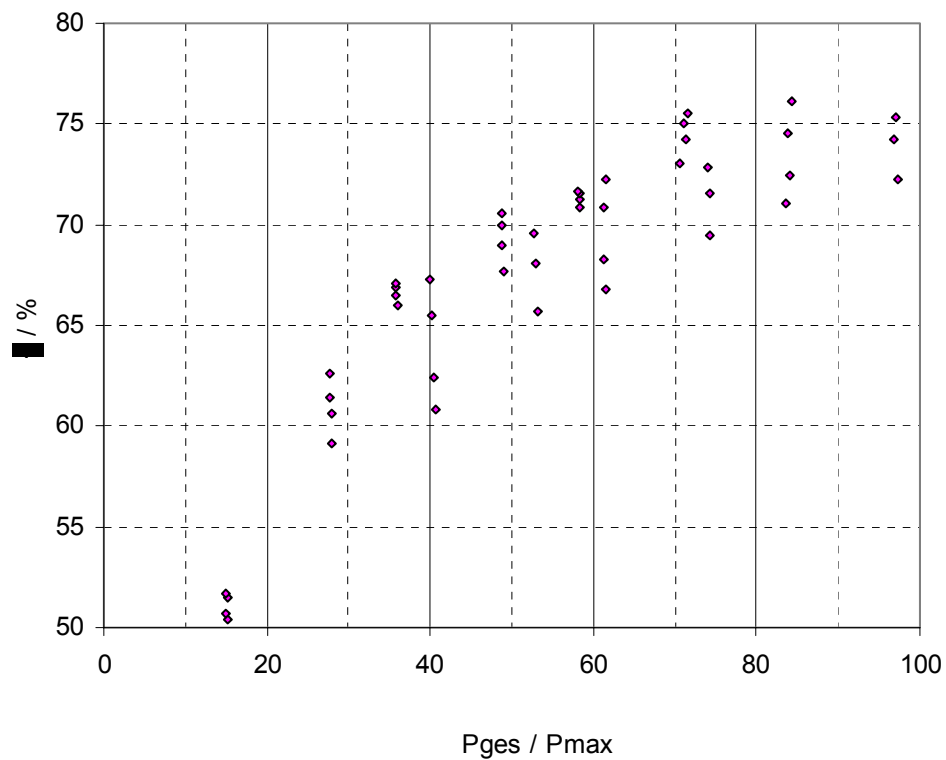


Abb.21: Darstellung aller Wirkungsgradpunkte in Abhängigkeit der Auslastung bei Variation aller drei Ausgänge.

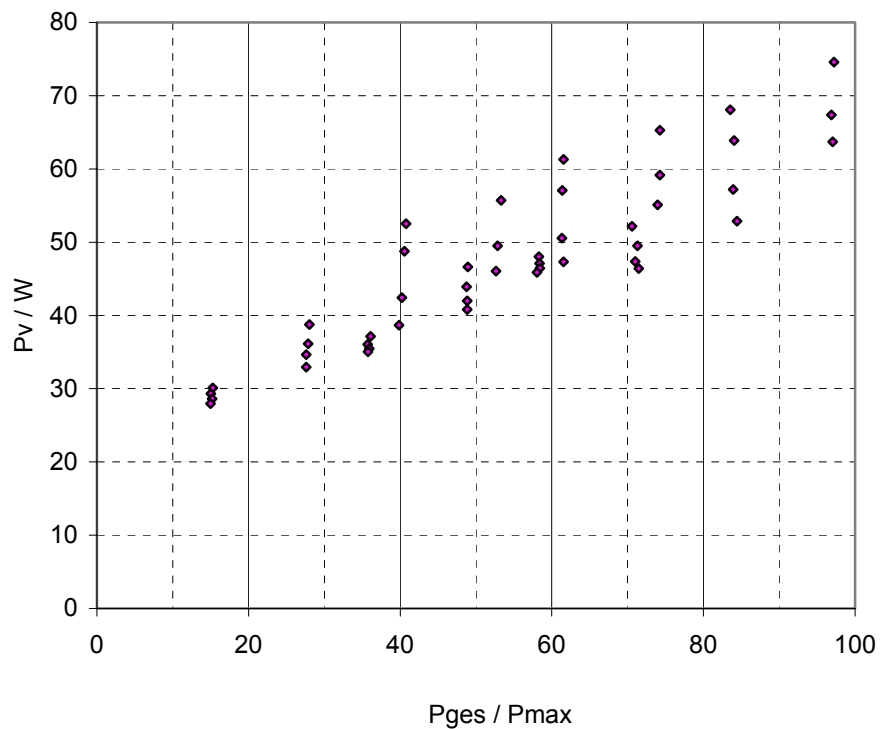


Abb.22: Darstellung aller Verlustleistungspunkte im Netzgerät in Abhängigkeit der Auslastung bei Variation aller drei Ausgänge.

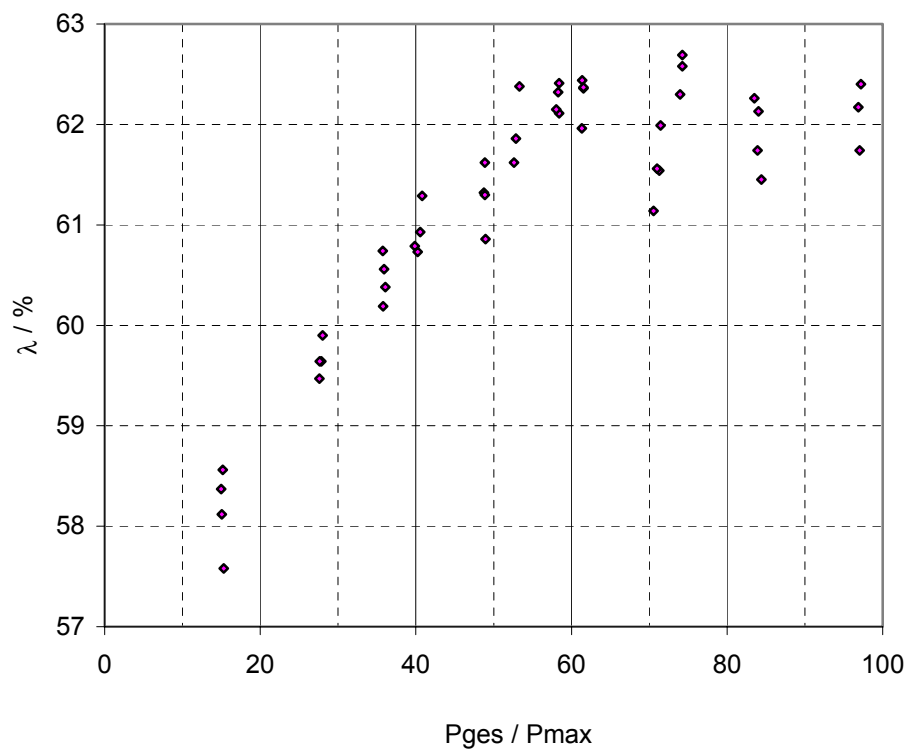


Abb.23: Darstellung aller Leistungsfaktorpunkte in Abhängigkeit der Auslastung bei Variation aller drei Ausgänge.

8 Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass beim untersuchten Netzgerät für eine Gesamtausgangsleistung größer 30% der Nennleistung, bei Belastung des 5V und des 12V Ausganges ein Wirkungsgrad im Bereich 70 ... 78% liegt, bei Belastung des 3.3V Ausganges sinkt der Wirkungsgrad signifikant. Der Leistungsfaktor wird nicht korrigiert und ist daher bei größer 30% Auslastung im Bereich von 58...63%.

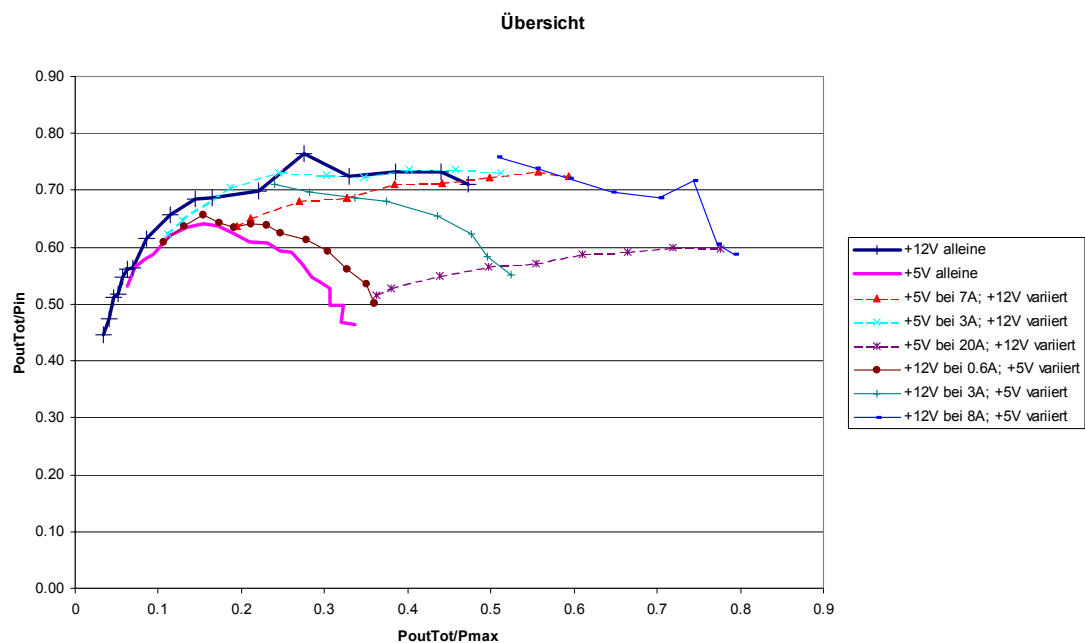
Datum: Dienstag, 2. April 2002, 9.15 Zürich
Model: PC Power Supply ES-2200A (von Lead Year)

Herstellerangaben:

Maximale Leistung $P_{max} = 200W$

Ausgänge: +12V 8A
+5V 22A
-12V 0.5A
-5V 0.5A

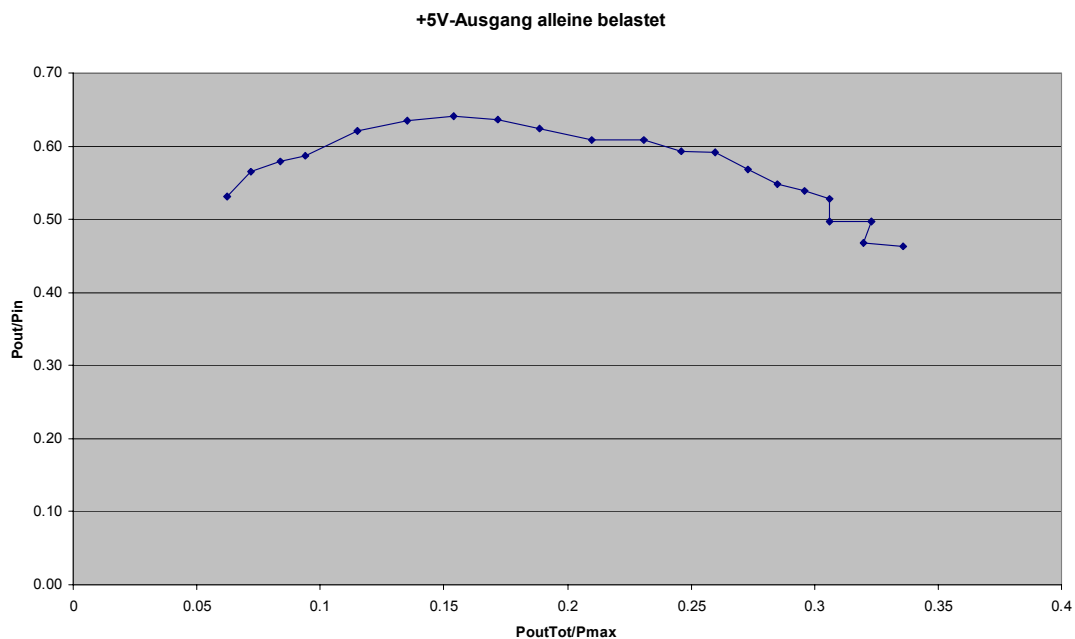
Messresultate:



+5V-Ausgang alleine belastet

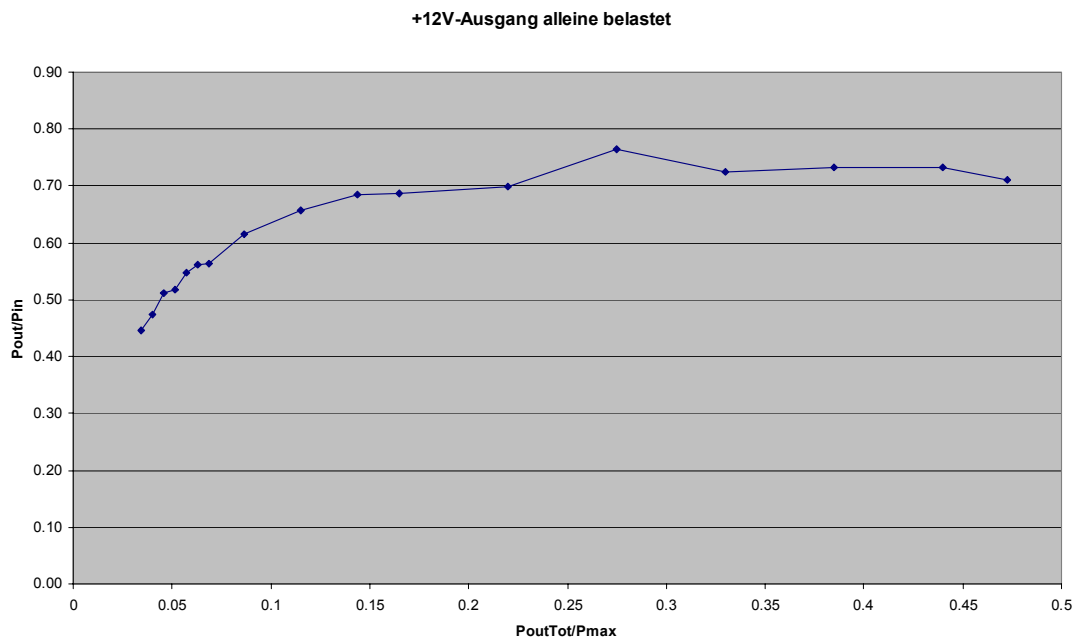
P_{in} [W]	I_{out} [A]	U_{out} [V]	P_{out} [W]	P_{out}/P_{in}	P_{outTot}/P_{max}	P_{outTot}
23.5	2.6	4.8	12.48	0.53	0.0624	12.48
25.5	3	4.8	14.40	0.56	0.072	14.40
29	3.5	4.8	16.80	0.58	0.084	16.80
32	4	4.7	18.80	0.59	0.094	18.80
37	5	4.6	23.00	0.62	0.115	23.00
42.5	6	4.5	27.00	0.64	0.135	27.00
48	7	4.4	30.80	0.64	0.154	30.80
54	8	4.3	34.40	0.64	0.172	34.40
60.5	9	4.2	37.80	0.62	0.189	37.80
69	10	4.2	42.00	0.61	0.21	42.00
76	11	4.2	46.20	0.61	0.231	46.20
83	12	4.1	49.20	0.59	0.246	49.20
88	13	4	52.00	0.59	0.26	52.00
96	14	3.9	54.60	0.57	0.273	54.60
104	15	3.8	57.00	0.55	0.285	57.00

110	16	3.7	59.20	0.54	0.296	59.20
116	17	3.6	61.20	0.53	0.306	61.20
123	18	3.4	61.20	0.50	0.306	61.20
130	19	3.4	64.60	0.50	0.323	64.60
137	20	3.2	64.00	0.47	0.32	64.00
145	21	3.2	67.20	0.46	0.336	67.20



+12V-Ausgang alleine belastet

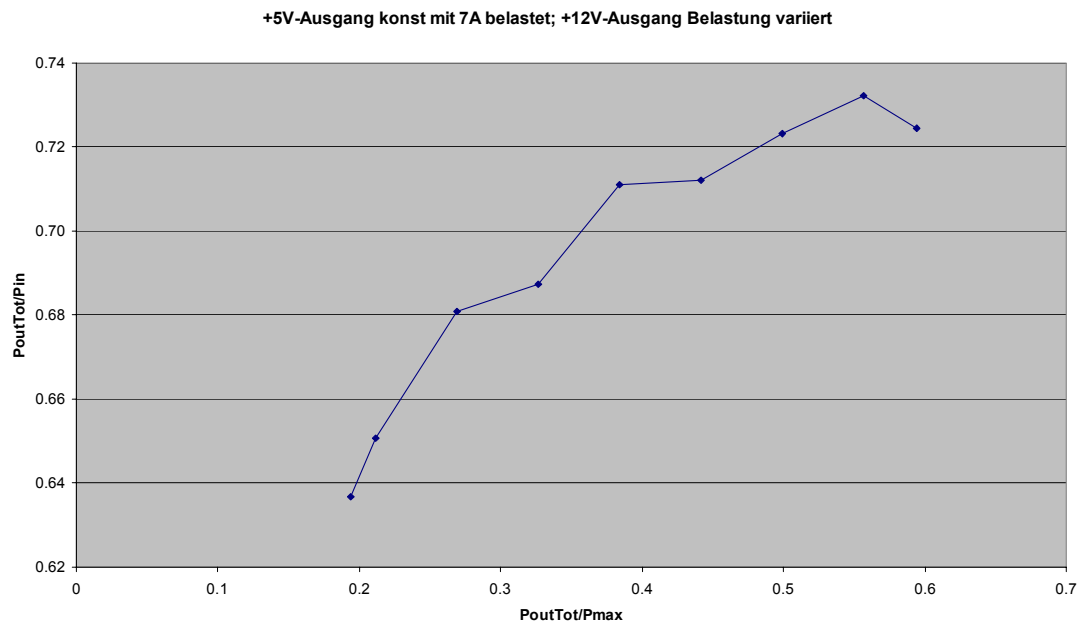
Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout [W]	Pout/Pin	PoutTot/Pmax
15.5	0.6	11.5	6.90	0.45	0.0345
17	0.7	11.5	8.05	0.47	0.04025
18	0.8	11.5	9.20	0.51	0.046
20	0.9	11.5	10.35	0.52	0.05175
21	1	11.5	11.50	0.55	0.0575
22.5	1.1	11.5	12.65	0.56	0.06325
24.5	1.2	11.5	13.80	0.56	0.069
28	1.5	11.5	17.25	0.62	0.08625
35	2	11.5	23.00	0.66	0.115
42	2.5	11.5	28.75	0.68	0.14375
48	3	11	33.00	0.69	0.165
63	4	11	44.00	0.70	0.22
72	5	11	55.00	0.76	0.275
91	6	11	66.00	0.73	0.33
105	7	11	77.00	0.73	0.385
120	8	11	88.00	0.73	0.44
133	9	10.5	94.50	0.71	0.4725



+5V-Ausgang konst mit 7A belastet; +12V-Ausgang Belastung variiert

Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout12V [W]	(Pout12V+Pout5V)/Pin	PoutTot/Pmax
61	0.7	11.5	8.05	0.64	0.19425
65	1	11.5	11.50	0.65	0.2115
79	2	11.5	23.00	0.68	0.269
95	3	11.5	34.50	0.69	0.3265
108	4	11.5	46.00	0.71	0.384
124	5	11.5	57.50	0.71	0.4415
138	6	11.5	69.00	0.72	0.499
152	7	11.5	80.50	0.73	0.5565
164	8	11	88.00	0.72	0.594

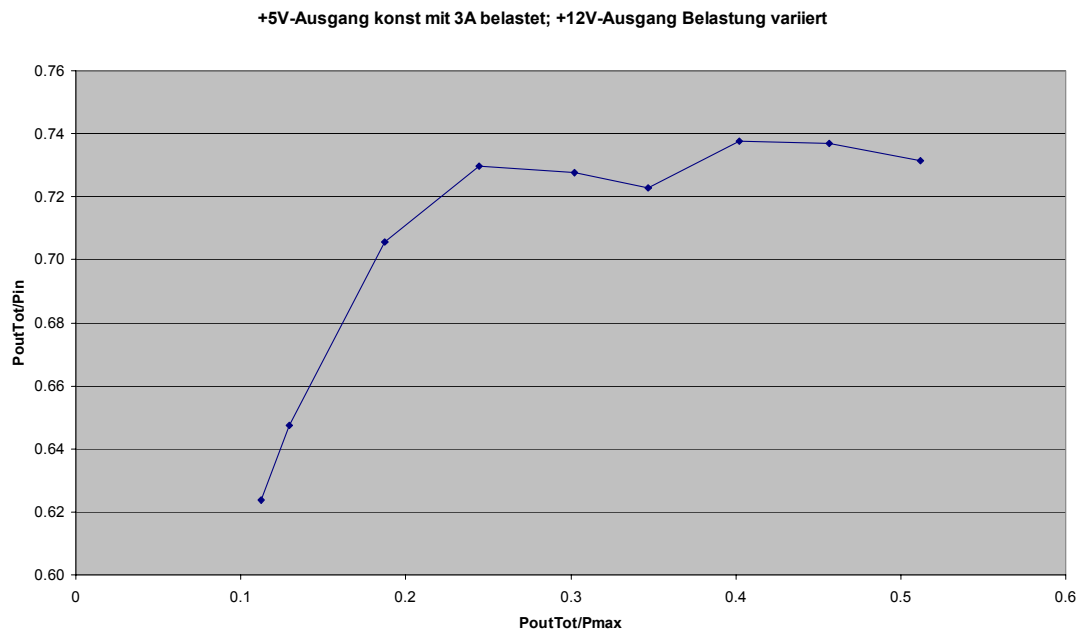
Iout5V 7 A
 Uout5V 4.4 V
 Pout5V 30.8 W



+5V-Ausgang konst mit 3A belastet; +12V-Ausgang Belastung variiert

Pin [W]	Iout12V [A]	Uout12V [V]	Pout12V [W]	(Pout12V+Pout5V)/Pin	PoutTot/Pmax
36	0.7	11.5	8.05	0.62	0.11225
40	1	11.5	11.50	0.65	0.1295
53	2	11.5	23.00	0.71	0.187
67	3	11.5	34.50	0.73	0.2445
83	4	11.5	46.00	0.73	0.302
96	5	11	55.00	0.72	0.347
109	6	11	66.00	0.74	0.402
124	7	11	77.00	0.74	0.457
140	8	11	88.00	0.73	0.512

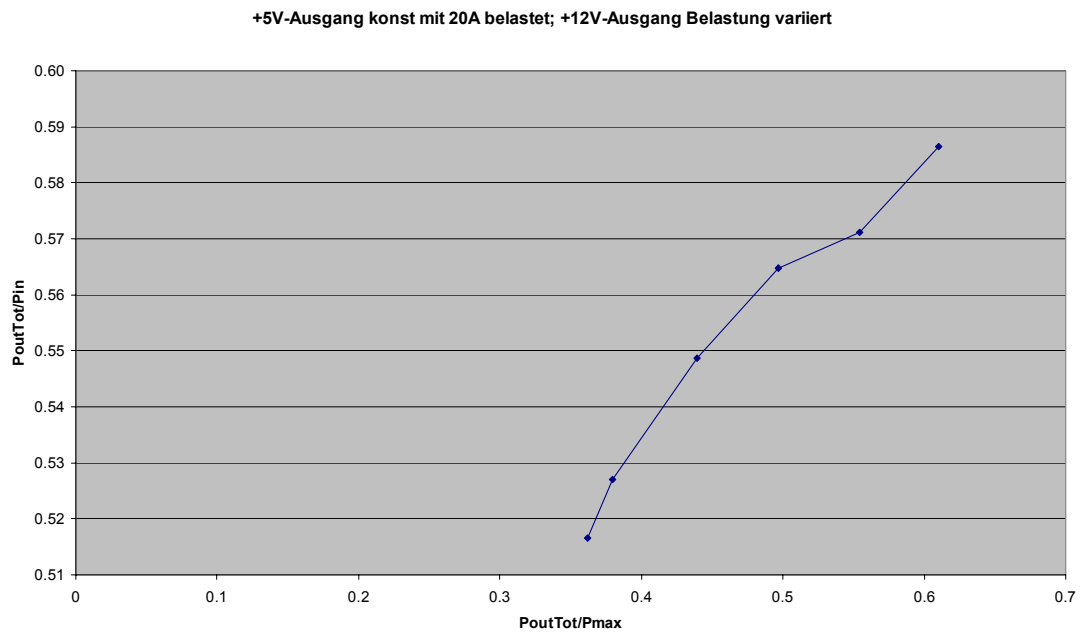
Iout5V 3 A
 Uout5V 4.8 V
 Pout5V 14.4 W



+5V-Ausgang konst mit 20A belastet; +12V-Ausgang Belastung variiert

Pin [W]	Iout12V [A]	Uout12V [V]	Pout12V [W]	(Pout12V+Pout5V)/Pin	PoutTot/Pmax	PoutTot
140	0.7	11.9	8.33	0.52	0.36165	72.33
144	1	11.9	11.90	0.53	0.3795	75.90
160	2	11.9	23.80	0.55	0.439	87.80
176	3	11.8	35.40	0.56	0.497	99.40
194	4	11.7	46.80	0.57	0.554	110.80
208	5	11.6	58.00	0.59	0.61	122.00
225	6	11.5	69.00	0.59	0.665	133.00
240	7	11.4	79.80	0.60	0.719	143.80
260	8	11.4	91.20	0.60	0.776	155.20

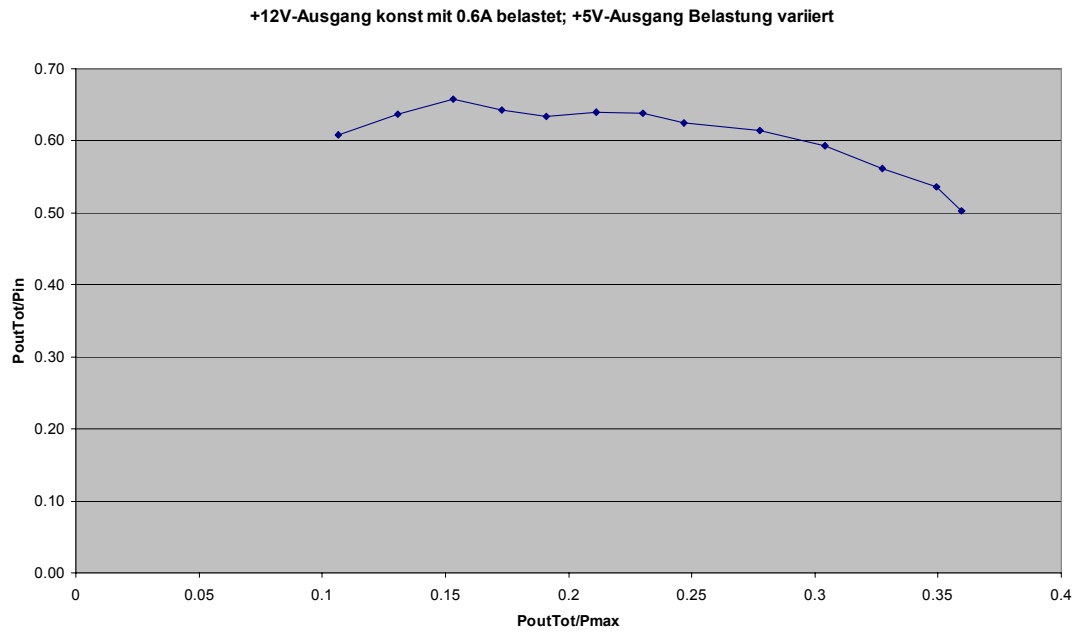
Iout5V 20 A
 Uout5V 3.2 V
 Pout5V 64 W



+12V-Ausgang konst mit 0.6A belastet; +5V-Ausgang Belastung variiert

Pin [W]	Iout5V [A]	Uout5V [V]	Pout5V [W]	(Pout12V+Pout5V)/Pin	PoutTot/Pmax
35	3	4.8	14.40	0.61	0.1065
41	4	4.8	19.20	0.64	0.1305
46.6	5	4.75	23.75	0.66	0.15325
53.8	6	4.61	27.66	0.64	0.1728
60.2	7	4.47	31.29	0.63	0.19095
66	8	4.42	35.36	0.64	0.2113
72.1	9	4.35	39.15	0.64	0.23025
79	10	4.25	42.50	0.63	0.247
90.4	12	4.05	48.60	0.61	0.2775
102.4	14	3.85	53.90	0.59	0.304
116.6	16	3.66	58.56	0.56	0.3273
130.4	18	3.5	63.00	0.54	0.3495
143.2	20	3.25	65.00	0.50	0.3595

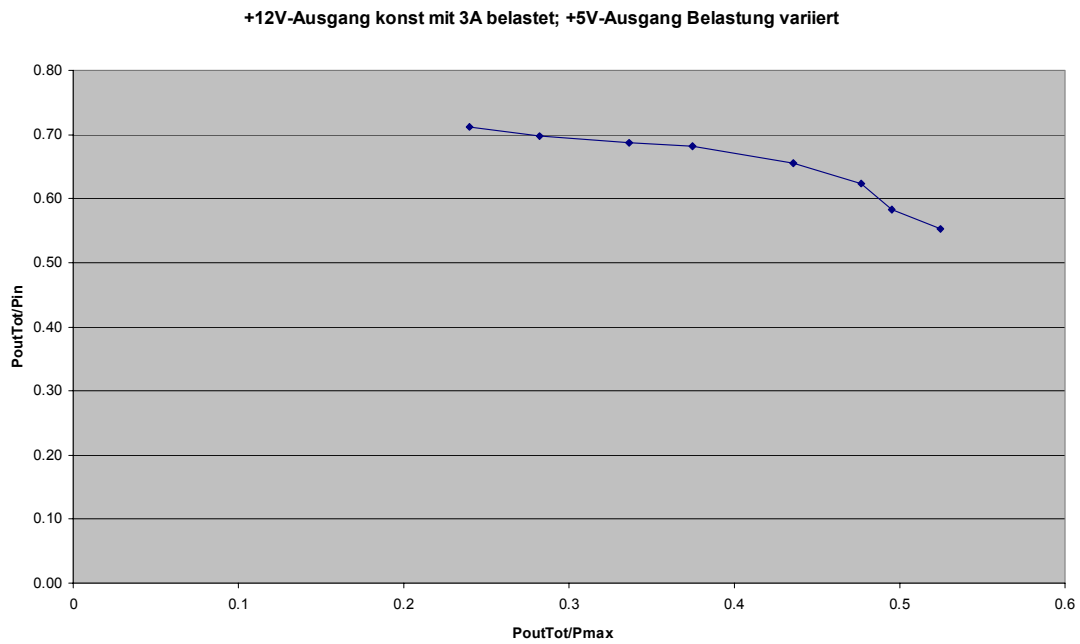
Iout12V	0.6 A
Uout12V	11.5 V
Pout12V	6.9 W



+12V-Ausgang konst mit 3A belastet; +5V-Ausgang Belastung variiert

Pin [W]	Iout5V [A]	Uout5V [V]	Pout5V [W]	(Pout12V+Pout5V)/Pin	PoutTot/Pmax	PoutTot
67.5	3	4.5	13.50	0.71	0.24	48.00
81	5	4.4	22.00	0.70	0.2825	56.50
98	8	4.1	32.80	0.69	0.3365	67.30
110	10	4.05	40.50	0.68	0.375	75.00
133	13	4.05	52.65	0.66	0.43575	87.15
153	16	3.8	60.80	0.62	0.4765	95.30
170	19	3.4	64.60	0.58	0.4955	99.10
190	22	3.2	70.40	0.55	0.5245	104.90

Iout12V	3 A
Uout12V	11.5 V
Pout12V	34.5 W

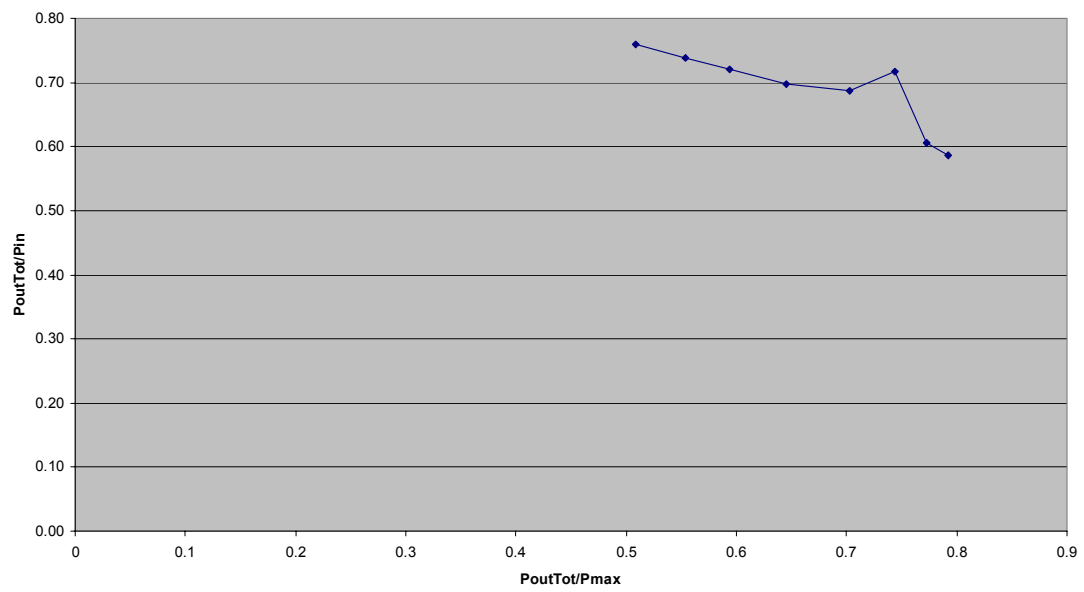


+12V-Ausgang konst mit 8A belastet; +5V-Ausgang Belastung variiert

Pin [W]	Iout5V [A]	Uout5V [V]	Pout5V [W]	(Pout12V+Pout5V)/Pin	PoutTot	PoutTot/Pmax
134	3	4.55	13.65	0.76	101.65	0.50825
150	5	4.55	22.75	0.74	110.75	0.55375
165	7	4.4	30.80	0.72	118.80	0.594
185	10	4.1	41.00	0.70	129.00	0.645
205	13	4.05	52.65	0.69	140.65	0.70325
207.5	16	3.8	60.80	0.72	148.80	0.744
255	19	3.5	66.50	0.61	154.50	0.7725
270	22	3.2	70.40	0.59	158.40	0.792

Iout12V 3 A
 Uout12V 11.5 V
 Pout12V 34.5 W

+5V Belastung variieren, +12V-Ausgang konst bei 8A



Datum: Freitag, 5. April 2002, 10:30, Zürich

Model: PC Power Supply von HP

Herstellerangaben:

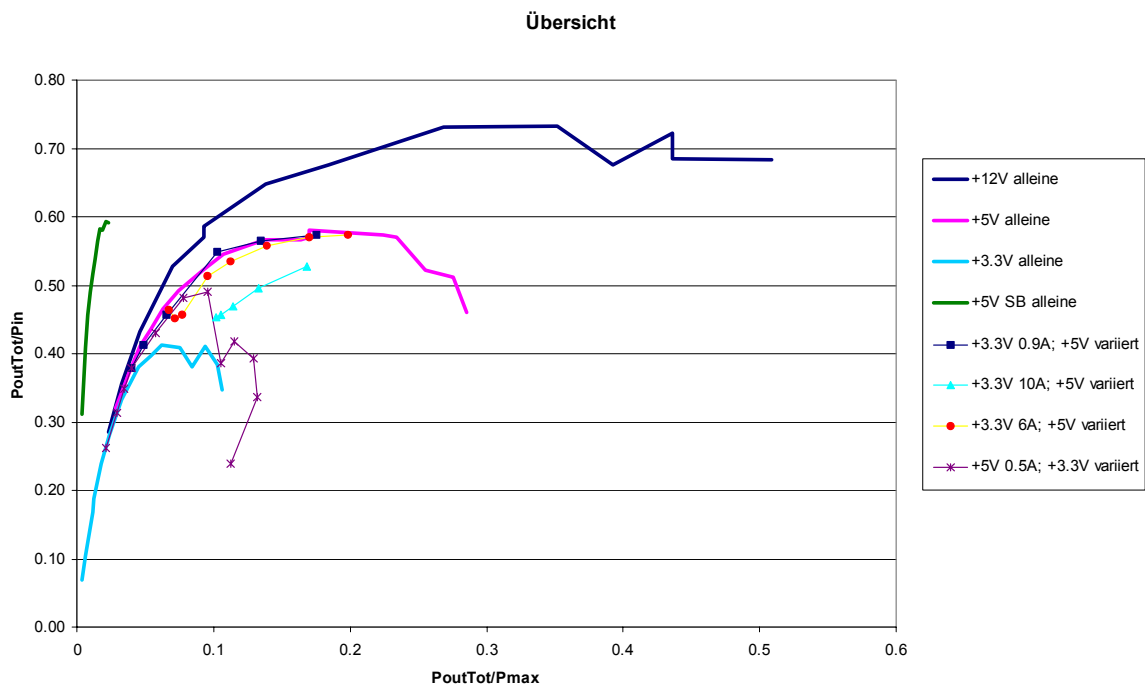
Maximale Leistung $P_{max} = 250W$

Ausgänge: +12V
-12V
+5VSB 2A
+5V
-5V
+3.3V

Bemerkungen:

Zum starten des PSU war eine Brücke vom in 14 des „main ATX power connector“ auf Masse notwendig. Bei vorausgehenden Startversuchen wurde der +5VSB-Ausgang versehentlich mit 3A belastet, was zu Rauch und unangenehmem Geruch führte. Das BIOS meldete dann nach einem ersten Booten das PSU sei in Protected Mode. Vom zweiten Bootversuch an, gab es keine Meldungen mehr. Alle Messungen wurden nach diesem Zwischenfall durchgeführt.

Messresultate:

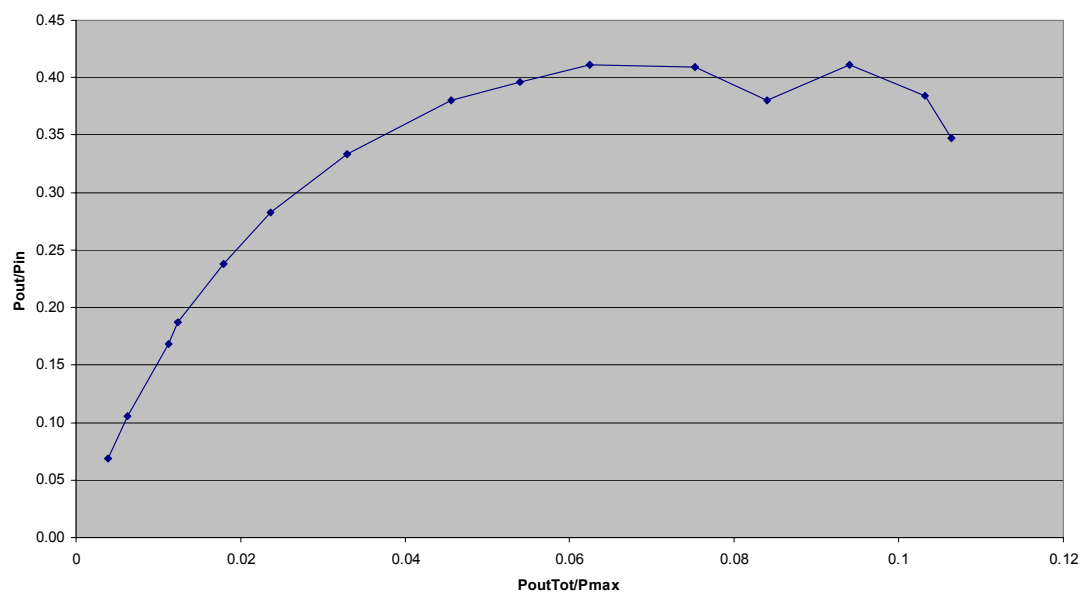


+3.3V-Ausgang alleine belastet

Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout [W]	Pout/Pin	PoutTot/Pmax
13.95	0.3	3.2	0.96	0.07	0.00384
14.75	0.5	3.1	1.55	0.11	0.0062
16.6	1	2.8	2.80	0.17	0.0112
16.6	1	3.1	3.10	0.19	0.0124

18.9	1.5	3	4.50	0.24	0.018
20.9	2	2.95	5.90	0.28	0.0236
24.75	3	2.75	8.25	0.33	0.033
30	4	2.85	11.40	0.38	0.0456
34.1	5	2.7	13.50	0.40	0.054
37.9	6	2.6	15.60	0.41	0.0624
46	8	2.35	18.80	0.41	0.0752
55.2	10	2.1	21.00	0.38	0.084
57.2	10	2.35	23.50	0.41	0.094
67.2	12	2.15	25.80	0.38	0.1032
76.5	14	1.9	26.60	0.35	0.1064

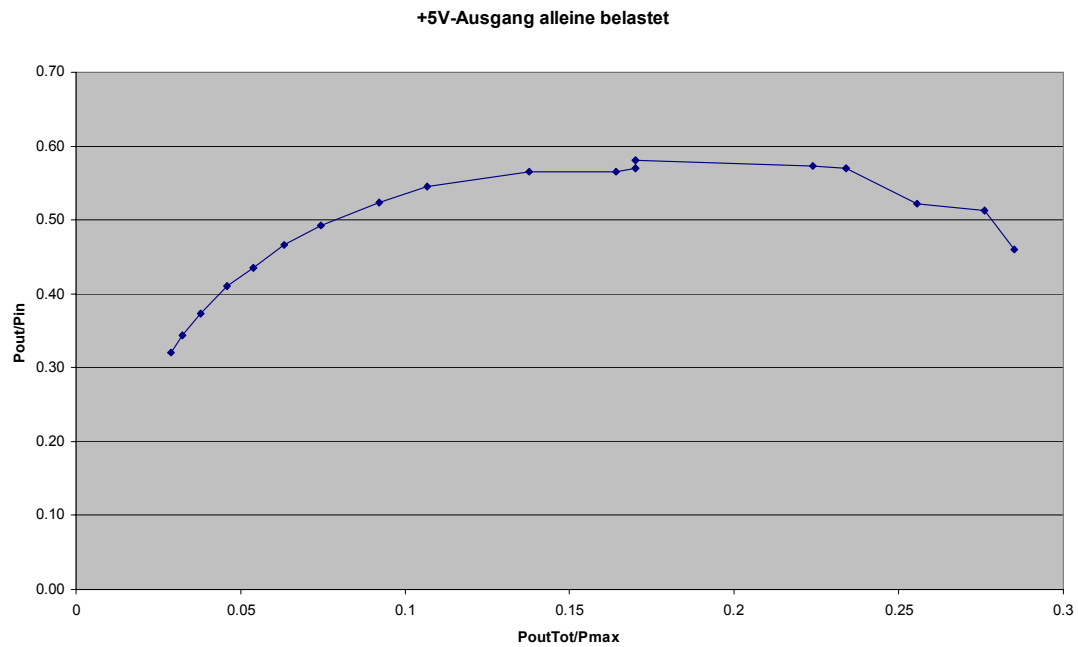
+3.3V-Ausgang alleine belastet



+5V-Ausgang alleine belastet

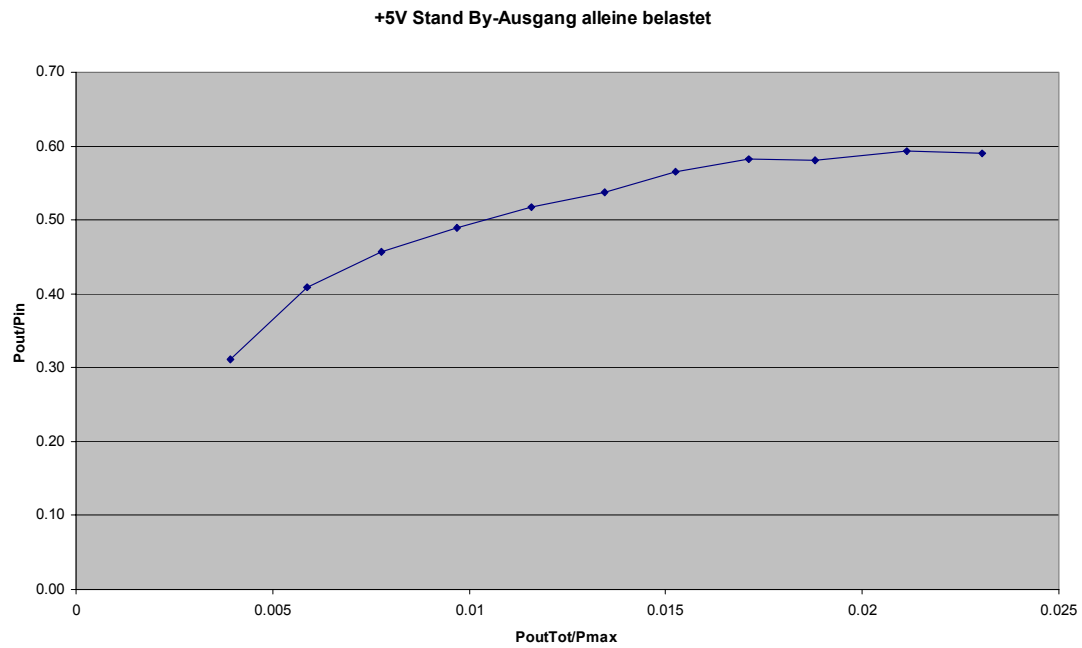
Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout [W]	Pout/Pin	PoutTot/Pmax	PoutTot
22.5	1.5	4.8	7.20	0.32	0.0288	7.20
23.6	1.7	4.77	8.11	0.34	0.032436	8.11
25.5	2	4.75	9.50	0.37	0.038	9.50
28	2.5	4.6	11.50	0.41	0.046	11.50
31	3	4.5	13.50	0.44	0.054	13.50
33.9	3.4	4.65	15.81	0.47	0.06324	15.81
37.8	4	4.65	18.60	0.49	0.0744	18.60
44	5	4.6	23.00	0.52	0.092	23.00
49	6	4.45	26.70	0.54	0.1068	26.70
60.8	8	4.3	34.40	0.57	0.1376	34.40
72.5	10	4.1	41.00	0.57	0.164	41.00
74.5	10	4.25	42.50	0.57	0.17	42.50
73.2	10	4.25	42.50	0.58	0.17	42.50
97.6	14	4	56.00	0.57	0.224	56.00
102.6	15	3.9	58.50	0.57	0.234	58.50
122.4	18	3.55	63.90	0.52	0.2556	63.90

134.8	20	3.45	69.00	0.51	0.276	69.00
155	23	3.1	71.30	0.46	0.2852	71.30



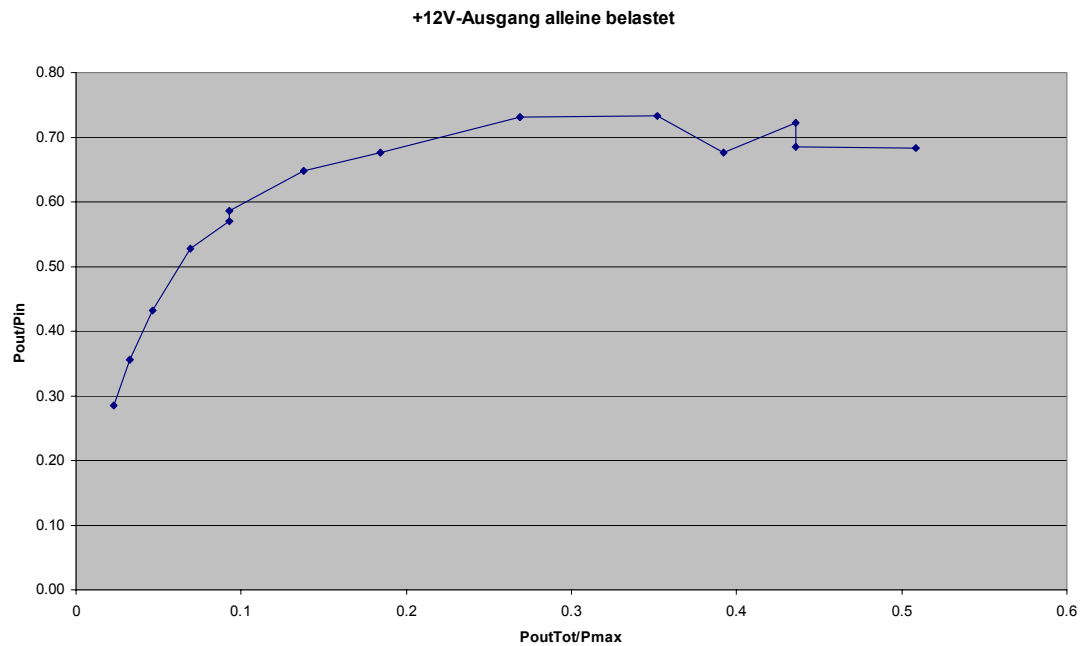
+5V StandBy Ausgang wird alleine belastet

Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout [W]	Pout/Pin	PoutTot/Pmax	PoutTot
3.15	0.2	4.9	0.98	0.31	0.00392	0.98
3.6	0.3	4.9	1.47	0.41	0.00588	1.47
4.25	0.4	4.85	1.94	0.46	0.00776	1.94
4.95	0.5	4.85	2.43	0.49	0.0097	2.43
5.6	0.6	4.83	2.90	0.52	0.011592	2.90
6.25	0.7	4.8	3.36	0.54	0.01344	3.36
6.75	0.8	4.77	3.82	0.57	0.015264	3.82
7.35	0.9	4.75	4.28	0.58	0.0171	4.28
8.1	1	4.7	4.70	0.58	0.0188	4.70
8.9	1.1	4.8	5.28	0.59	0.02112	5.28
9.75	1.2	4.8	5.76	0.59	0.02304	5.76



+12V-Ausgang alleine belastet

Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout [W]	Pout/Pin	PoutTot/Pmax
20.3	0.5	11.6	5.80	0.29	0.0232
22.8	0.7	11.6	8.12	0.36	0.03248
26.9	1	11.6	11.60	0.43	0.0464
33	1.5	11.6	17.40	0.53	0.0696
40.75	2	11.6	23.20	0.57	0.0928
39.6	2	11.6	23.20	0.59	0.0928
53.2	3	11.5	34.50	0.65	0.138
68	4	11.5	46.00	0.68	0.184
92	6	11.2	67.20	0.73	0.2688
120	8	11	88.00	0.73	0.352
145	9	10.9	98.10	0.68	0.3924
151	10	10.9	109.00	0.72	0.436
159	10	10.9	109.00	0.69	0.436
186	12	10.6	127.20	0.68	0.5088

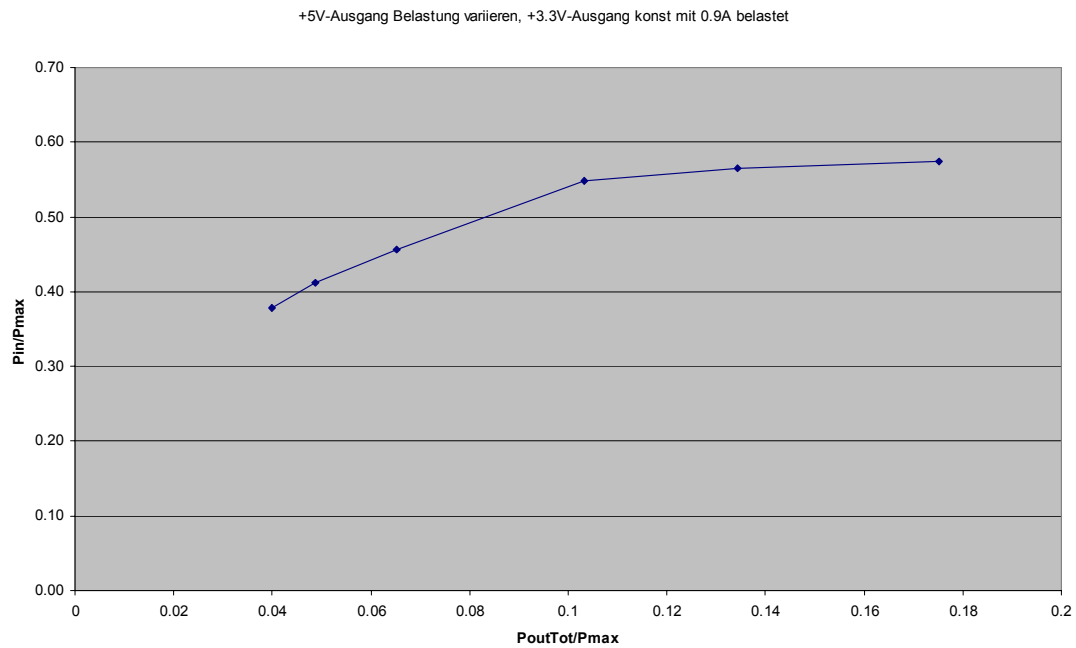


+5V-Ausgang Belastung variieren, +3.3V-Ausgang konst mit 0.9A belastet

Pin [W]	Iout5V [A]	Uout5V [V]	Pout5V [W]	(Pout5V+Pout3.3V)/Pin	PoutTot/Pmax
26.4	1.5	4.8	7.20	0.38	0.03996
29.6	2	4.7	9.40	0.41	0.04876
35.65	3	4.5	13.50	0.46	0.06516
47	5	4.6	23.00	0.55	0.10316
59.5	7	4.4	30.80	0.56	0.13436
76.3	10	4.1	41.00	0.57	0.17516

Iout3V 0.9A
 Uout3V 3.1V
 Pout3V 2.79W

Messungsabbruch bei 10A Belastung wegen pfeifen des PSU!

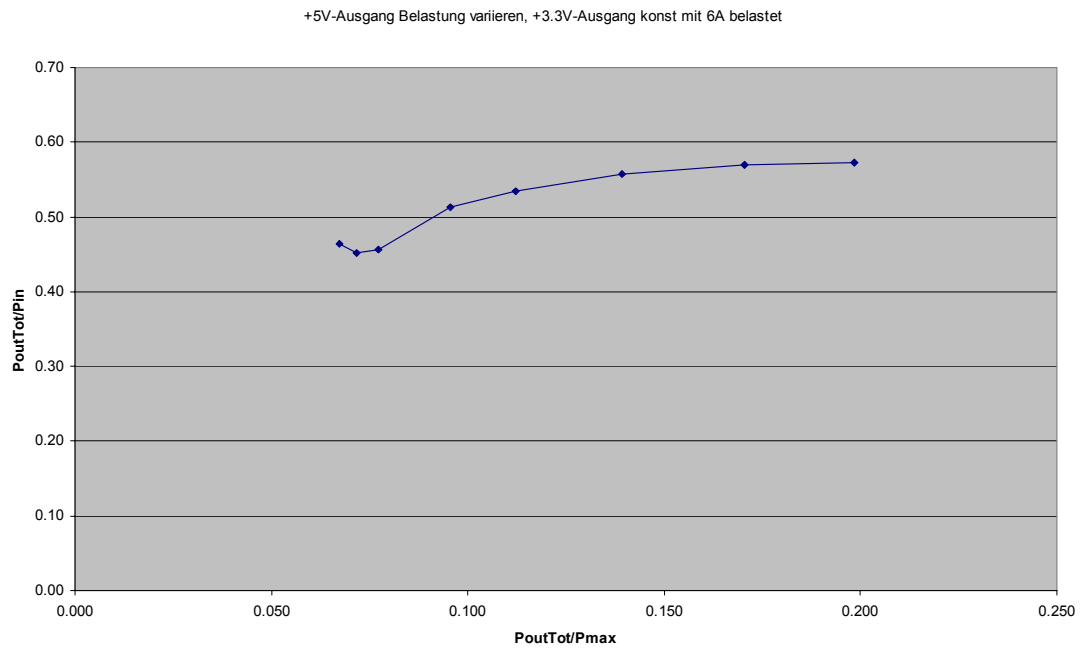


+5V-Ausgang Belastung variieren, +3.3V-Ausgang konst mit 6A belastet

Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout5V [W]	(Pout5V+Pout3V)/Pin	PoutTot/Pmax
36.25	0.000001	5	0.00	0.46	0.067
39.65	0.22	4.95	1.09	0.45	0.072
42.15	0.52	4.75	2.47	0.46	0.077
46.6	1.5	4.75	7.13	0.51	0.096
52.5	2.5	4.5	11.25	0.53	0.112
62.4	4	4.5	18.00	0.56	0.139
74.7	6	4.3	25.80	0.57	0.170
86.5	8	4.1	32.80	0.57	0.198

Iout3V 6A
 Uout3V 2.8V
 Pout3V 16.8W

Messungsabbruch bei 8A Belastung wegen pfeifen des PSU!



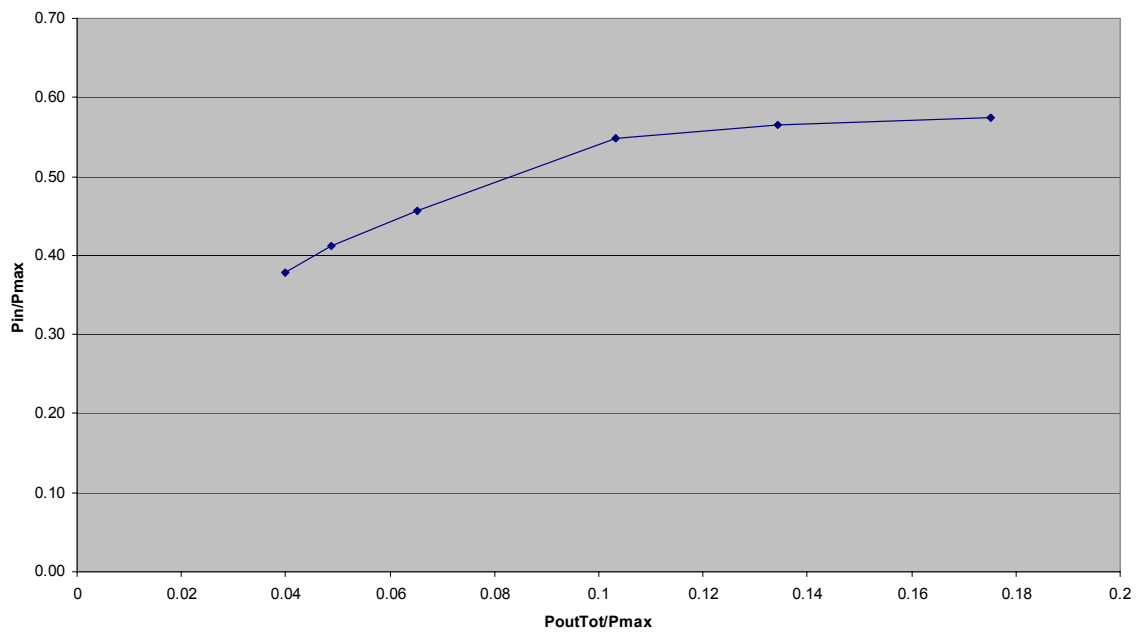
+5V-Ausgang Belastung variieren, +3.3V-Ausgang konst mit 10A belastet

Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout5V [W]	(Pout5V+Pout3V)/Pin	PoutTot/Pmax
56.1	0.3	4.85	1.46	0.45	0.102
57.7	0.5	4.75	2.38	0.46	0.106
61	1	4.65	4.65	0.47	0.115
67	2	4.6	9.20	0.50	0.133
80	4	4.55	18.20	0.53	0.169

Iout3V 10 A
 Uout3V 2.4 V
 Pout3V 24 W

Messungsabbruch bei 8A Belastung wegen pfeifen des PSU!

+5V-Ausgang Belastung variieren, +3.3V-Ausgang konst mit 0.9A belastet

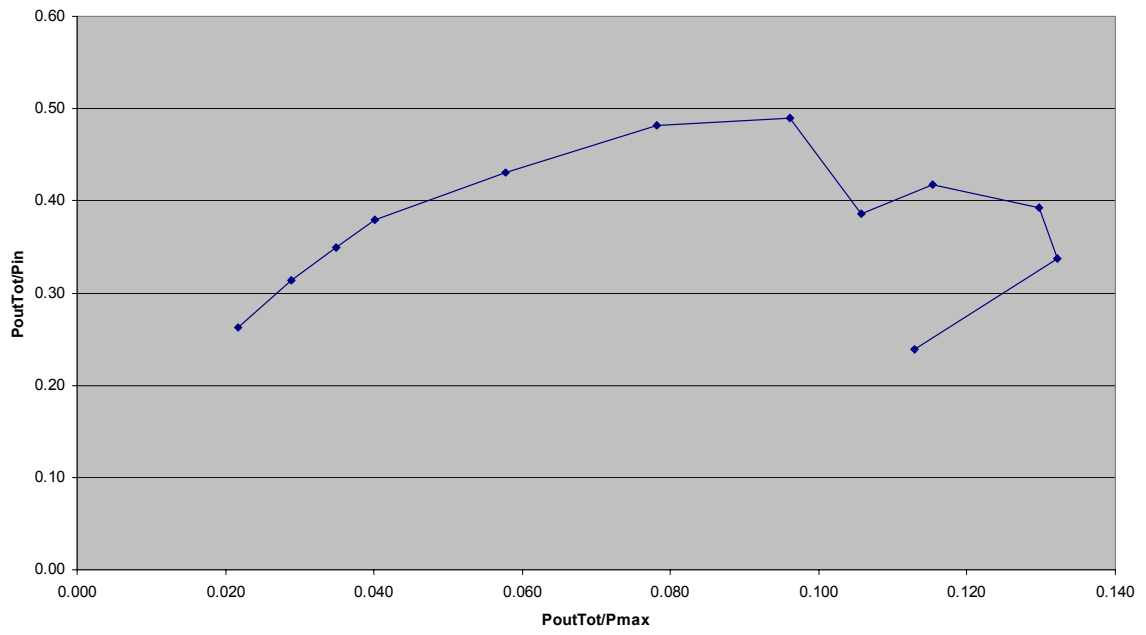


+3.3V-Ausgang Belastung variieren, +5V-Ausgang konst mit 0.5A belastet

Pin [W]	Iout [A]	Uout [V]	Pout3V [W]	(Pout5V+Pout3V)/Pin	PoutTot/Pmax
20.65	1	3	3.00	0.26	0.022
23	1.5	3.2	4.80	0.31	0.029
25	2	3.15	6.30	0.35	0.035
26.5	2.5	3.05	7.63	0.38	0.040
33.5	4	3	12.00	0.43	0.058
40.5	6	2.85	17.10	0.48	0.078
49	8	2.7	21.60	0.49	0.096
68.5	10	2.4	24.00	0.39	0.106
69	12	2.2	26.40	0.42	0.115
82.5	15	2	30.00	0.39	0.130
98	18	1.7	30.60	0.34	0.132
118	21.5	1.2	25.80	0.24	0.113

Iout5V 0.5A
 Uout5V 4.85V
 Pout5V 2.425W

+3.3V-Ausgang Belastung variieren, +5V-Ausgang konst mit 0.5A belastet



Johann Miniböck

power electronics consultant
- design and prototyping -

Bericht

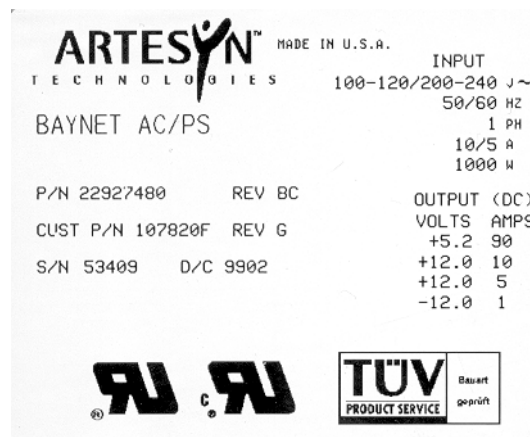
Artesyn Baynet AC / PS

Inhalt	Seite
1 Einleitung.....	3
2 Technische Daten	3
3 Inbetriebnahme	3
4 Messschaltung	5
5 Messergebnisse.....	6
5.1 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung	7
5.2 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung	9
5.3 Leistungsfaktor	11
6 Diskussion	11

1 Einleitung

Dieser Bericht dokumentiert die Bestimmung des Wirkungsgrades eines Artesyn Netzgerätes. Das Netzgerät zeichnet sich durch mehrere Ausgangsspannungen und einem weiten Eingangsspannungsbereich aus. Die Gesamtausgangsleistung des Gerätes beträgt 660W.

2 Technische Daten



Eingangsnennspannung	100-120 / 200-240V, einphasig
Eingangsnennfrequenz	50 / 60Hz
Eingangsnennleistung	1000W
Eingangsnennstrom	10 / 5A
Ausgang 1:	+5.2V / 90A (468W)
Ausgang 2:	+12V / 10A (120W)
Ausgang 3:	+12V / 5A (60W)
Ausgang 4:	-12V / 1A (12W)
Ausgangsleistung gesamt:	660W

3 Inbetriebnahme

Bei der optischen Analyse des Netzgerätes zeigte sich die in Abb.1 gezeigte Struktur. Die Eingangswechselspannung wird durch den einphasigen PFC (Power Factor Correction = Leistungsfaktorkorrektur) auf eine gemeinsame Zwischenkreisspannung von ca. 380V hochgesetzt. Aus dem gemeinsamen Zwischenkreis werden dann durch zwei unabhängige Gleichspannungs- Gleichspannungs- Konverter (DC/DC Konverter) der 5.2 V Ausgang und die 12V Ausgänge erzeugt.

Das Netzgerät befindet sich bei offenen Ausgangsklemmen jedoch im „Shutdown“, d.h. die DC/DC Konverter sind nicht freigegeben und liefern daher keine Ausgangsspannung. Die Freigabe des Netzgerätes erfolgt durch Verbindung des Shutdown – Anschlusses mit dem GND Anschluss (siehe Abb.2).

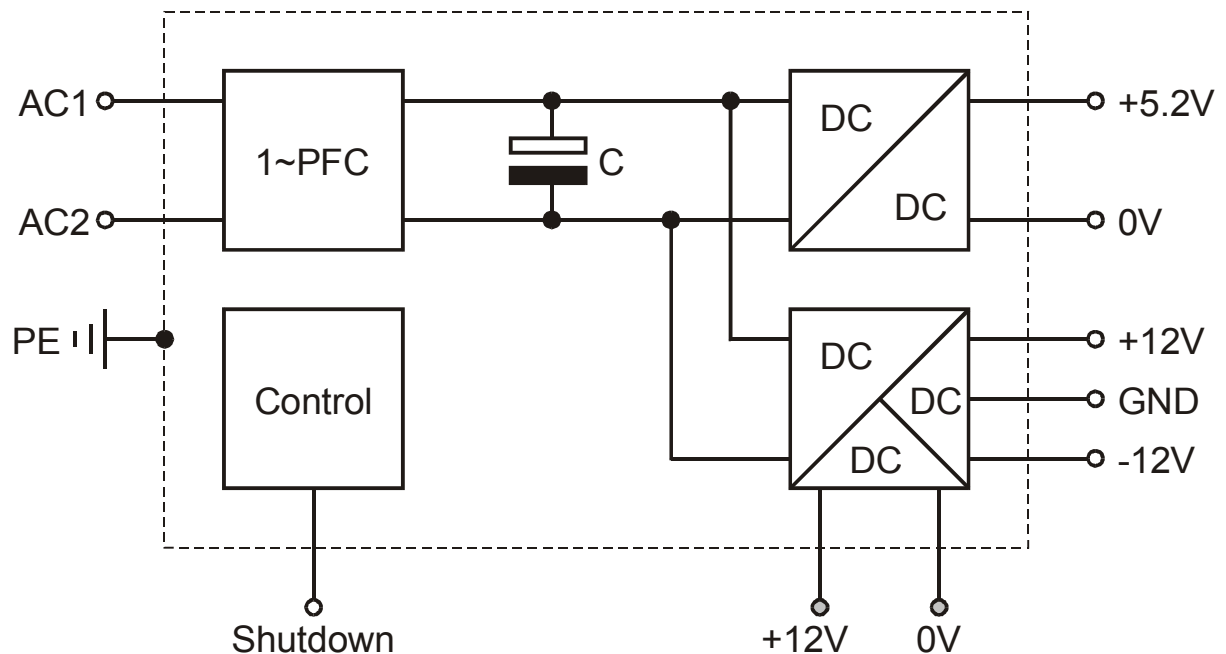


Abb.1: Struktur des Netzgerätes.

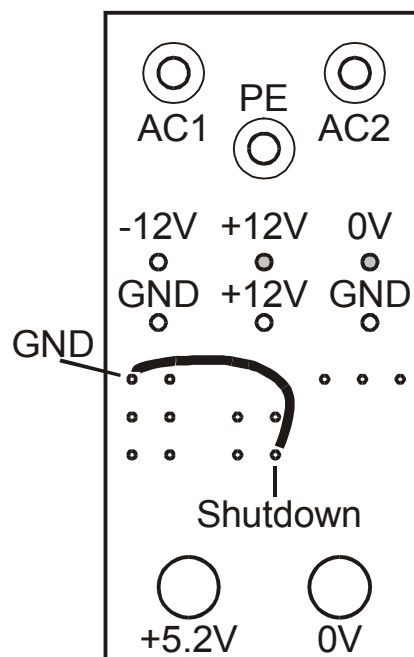


Abb.2: Klemmenplan des Netzgerätes.

Das Gerät läuft bei einer Eingangsspannung von ca. 75Veff an und ist leerlauffest, d.h. es kann ohne Last betrieben werden. Das Gerät arbeitet kontinuierlich vom niedrigen zum hohen Eingangsspannungsbereich, d.h. es kann von 75 ... 264V (=240+10%) betrieben werden. Im gegenständlichen Fall wurde es stets mit der Nennspannung von 230V versorgt.

4 Messschaltung

In Abb.3 ist die Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades dargestellt. Das Netzgerät wird mittels einer einstellbaren AC-Spannungsquelle U_{ac} versorgt (Spartrafo).

Die beiden +12V Ausgänge (U_3) werden parallelgeschlossen und so eine Strombelastbarkeit von $10+5=15A$ erreicht. Diese gemeinsame Messung der beiden Ausgänge ist sinnvoll, um nicht eine weitere Abhängigkeit des Wirkungsgrades von einem dritten Ausgang zu erhalten. Da die Ausgänge ohnehin durch einen gemeinsamen DC/DC Konverter erzeugt werden ist diese Vorgehensweise sicher zulässig. Der -12V Ausgang wird nicht belastet und hat durch seine relativ kleine Belastbarkeit (1A) keine Auswirkung auf die Qualität des Messergebnisses. Durch die Verbindung GND – Shutdown erfolgt die Freigabe der Ausgangsspannungen. Die Belastung des Ausganges erfolgt durch ein Hochleistungs- IGBT Modul in Konstantstrombetrieb. Die Gatespannung dieses Moduls wird mit einem Potentiometer eingestellt, um den Stromwert einstellen zu können.

Der +5.2V Ausgang U_2 wird ebenfalls mit einem IGBT Modul belastet, da eine Widerstandslast für diese Verhältnisse (Lastwiderstand $R_L = 5.2V/90A = 58m\Omega$) nur schwer realisierbar wäre. Dieses IGBT Modul wird wegen der höheren Gate-Threshold-Spannung mit einem externen Gleichspannungsnetzgerät angesteuert und stellt wieder eine Konstantstromlast dar.

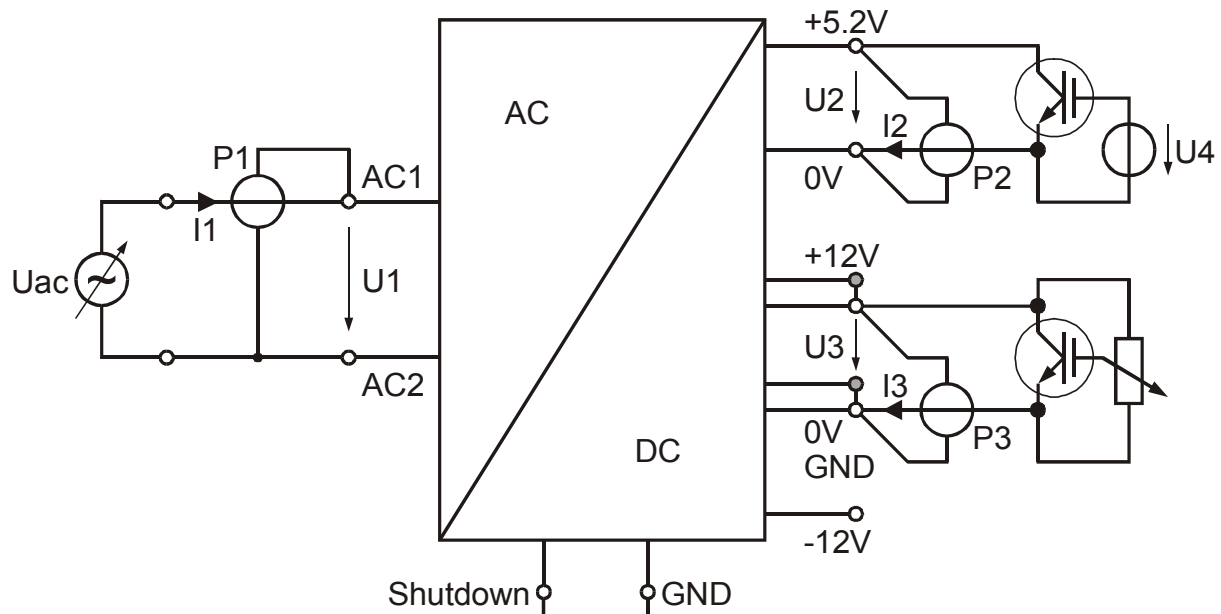


Abb.3: Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades

Alle Ströme, Spannungen und Leistungen werden in einem LEM NORMA Power Analyzer NORMA 4000 gleichzeitig erfasst, wodurch eine Konsistenz der Messwerte sichergestellt werden kann. Die Genauigkeit des Power Analyzer ist mit $\pm 0.1\%$ pro Strom- bzw. Spannungskanal angegeben, wodurch sich eine Genauigkeit in der Leistungsmessung pro Kanal von $\pm 0.2\%$ ergibt. Lediglich der 5.2V / 90A Ausgang wird mit einem Shunt der Klasse

0.5 erfasst wodurch sich in diesem Fall eine Genauigkeit der Leistung von $\pm 0.7\%$ ergibt. Die **Gesamtgenauigkeit** beträgt daher im schlimmsten Fall **$\pm 0.9\%$** .

5 Messergebnisse

U1 V	I1 A	P1 W	λ_1 %	U2 V	I2 A	P2 W	U3 V	I3 A	P3 W	Pges W	Pv W	η %	Pges/ Pmax %
229.00	3.69	831.4	98.24	5.2029	89.900	467.80	11.823	14.999	177.33	645.13	186.27	77.60	99.25
229.55	3.38	760.3	98.04	5.2006	90.480	470.50	11.917	9.949	118.55	589.05	171.25	77.48	90.62
230.44	3.04	682.1	97.46	5.2013	90.030	468.30	12.038	4.997	60.16	528.46	153.64	77.48	81.30
230.63	2.82	629.7	96.97	5.2010	89.877	467.45	12.113	1.478	17.90	485.35	144.35	77.08	74.67
228.36	2.76	610.7	96.96	5.2073	90.181	469.60	12.141	0.000	0.00	469.60	141.10	76.90	72.25
230.12	2.83	631.3	96.95	5.2522	60.205	316.21	11.818	15.008	177.36	493.57	137.73	78.18	75.93
231.00	2.50	555.7	96.37	5.2524	60.145	315.90	11.909	9.988	118.94	434.84	120.86	78.25	66.90
231.40	2.17	481.0	95.68	5.2541	60.117	315.86	12.040	5.055	60.86	376.72	104.28	78.32	57.96
231.25	1.98	429.6	93.97	5.2541	60.120	315.87	12.114	1.508	18.27	334.14	95.46	77.78	51.41
231.36	1.90	407.6	92.52	5.2541	60.036	314.43	12.140	0.000	0.00	314.43	93.17	77.14	48.37
228.79	2.02	440.0	95.08	5.3002	30.102	159.55	11.812	15.112	178.50	338.05	101.95	76.83	52.01
229.50	1.76	363.8	90.08	5.3022	29.956	158.83	11.907	10.005	119.13	277.96	85.84	76.40	42.76
230.09	1.46	289.5	86.45	5.3036	29.993	159.07	12.042	5.010	60.33	219.40	70.10	75.79	33.75
231.15	1.19	239.4	86.51	5.3034	30.046	159.35	12.114	1.502	18.19	177.54	61.86	74.16	27.31
234.02	1.09	218.2	85.91	5.3030	30.045	159.33	12.145	0.000	0.00	159.33	58.87	73.02	24.51
229.30	1.56	310.8	87.14	5.3355	9.055	48.32	11.811	15.068	177.97	226.29	84.51	72.81	34.81
231.87	1.18	237.4	86.41	5.3357	9.011	48.08	11.905	10.081	120.02	168.10	69.30	70.81	25.86
233.11	0.85	161.6	81.19	5.3365	8.993	47.99	12.043	4.984	60.02	108.01	53.59	66.84	16.62
233.15	0.65	112.5	74.43	5.3371	9.014	48.11	12.120	1.502	18.21	66.32	46.18	58.95	10.20
233.99	0.63	92.0	62.50	5.3371	9.001	48.04	12.148	0.000	0.00	48.04	43.96	52.22	7.39
229.45	0.53	52.1	43.22	5.3681	3.049	16.37	12.149	0.000	0.00	16.37	35.73	31.42	2.52
232.49	1.26	252.1	86.17	5.3941	0.000	0.00	11.832	15.072	178.33	178.33	73.77	70.74	27.44
233.94	0.92	177.8	83.04	5.3955	0.000	0.00	11.924	10.001	119.26	119.26	58.54	67.08	18.35
234.65	0.65	105.9	69.75	5.3951	0.000	0.00	12.048	5.001	60.26	60.26	45.64	56.90	9.27
232.94	0.53	51.0	41.27	5.3950	0.000	0.00	12.121	1.492	18.09	18.09	32.91	35.47	2.78
230.96	0.37	26.2	30.99	5.3947	0.000	0.00	12.149	0.000	0.00	0.00	26.20	0.00	0.00

Formeln:

$$P_{ges} = P_2 + P_3$$

$$P_v = P_1 - P_{ges}$$

$$\eta = P_{ges} / P_1$$

$$P_{ges} / P_{max} = P_{ges} / 650W$$

5.1 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung

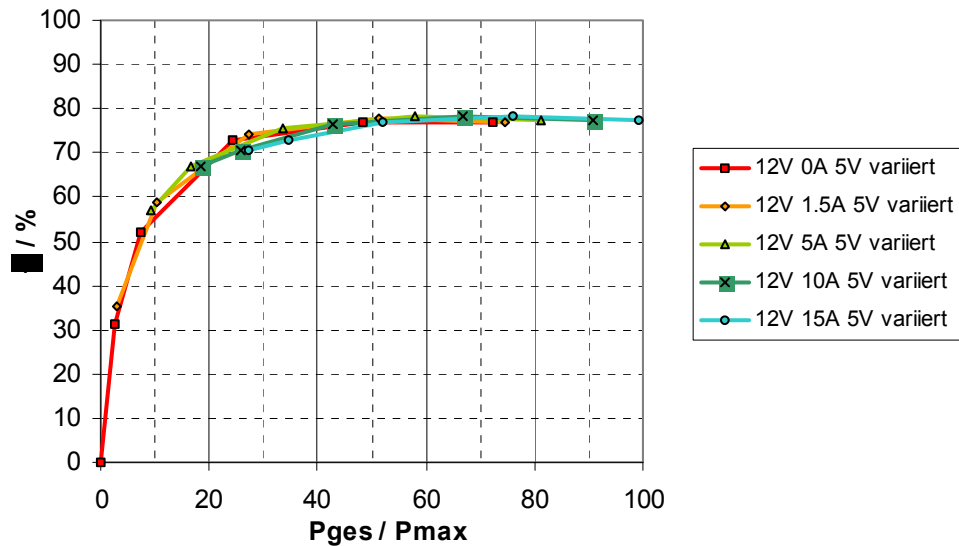


Abb.4: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 5V Ausganges.

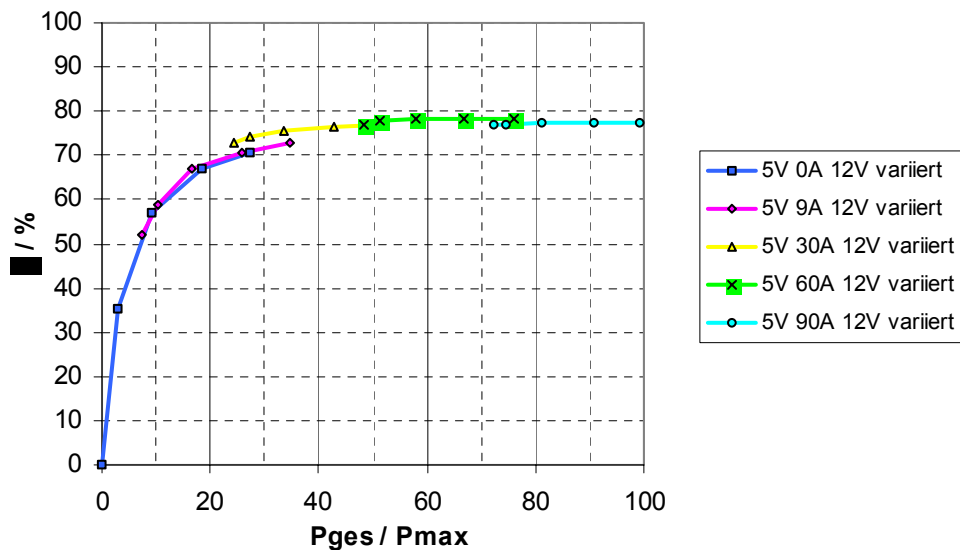


Abb.5: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 5V-Ausganges und Variation des 12V Ausganges.

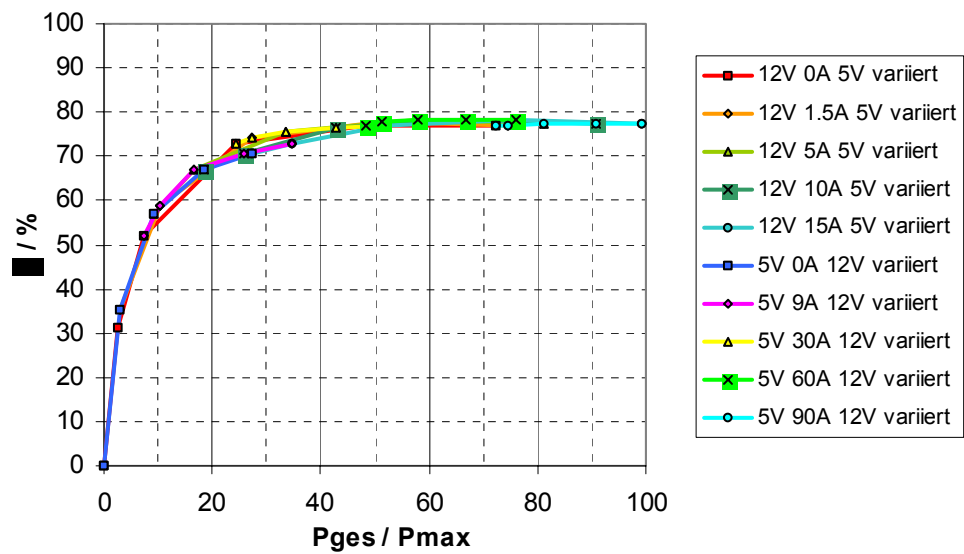


Abb.6: Zusammenfassung von Abb.4 und Abb.5: Abhängigkeit des Wirkungsgrades bei systematischer Variation beider Ausgänge.

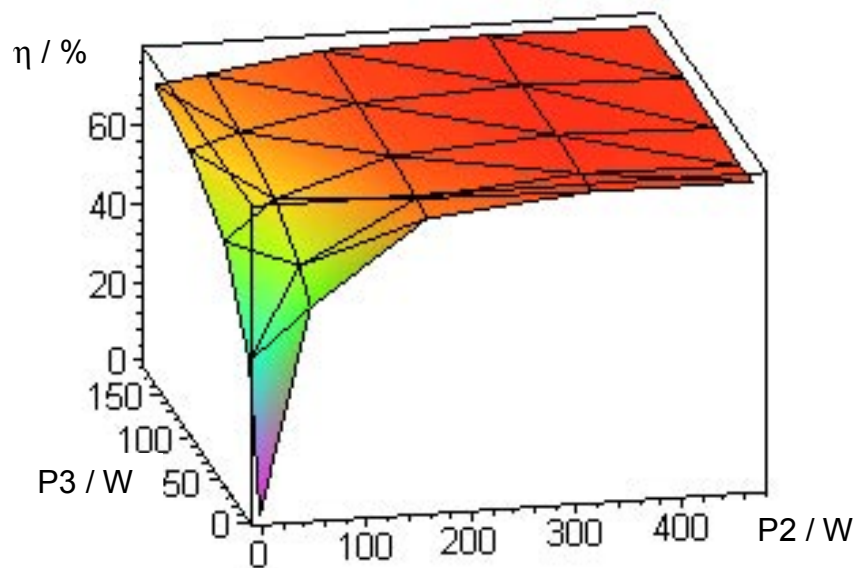


Abb.7: Dreidimensionale Darstellung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 und P_3 .

5.2 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung

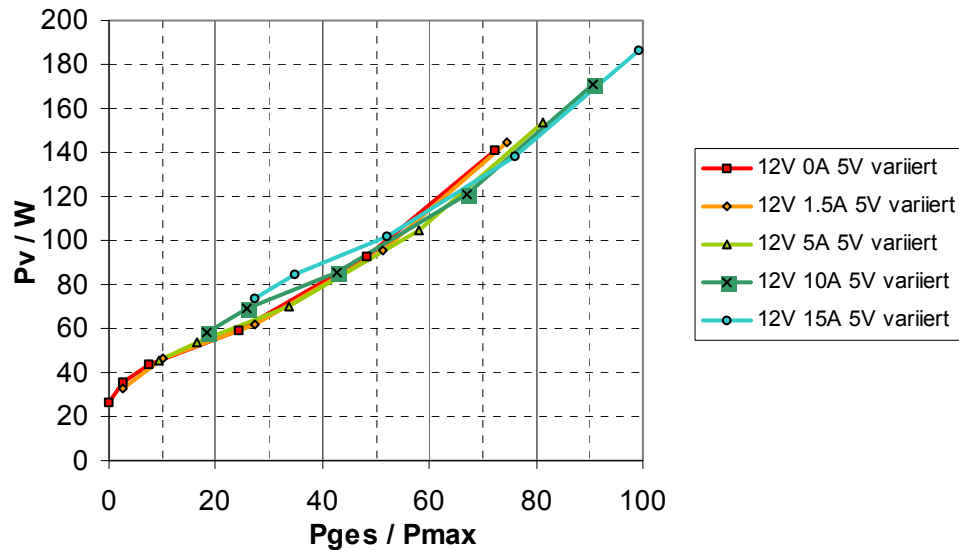


Abb.8: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 5V Ausganges.

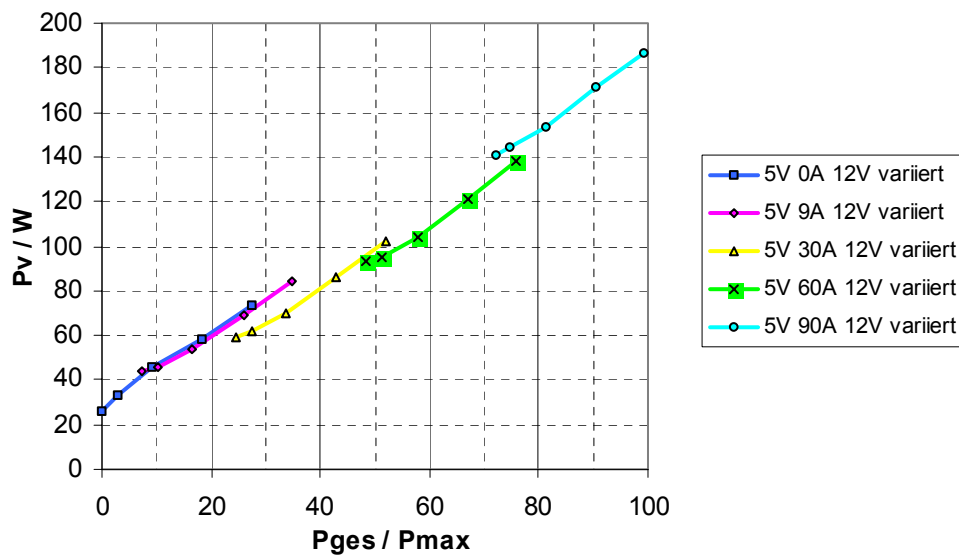


Abb.9: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Gesamtausgangsleistung bei unterschiedlichen Belastungen des 12V-Ausganges und Variation des 5V Ausganges.

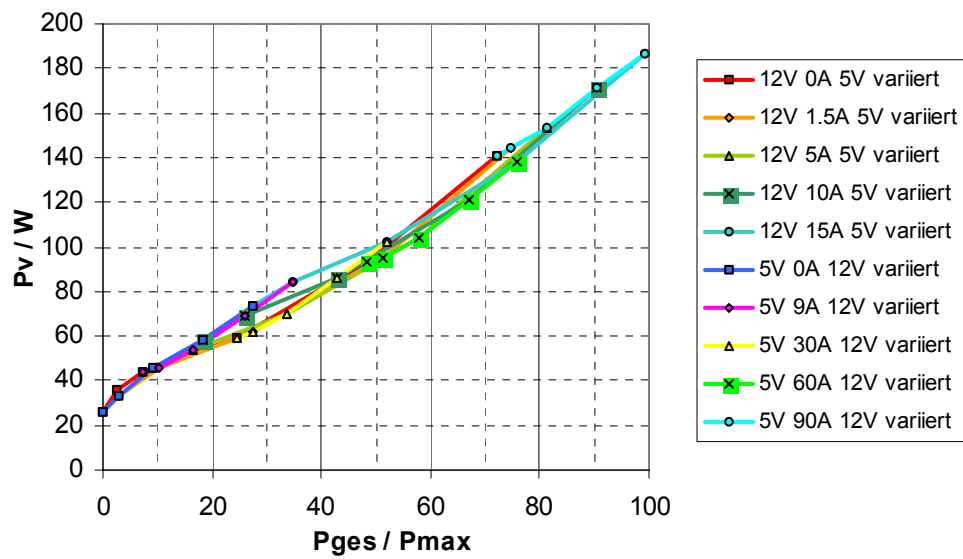


Abb.10: Zusammenfassung von Abb.8 und Abb.9: Verluste des Netzgerätes bei systematischer Variation beider Ausgänge.

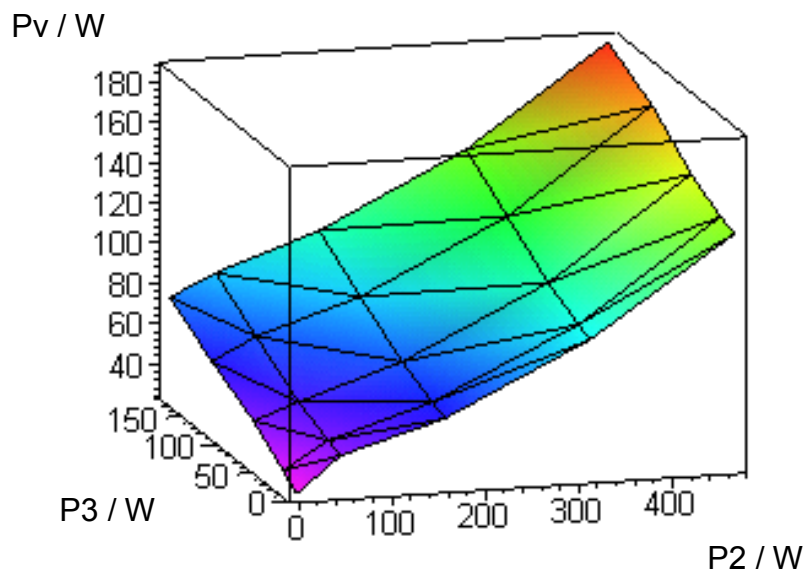


Abb.11: Dreidimensionale Darstellung der Verluste in Abhängigkeit der Ausgangsleistungen P_2 und P_3 .

5.3 Leistungsfaktor

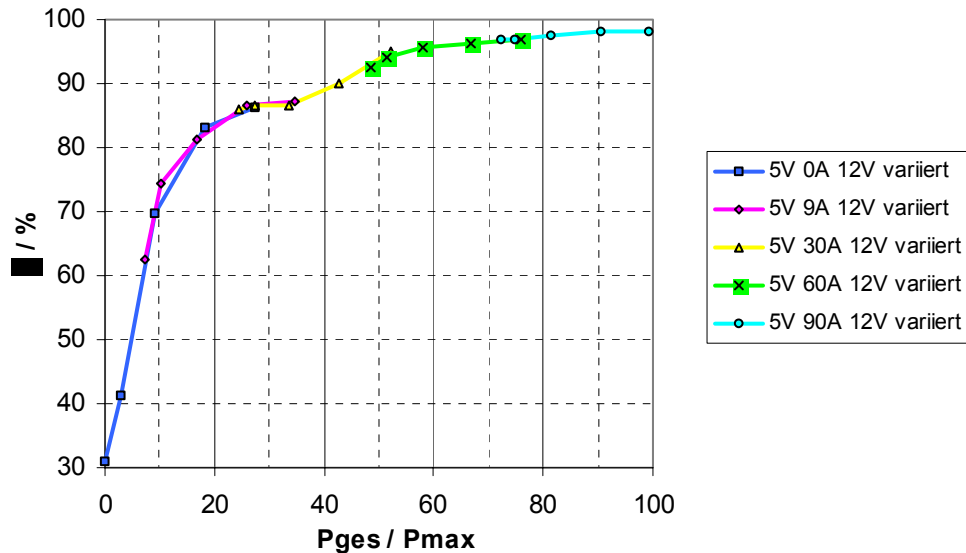


Abb.12: Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung.

6 Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass beim untersuchten Netzgerät für eine Gesamtausgangsleistung größer 25% der Nennleistung ein Wirkungsgrad im Bereich 70 ... 78% liegt. Der Leistungsfaktor wird zwar korrigiert, ist aber bereits bei 30% Auslastung im Bereich von 85%. Der Wirkungsgrad eines PFC in diesem Leistungsbereich beträgt ca. 92...95%, ein herkömmlicher Brückengleichrichter weist demgegenüber einen Wirkungsgrad besser 99% auf. Jedoch verschlechtert sich der Leistungsfaktor dann auf ca. 50...70%. Wenn die Auslastung im redundanten Betrieb kleiner 20% ist, ist ein PFC in dieser Form nicht optimal. Durch geeignetes Design sollte es jedoch möglich sein den Leistungsfaktor im gesamten Lastbereich noch anzuheben.

Johann Miniböck

power electronics consultant
- design and prototyping -

Bericht

Cisco 34-0873-01
(Ascom Galaxy)

Inhalt	Seite
1 Einleitung.....	3
2 Technische Daten	3
3 Inbetriebnahme	3
4 Messschaltung	4
5 Messergebnisse.....	5
5.1 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung	6
5.2 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung	6
5.3 Leistungsfaktor	7
6 Diskussion	7

1 Einleitung

Dieser Bericht dokumentiert die Bestimmung des Wirkungsgrades eines Cisco Netzgerätes, das von Ascom Energy Systems Limited gefertigt wird. Es zeichnet sich durch eine Ausgangsspannung von 12V und einem weiten Eingangsspannungsbereich aus. Die Ausgangsleistung des Gerätes beträgt 400W.

2 Technische Daten



Eingangsnennspannung	100-240V, einphasig
Eingangsnennfrequenz	50 - 60Hz
Eingangsnennstrom	6 - 3A
Ausgang:	12V / 33.3A
Ausgangsleistung gesamt:	400W

3 Inbetriebnahme

Bei der optischen Analyse des Netzgerätes zeigte sich die in Abb.1 gezeigte Struktur. Die Eingangswechselspannung wird durch den einphasigen PFC (Power Factor Correction = Leistungsfaktorkorrektur) auf eine Zwischenkreisspannung von ca. 380V hochgesetzt. Aus dem Zwischenkreis wird dann durch einen Gleichspannungs- Gleichspannungs- Konverter (DC/DC Konverter) der 12V Ausgang erzeugt.

Das Netzgerät befindet sich bei offenen Ausgangsklemmen jedoch im „Shutdown“, d.h. der DC/DC Konverter ist nicht freigegeben und liefert daher keine Ausgangsspannung. Die Freigabe des Netzgerätes erfolgt durch Verbindung des Shutdown – Anschlusses mit einem GND Anschluss (siehe Abb.2).

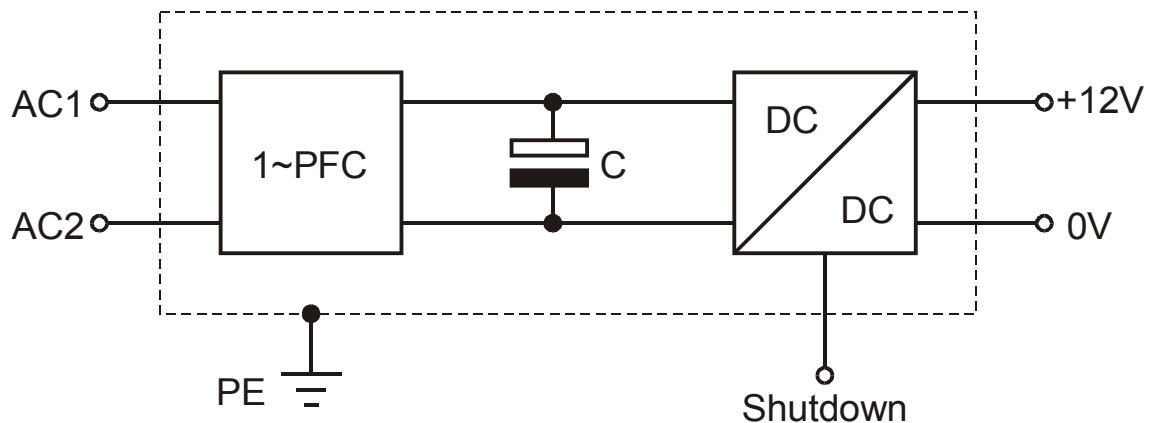


Abb.1: Struktur des Netzgerätes.

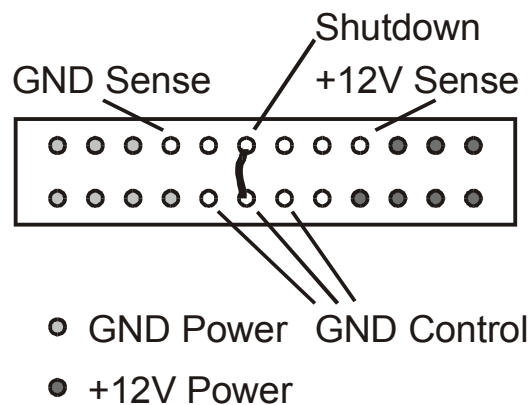


Abb.2: Klemmenplan des Netzgerätes.

Das Gerät läuft bei einer Eingangsspannung von ca. 80V_{eff} an und ist leerlauffest, d.h. es kann ohne Last betrieben werden. Das Gerät arbeitet kontinuierlich vom niedrigen zum hohen Eingangsspannungsbereich, d.h. es kann von 80 ... 264V (=240+10%) betrieben werden. Im gegenständlichen Fall wurde es stets mit der Nennspannung von 230V versorgt.

4 Messschaltung

In Abb.3 ist die Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades dargestellt. Das Netzgerät wird mittels einer einstellbaren AC-Spannungsquelle U_{ac} versorgt (Spartrafo).

Durch die Verbindung GND – Shutdown erfolgt die Freigabe der Ausgangsspannungen. Die Belastung des Ausgangs erfolgt durch ein Hochleistungs- IGBT Modul in Konstantstrombetrieb. Die Gatespannung dieses Moduls wird mit einem Potentiometer eingestellt, um den Stromwert einstellen zu können.

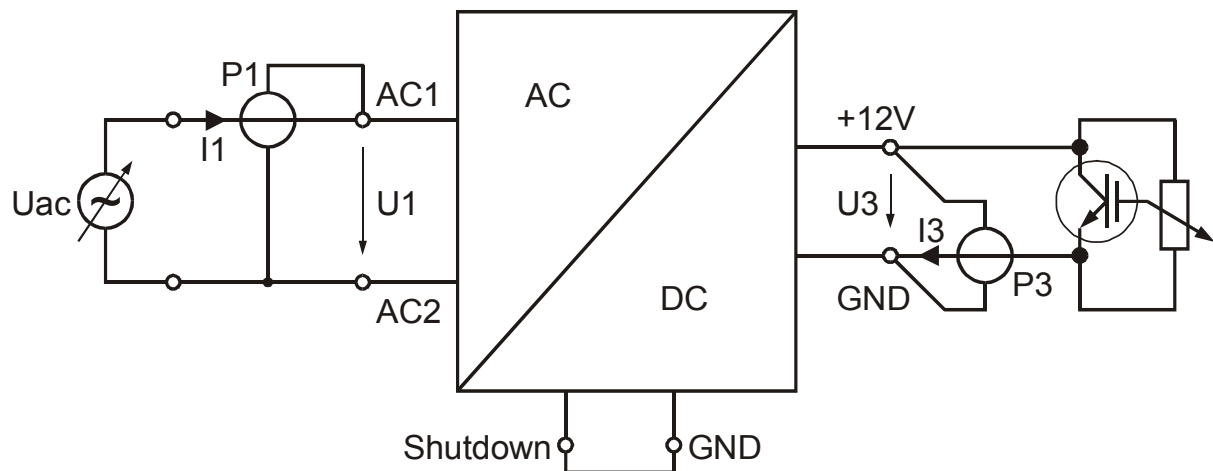


Abb.3: Messschaltung zur Bestimmung des Wirkungsgrades

Alle Ströme, Spannungen und Leistungen werden in einem LEM NORMA Power Analyzer NORMA 4000 gleichzeitig erfasst, wodurch eine Konsistenz der Messwerte sichergestellt werden kann. Die Genauigkeit des Power Analyzer ist mit $\pm 0.1\%$ pro Strom- bzw. Spannungskanal angegeben, wodurch sich eine Genauigkeit in der Leistungsmessung pro Kanal von $\pm 0.2\%$ ergibt. Die **Gesamtgenauigkeit** beträgt daher im schlimmsten Fall **$\pm 0.4\%$** .

5 Messergebnisse

U1 V	I1 A	P1 W	λ %	U3 V	I3 A	P3 W	Pv W	η %	P3/Pmax %
228.05	2.1403	481.7	98.68	12.005	33.3410	400.30	81.40	83.102	100.1
229.37	1.5881	357.0	98.01	12.007	25.0630	300.90	56.10	84.286	75.2
229.96	1.0680	236.9	96.45	12.008	16.7300	200.90	36.00	84.804	50.2
231.15	0.5838	121.4	89.98	12.009	8.3310	100.05	21.35	82.414	25.0
232.06	0.3326	54.8	70.96	12.011	3.3321	40.02	14.78	73.029	10.0
230.26	0.2773	40.6	63.62	12.011	2.3340	28.03	12.57	69.039	7.0
230.84	0.2282	25.0	47.52	12.011	1.1757	14.12	10.88	56.480	3.5
233.12	0.2155	17.5	35.18	12.011	0.7021	8.43	9.07	48.171	2.1
233.12	0.2429	7.4	13.15	12.011	0.0000	0.00	7.40	0.000	0.0

Formeln:

$$P_v = P_1 - P_3$$

$$\eta = P_3 / P_1$$

$$P_3 / P_{\max} = P_3 / 400W$$

5.1 Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung

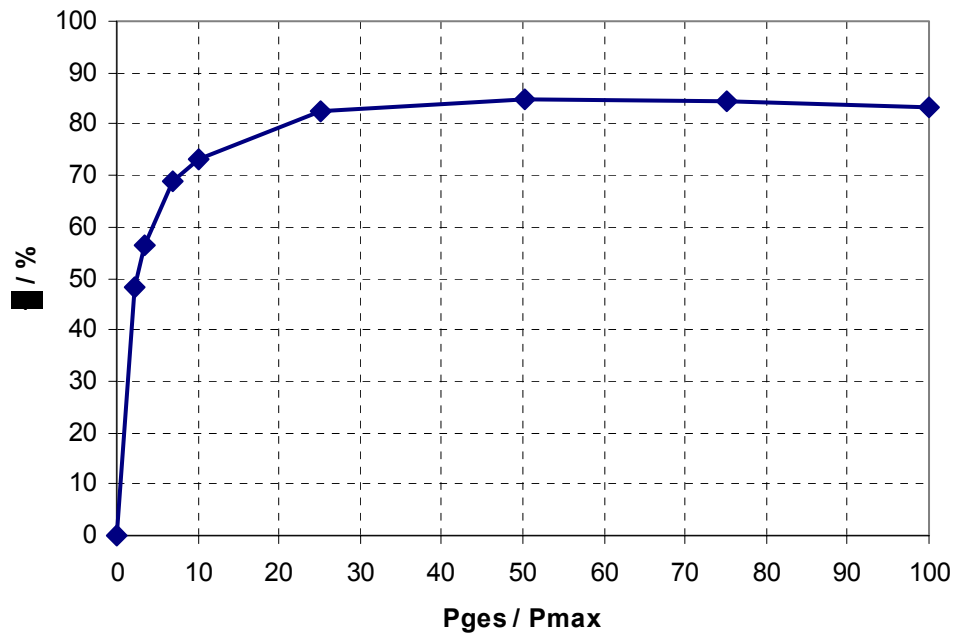


Abb.4: Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Ausgangsleistung.

5.2 Abhängigkeit der Verluste von der Ausgangsleistung

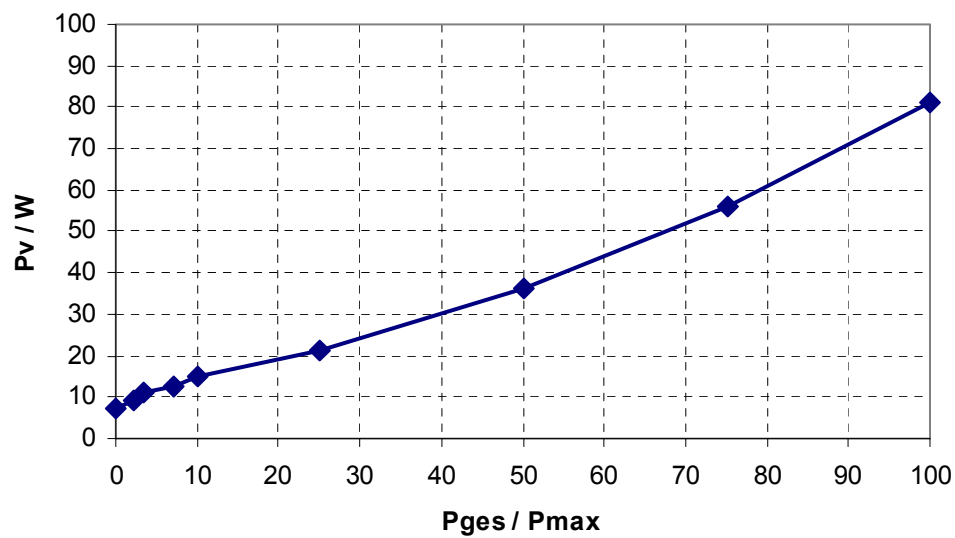


Abb.8: Verluste des Netzgerätes in Abhängigkeit der Ausgangsleistung.

5.3 Leistungsfaktor

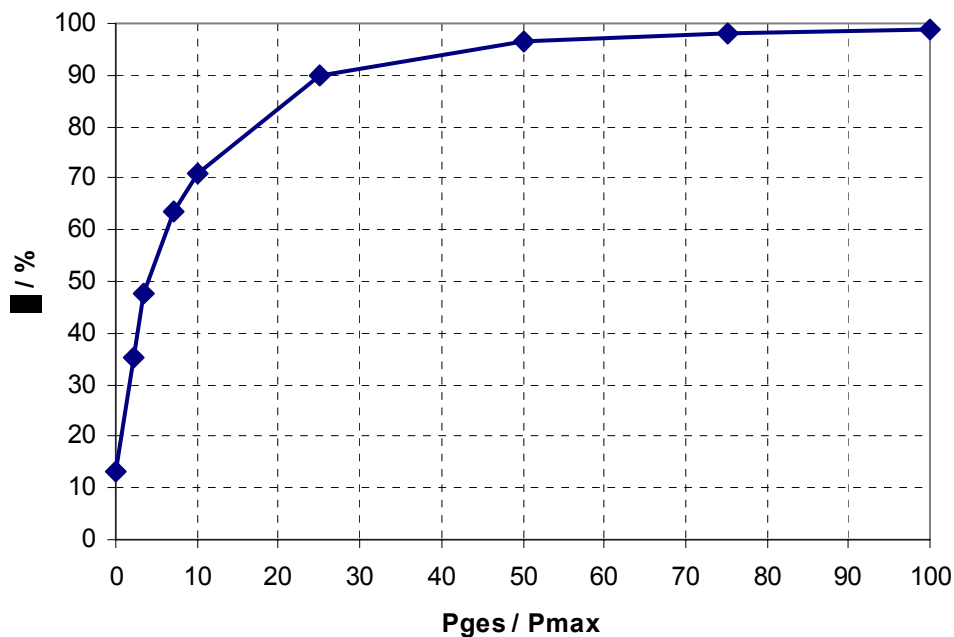


Abb.12: Leistungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsleistung.

6 Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass beim untersuchten Netzgerät für eine Gesamtausgangsleistung größer 20% der Nennleistung ein Wirkungsgrad im Bereich 80 ... 85% liegt. Der Leistungsfaktor wird korrigiert, und ist über 25% Auslastung im Bereich über 90%. Der Wirkungsgrad eines PFC in diesem Leistungsbereich beträgt ca. 92...95%, ein herkömmlicher Brückengleichrichter weist demgegenüber einen Wirkungsgrad besser 99% auf. Jedoch verschlechtert sich der Leistungsfaktor dann auf ca. 50...70%. Der PFC arbeitet bei diesem Netzgerät bereits deutlich besser im Vergleich zum Artesyn Netzgerät.

Ich denke auch, dass dieses Netzgerät bereits dem Trend in Richtung dezentraler DC/DC Wandlung vor Ort folgt und nur die erste Stufe der AC/DC Wandlung übernimmt. Da die Versorgungsspannungen neuerer Prozessoren im Bereich 1.8 ... 2.5 V liegt, der Stromverbrauch aber zunimmt, ist dies nur mehr mit dezentralen DC/DC Konvertern machbar.

Messresultate Arbeitspunkte und Wirkungsgrade von verschiedenen PCs

Objekt Netzgerät Octek mit ASUS-Motherboard

Modell Netzgerät
 Nennleistung [W] Nennleistung [W] 250
 Messung ausgeführt Alois Huser Datum: 30.08.02

mProzessor Intel Pentium 3, 866 MHz, 256 MB RAM
 Komponenten 2xCD-ROM, ZIP-Laufwerk, Floppy-Laufwerk, 2xHarddisk

PC-Betriebszustand	P in [W]	P in [VA]	I out [A] Motherboard							I out [A] Peripherie		P out [W] Mother-board	P out [W] Peripherie	P out [W] Total	Arbeitspunkt [%]	Wirkungsgrad [%]	Leistungsfaktor
			+12 V	-12 V	+5 V	-5 V	+5 V SB	+3.3 V	+12 V	+5 V							
Aus	5	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13	0.0	0.0	0.00	0.7	0.0	0.7	2	13	0.3	
Standby	43	70	0.2	0.0	2.8	0.0	0.13	0.0	0.0	0.00	17.1	0.0	17.1	17	40	0.6	
Desktop ruhend	53	85	0.2	0.0	3.0	0.0	0.13	0.0	0.5	1.56	18.1	13.8	31.9	21	60	0.6	
Prozessor belastet	69	106	0.2	0.0	6.0	0.0	0.13	0.0	0.5	1.56	33.1	13.8	46.9	28	68	0.7	

Objekt Netzgerät Power Man mit ASUS-Motherboard

Modell Netzgerät Power Man
 Nennleistung [W] Nennleistung [W] 300
 Messung ausgeführt Alois Huser Datum: 30.08.02

mProzessor Intel Pentium 3, 866 MHz, 256 MB RAM
 Komponenten 2xCD-ROM, ZIP-Laufwerk, Floppy-Laufwerk, 2xHarddisk

PC-Betriebszustand	P in [W]	P in [VA]	I out [A] Motherboard							I out [A] Peripherie		P out [W] Mother-board	P out [W] Peripherie	P out [W] Total	Arbeitspunkt [%]	Wirkungsgrad [%]	Leistungsfaktor
			+12 V	-12 V	+5 V	-5 V	+5 V SB	+3.3 V	+12 V	+5 V							
Aus	3	13	0.00	0.0	0.0	0.0	0.133	0.0	0.0	0.00	0.7	0.0	0.7	1	22	0.2	
Standby	46	79	0.27	0.0	2.8	0.0	0.133	0.0	0.0	0.00	17.9	0.0	17.9	15	39	0.6	
Desktop ruhend	57	93	0.27	0.0	3.0	0.0	0.133	0.0	0.5	1.56	18.9	13.8	32.7	19	57	0.6	
Prozessor belastet	72	117	0.27	0.0	6.0	0.0	0.133	0.0	0.5	1.56	33.9	13.8	47.7	24	66	0.6	

Objekt Netzgerät Fortron in PC Fujitsu Siemens Cordant

Modell Netzgerät FSP235-60GT mProzessor Intel Pentium 3, 700 MHz, 128 MB RAM

Nennleistung [W] 250

Komponenten CD-ROM, Floppy-Laufwerk

Messung ausgeführt Alois Huser Datum: 30.08.02

PC-Betriebszustand	P in [W]	P in [VA]	I out [A] Motherboard							I out [A] Peripherie		P out [W] Motherboard	P out [W] Peripherie	P out [W] Total	Arbeitspunkt [%]	Wirkungsgrad [%]	Leistungsfaktor
			+12 V	-12 V	+5 V	-5 V	+5 V SB	+3.3 V	+12 V	+5 V							
Aus	1	8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.07	0.0	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4	0	35	0.1	
Standby	27	51	0.00	0.0	2.2	0.0	0.07	0.0	0.02	0.65	11.4	3.5	14.8	11	55	0.5	
Desktop ruhend	34	60	0.18	0.0	2.4	0.0	0.07	0.0	0.13	0.80	14.5	5.6	20.1	14	59	0.6	
Prozessor belastet	50	85	0.18	0.0	5.4	0.0	0.07	0.0	0.13	0.80	29.5	5.6	35.1	20	70	0.6	

Objekt Netzgerät Lite-On in PC HP Vectra VL 420 MT

Modell Netzgerät PS-6251-2H8 mProzessor Intel Pentium 4, 2.2 GHz, 256 MB RAM

Nennleistung [W] Nennleistung [W] 250

Komponenten 1xCD-ROM, Floppy-Laufwerk, 1xHarddisk

Messung ausgeführt Alois Huser Datum: 01.09.02

PC-Betriebszustand	P in [W]	P in [VA]	I out [A] Motherboard							I out [A] Peripherie		P out [W] Motherboard	P out [W] Peripherie	P out [W] Total	Arbeitspunkt [%]	Wirkungsgrad [%]	Leistungsfaktor
			+12 V	-12 V	+5 V	-5 V	+5 V SB	+3.3 V	+12 V	+5 V							
Aus	2	9	0.0	0.0	0.00	0.0	0.19	0.0	0.00	0.00	1.0	0.0	1.0	1	48	0.2	
Standby	2	9	0.0	0.0	0.00	0.0	0.19	0.0	0.00	0.00	1.0	0.0	1.0	1	48	0.2	
Desktop ruhend	55	75	1.0	0.0	0.15	0.0	0.19	4.0	1.08	0.17	27.1	13.8	41.0	22	74	0.7	
Prozessor belastet	70	92	2.0	0.0	0.15	0.0	0.19	4.2	1.08	0.17	39.8	13.8	53.6	28	77	0.8	

Objekt**Netzgerät Delta Electronics (extern) in PC HP e-pc 42**

Modell Netzgerät ADP-145BB mProzessor Intel Pentium 4, 1.8 GHz, 256 MB RAM

Nennleistung [W] Nennleistung [W] 150 Komponenten 1xCD-ROM, 1xHarddisk

Messung ausgeführt Alois Huser Datum: 01.09.02

PC-Betriebszustand	P in [W]	P in [VA]	I out [A]		P out [W]	Arbeits-	Wirkungs-	Leistungs-
			+19 V	+12 V	Totalpunkt [%]	punkt [%]	grad [%]	faktor
Aus	8;	23	0.007	0.0	0.1	5	2	0.3
Standby	8;	23	0.007	0.0	0.1	5	2	0.3
Desktop ruhend	37;	56	0.630	1.4	28.8	25	78	0.7
Prozessor belastet	80;	87	0.700	4.8	70.9	53	89	0.9