

NH/HH-Recycling



Erwärmungs- und Schaltverhalten von NH-Sicherungen bei Beanspruchung mit mittelfrequenten Strömen

Prof. Dr.-Ing. Norbert Grass
Dipl.-Ing. Michael Hausmann



Projektbetreuung im Auftrag des NH/HH-Recycling e. V. :
fuseXpert Dr.-Ing. Herbert Bessei, Bad Kreuznach



Eine Initiative der deutschen Sicherungshersteller

Frequenzabhängiges Verhalten

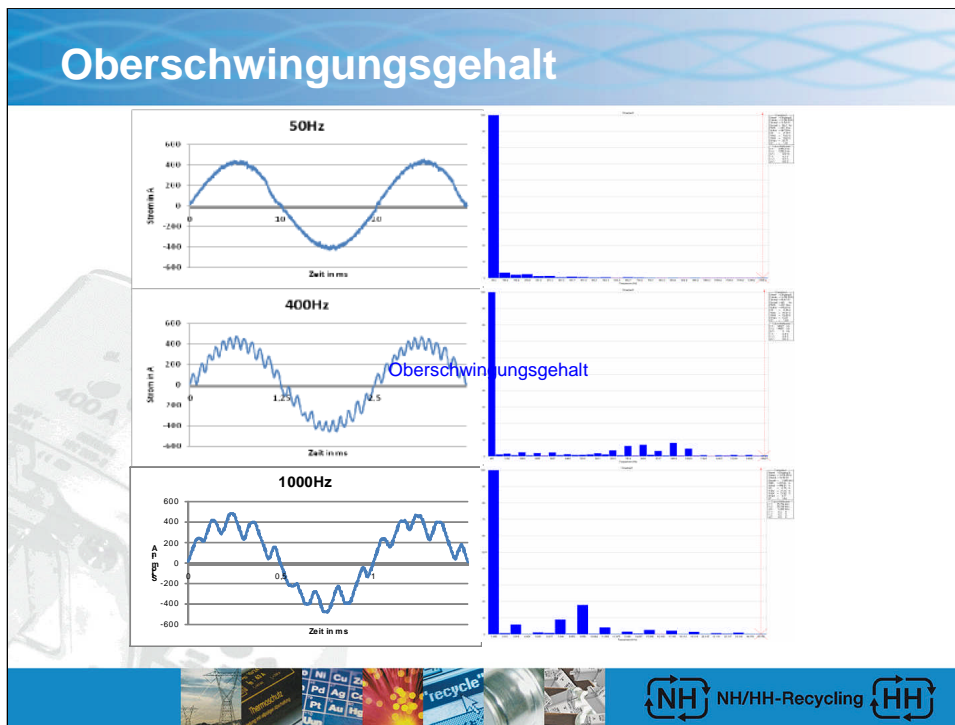
Untersucht wurden

- Leistungsabgabe und Erwärmung,
 - Zeit/Strom-Kennlinien,
- an NH-Sicherungsmustern mit mehreren planparallelen Schmelzleitern
- bei
- 50 Hz bis 1.000 Hz



Die charakteristischen Eigenschaften von NH-Sicherungen werden nach Norm für den in Stromversorgungsnetzen üblichen Frequenzbereich von 50 bis 60 Hz angegeben. Grundlage für die Definition der Sicherungseigenschaften und deren Nachweis hierfür ist die Internationale Norm IEC 60269-2. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass die bei Netzfrequenz ermittelten, für die Anwendung wichtigen technischen Daten, wie Zeit/Strom-Kennlinie, Leistungsabgabe und Schaltvermögen auch bei höheren Frequenzen unverändert gelten.

Oberschwingungsgehalt



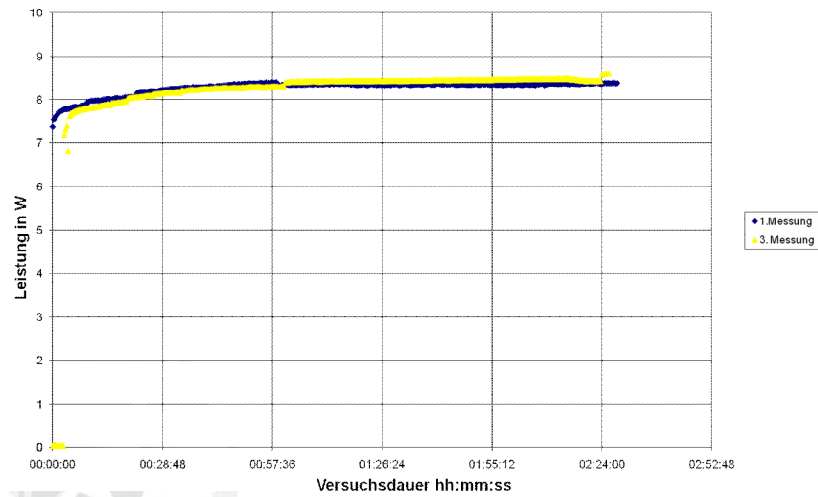
Zur Erzeugung der Ströme wurde ein Zwischenkreisumrichter verwendet.

Der Stromverlauf wurde mit Hilfe einer Zweipunktstromregelung realisiert bei der die

Stromhöhe beliebig einstellbar war und die Frequenz des Stromes sich in den Schritten 50Hz, 400Hz, 1000Hz einstellen ließ.

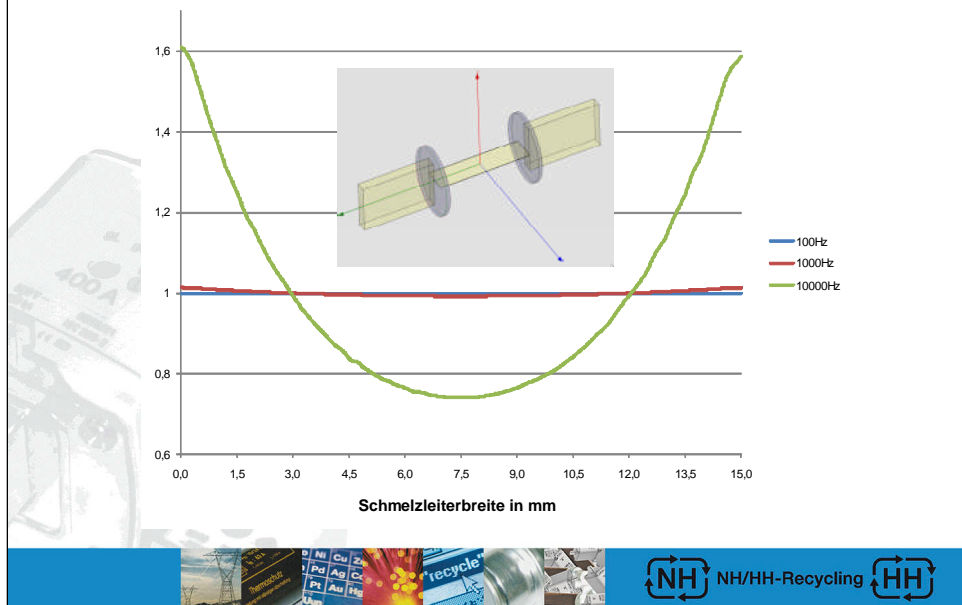
Der Einfluss weiterer Harmonischer wurde im Hinblick auf die angestrebten Ergebnisse als untergeordnet betrachtet.

Vergleich Netzspannung / Umrichter



Die Vergleichskurven der Leistungsmessung mit 50 Hz Netzspannung und Wechselrichterspannung ergeben eine hinreichende Übereinstimmung.

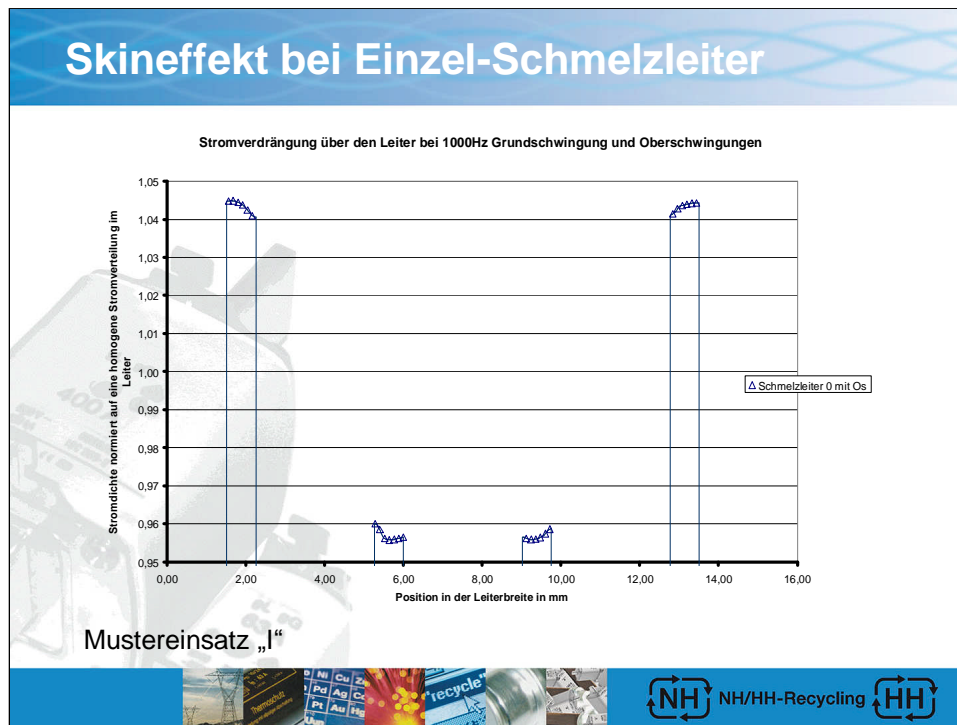
Skineffekt bei flachen Leitern



Der Skineffekt verdrängt die Strompfade zu den Außenbereichen des Schmelzleiters.

- Verdrängung des Stroms zum Leiterrand
- Effekt bei Frequenzen >1000 Hz stärker ausgeprägt

Skineffekt bei Einzel-Schmelzleiter



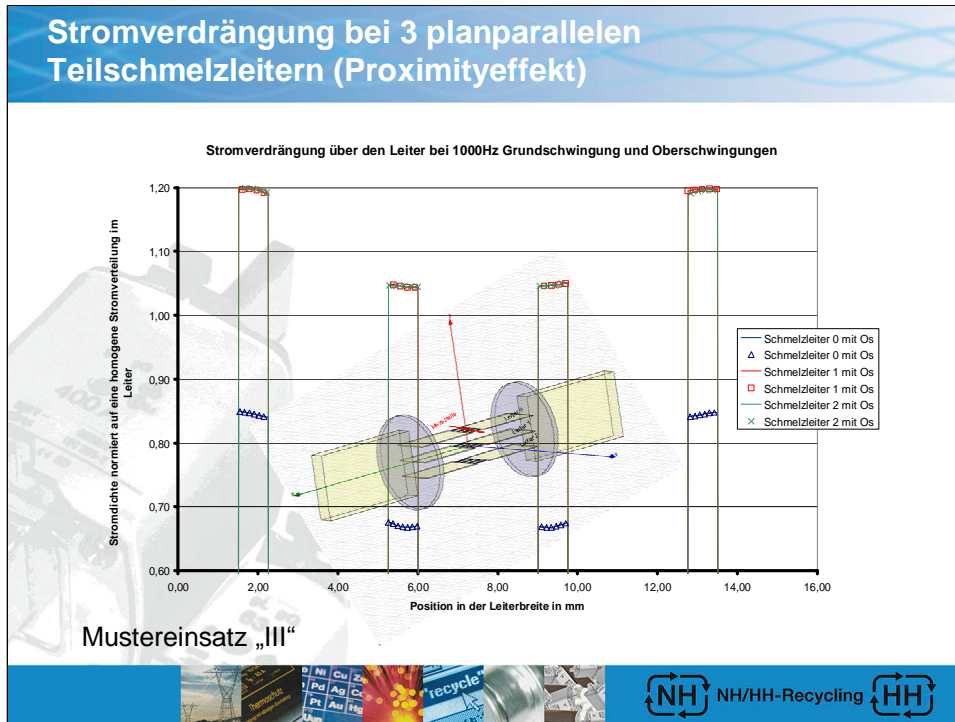
Der Skineffekt verdrängt die Strompfade zu den äußeren Engstellen des Schmelzleiters.

Der Proximityeffekt tritt hier nicht auf.

(Oberschwingungen entsprechend den realen Bedingungen des Generators)



Stromverdrängung bei 3 planparallelen Teilschmelzleitern (Proximityeffekt)



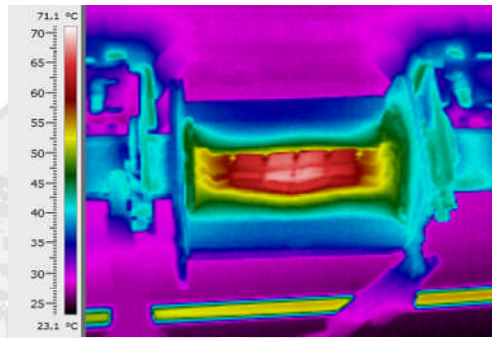
Bei drei planparallelen Leitern wird bei hohen Frequenzen der mittlere Leiter durch den Proximityeffekt deutlich entlastet, die äußeren Leiter dagegen deutlich höher belastet (innen ca. 67 %, außen ca. 120 %).

Bei vier parallelen Leitern wirkt sich die Frequenz noch stärker auf die Stromverteilung von innen nach außen aus (innen ca. 63 %, außen ca. 135 %).

Ungleiche Stromaufteilung auf die Engstellen und zwischen den Teilschmelzleitern erhöht der Leistungsabgabe der Sicherungseinsätze.



Wärmebild des Schmelzleiters

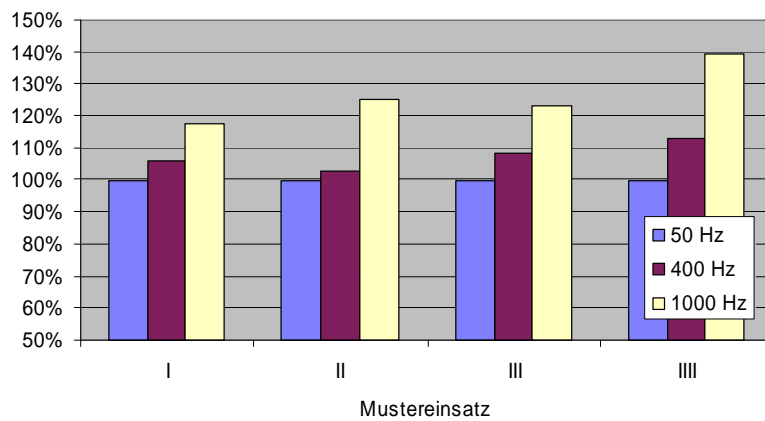


Mustereinsatz III
Körper mittig geöffnet



Die höhere Temperatur des mittleren Teilschmelzleiters ist deutlich sichtbar.
Die Wärmebilder sind bei 50 Hz und 1000 Hz praktisch gleich.

Leistungsabgabe frequenzabhängig



Achtung: Nullpunkt unterdrückt!



Die gemessene Leistungsabgabe wurde auf den jeweiligen 50-Hz-Wert bezogen, um den Einfluss der unterschiedlichen thermischen Auslegung der Mustereinsätze zu eliminieren.

Die Leistungsabgabe steigt erwartungsgemäß mit der Stromfrequenz und der Anzahl planparalleler Teilschmelzleiter, wobei sich Skineneffekt und Proximityeffekt überlagern.

Bei 400 Hz liegt die Leistungsabgabe je nach Leiteranzahl um 5 % bis 12 % über den 50 Hz-Werten,

Bei 1.000 Hz im Bereich von 20 % bis 40 % darüber.

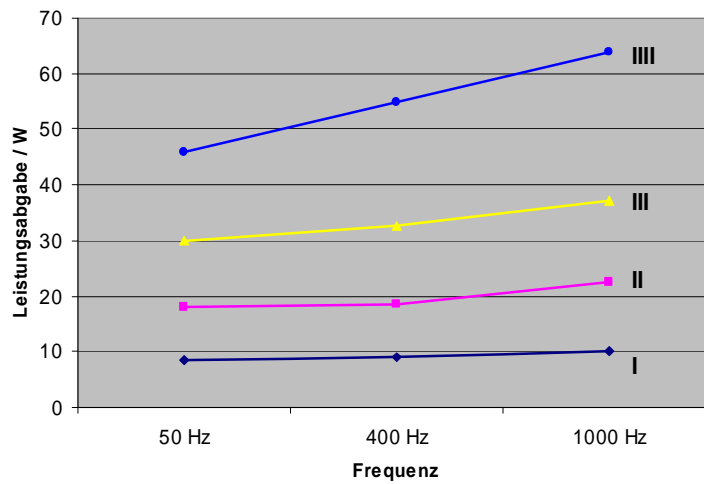
Reduktionsfaktoren für den Betriebsstrom

Schmelzleiter-anordnung	50 Hz	400 Hz	1.000 Hz
I	100 %	98 %	93 %
II	100 %	98 %	89 %
III	100 %	96 %	90 %
IIII	100 %	94 %	85 %



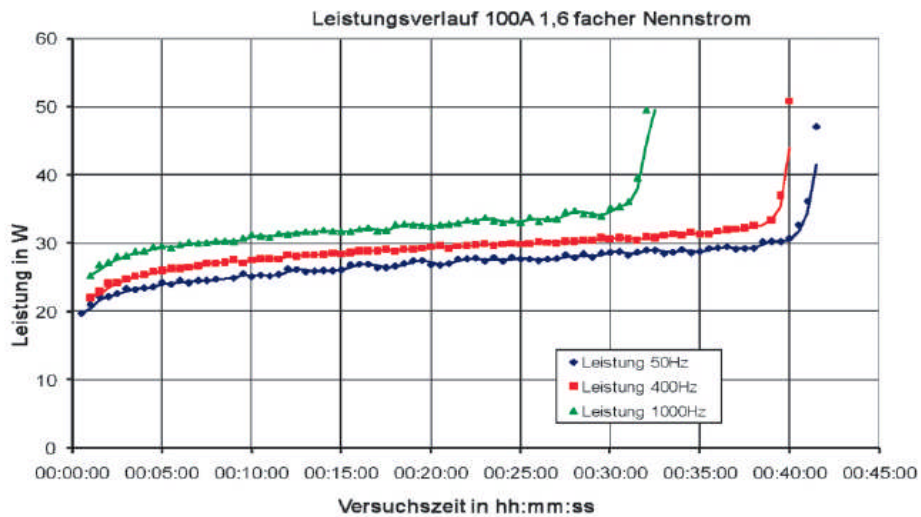
Damit die bei 50 Hz ermittelte Erwärmung der Sicherungseinsätze eingehalten wird, muss der Betriebsstrom abhängig von der Frequenz und der Schmelzleiterkonfiguration reduziert werden.

Leistungsabgabe frequenzabhängig



Die Leistungsabgabe bei Bemessungsstrom steigt annähernd linear mit der Stromfrequenz. Die Steigung ist bei Einzelschmelzleitern gering und nimmt mit der Anzahl planparalleler Teilschmelzleiter zu, d. h. die Frequenzabhängigkeit ist bei mehreren Teilschmelzleitern stärker ausgeprägt.

Leistungsabgabe bei $1,6 I_N$ (typischer Verlauf)

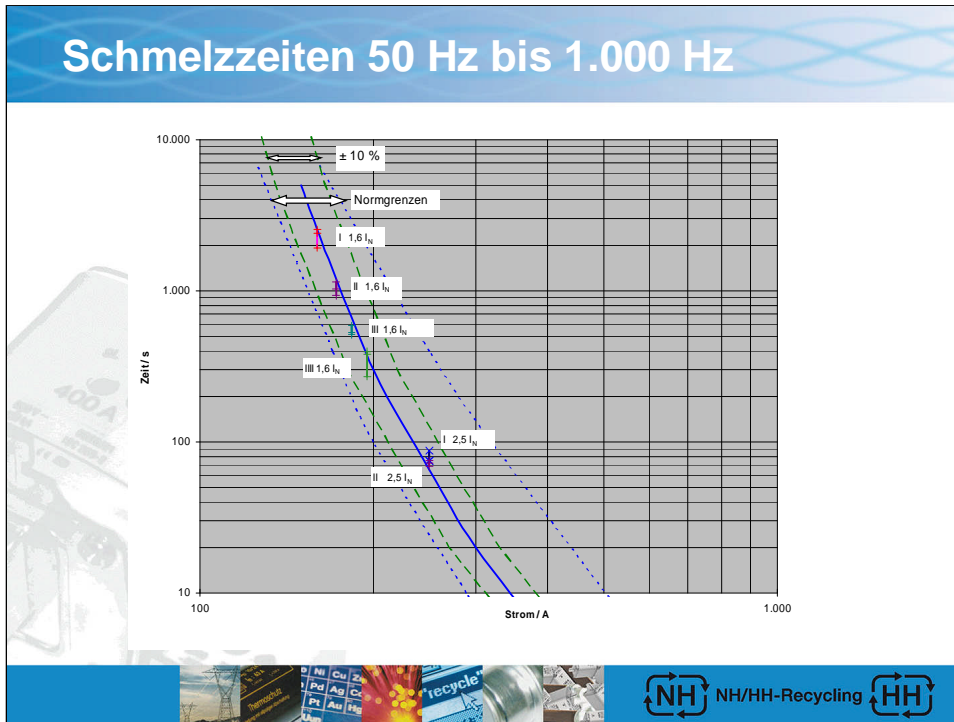


NH/HH-Recycling

Beim großen Prüfstrom wird der Einfluss der Stromfrequenz auf Leistungsabgabe und Schmelzzeit erkennbar.

Während die größere Leistungsabgabe die Erwärmung signifikant erhöhen kann und ggf. durch einen Reduktionsfaktor berücksichtigt werden muss, ist der Einfluss auf die Zeit/Strom-Kennlinie weniger bedeutend (s. nächste Folie).

Schmelzzeiten 50 Hz bis 1.000 Hz

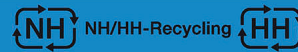


Bei den Schmelzzeiten liegen die Abweichungen bis zu einer Stromfrequenz von 1.000 Hz innerhalb der üblichen Fertigungstoleranzen. (Die senkrechten Balken verbinden die Schmelzzeiten von 50 Hz, 400 Hz und 1.000 Hz.)

Die vom Hersteller für 50 Hz ermittelten Zeit/Strom-Kennlinien sind daher auch bis zu Strömen mit einer Frequenz von 1.000 Hz verwendbar.

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Bei gG-Sicherungen mit Einfach-Schmelzleitern ist der Frequenzeinfluss auf die Leistungsabgabe gering.
- Bei mehreren planparallelen Teilschmelzleitern steigt die Leistungsabgabe etwa linear mit der Frequenz.
- Zum Einhalten der Erwärmungsgrenzen müssen deshalb ggf. Reduktionsfaktoren für den maximalen Betriebsstrom beachtet werden.
- Der Frequenzeinfluss auf die Zeit/Strom-Kennlinien ist gering und liegt im Rahmen der üblichen Toleranzen für genormte Sicherungseinsätze.
- Die 50 Hz-Kennlinie ist auch bis 1.000 Hz verwendbar.



Anhang

Umrechnung der Stromwerte

		I	II	III	IIII	
P_N	50 Hz	8,4	20,00	33,00	48,00	W
P_N	Faktor	1	1,19	1,31	1,43	W
I_N	Faktor	1	1,09	1,14	1,20	A

P_N	400 Hz	9,5	25,50	38,50	55,00	W
P_N	Faktor	1	1,34	1,35	1,45	W
I_N	Faktor	1	1,16	1,16	1,20	A

P_N	1000 Hz	9,25	25,00	50,00	85,00	W
P_N	Faktor	1	1,35	1,80	2,30	W
I_N	Faktor	1	1,16	1,34	1,52	A



Anmerkung fuseXpert zu Folie 13 „Kennlinien“:

Für eine realistischere Darstellung der Zeit/Strom-Kennlinien wurden die gemessenen Stromwerte mit einem Umrechnungsfaktor korrigiert, der berücksichtigt, dass die Sicherungsmodelle mit mehreren Schmelzleitern nicht der Praxis entsprechen sondern thermisch unterdimensioniert sind.

Die Umrechnung basiert auf der vereinfachenden Annahme gleicher Stromverteilung auf alle Schmelzleiter und einem entsprechenden proportionalen Anstieg und der Bemessungsleistungsabgabe mit der Schmelzleiterzahl.

So dürfte z. B. die Leistungsabgabe bei 2 Schmelzleitern (Ausführung II) nur das Doppelte der Ausführung I betragen. Gemessen wurde bei 50 Hz ein um 19 % höherer Wert (20 W statt 2 x 8,4 W) . Die gemessene Leistungsabgabe entspricht somit einem um 9 % höheren Strom, der als Basis der Kennlinien in Folie 13 verwendet wurde.