



Der Beitrag von Sicherungen und anderen Schutzeinrichtungen zu den Netzverlusten im Stromverteilungsnetz

HTEE Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
unter Mitarbeit von: Gunnar Bärwaldt und Marcus Bunk
Projektbetreuung im Auftrag des NH/HH-Recycling e. V. :
fuseXpert Dr.-Ing. Herbert Bessei, Bad Kreuznach



Eine Initiative der deutschen Sicherungshersteller

Die Leistungsabgabe von Sicherungen

bedeutet je nach Standpunkt des Betrachters

- notwendige Funktionsleistung für den Überlastschutz,
- Wärmebelastung für den Schaltanlagen- und Verteilerbau (Heizleistung),
- betriebswirtschaftliche Kosten für den Netzbetreiber (Verlustleistung),
- Umweltbelastung durch CO₂-Ausstoß.



Die Studie war auf die Punkte Netzkosten und Umweltbelastung ausgerichtet. Im Sinne der Studie sind die Begriffe “Verlustleistung” und Verlustarbeit” durchaus zutreffend, da es sich um Netzverluste handelt.

Lastabhängige Netzverluste

- **Messtechnisch sehr aufwendig zu erfassen, daher in der Regel nicht bekannt.**
- **Durchgängige Leistungsdaten sind nicht verfügbar.**
- **Berechnung aus Verbrauchsdaten sind üblich.**
- **Zuschläge für unsymmetrische Lastverteilung im Hausanschluss erforderlich.**

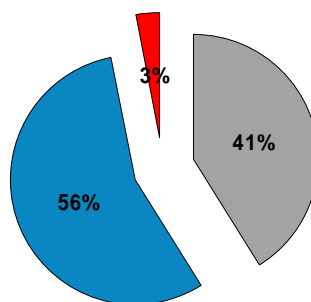


Eine annähernd korrekte Ermittlung der Netzverluste setzt eine zeitgleiche Erfassung aller Einspeise- und Verbrauchsleistungen voraus. Wegen des unrealistisch hohen Aufwand dienen pauschale Annahmen oder Modellberechnungen als Ersatzlösungen.

Die ermittelten Absolutwerte sind mit großer Unsicherheit behaftet.

Geschätzte Verlustenergie im Niederspannungsverteilungsnetz*

Betriebsmittel	Verlust-energie	Anteil
Transformatoren	15,8 GWh	41 %
Kabel	21,4 GWh	56 %
Sicherungen	1,03 GWh	3 %
Gesamt	38,2 GWh	100 %



* Schätzung eines Stadtnetzbetreibers

Sicherungsverlustenergie
ca. 0,1 % der Einspeisung



Der Anteil der Sicherungen an den Verlusten des Niederspannungsverteilungsnetzes beträgt nach Schätzung des Netzbetreibers etwa 3 %.

Auf den gesamten Verbrauch der Netznutzer bezogen betragen die Niederspannungs-Netzverluste ca. 3 % und die Verluste durch Sicherungen nur ca. 0,1 %.

Schätzzahlen eines Netzbetreibers

Einbauort	Anzahl Sicherungen	Betriebsstunden / Leistungsabgabe*	Verlustrarbeit MWh / a
ONS	21.270	700 h / 15,5 W	231
KVS	52.020	300 h / 12,8 W	200
HAK	130.059	360 h / 5,8 W	272
Zähler	502.500	170 h / 3,9 W	333
*Annahmen des Netzbetreibers		Summe	1.036



Netzbetreiber schätzen die Sicherungsverluste z. B. anhand der Betriebsstunden bei Bemessungsleistungsabgabe der Sicherungen (Volllaststunden).

Die geschätzte Verlustrarbeit der Sicherungen im Verteilungsnetz der Stadt entspricht etwa dem Jahresverbrauch von 330 Haushalten à 3.000 kWh. Davon entfällt etwa ein Drittel auf den Zählerplatz.

Netzverlustenergie anteilig

% der eingespeisten Energie (1.300 GWh)	Stromverteilungsnetz (Mittel- und Niederspannung)		Niederspannung	
	Stromverteilungsnetz (Mittel- und Niederspannung)		Niederspannung	
Transformatoren	23,3 GWh	1,8 %	15,8 GWh	1,2 %
Kabel	26,3 GWh	2,0 %	21,4 GWh	1,7 %
Sicherungen	1,0 GWh	0,1 %	1,0 GWh	0,1 %
Summe	50,6 GWh	3,9 %	21,2 GWh	2,9 %



Die Sicherungsverluste sind klein gegenüber den Verlusten anderer Betriebsmittel im Stromverteilungsnetz. Sicherungen benötigen für den zuverlässigen Schutz des Energieverteilungsnetzes nur etwa ein Tausendstel der im Netz verteilten Energiemenge.

Rechnerische Ermittlung der Verluste

- **Berechnung aus Verbrauchsdaten (1/4 h) und Standardlastprofil des VdEW**
- **Berechnung bei symmetrischer und unsymmetrischer Lastaufteilung**
- **Vergleich verschiedener Schutzelemente**
- **Vergleich der Sicherungsverluste deutscher Produkte gegenüber maximal zulässigen Normwerten**



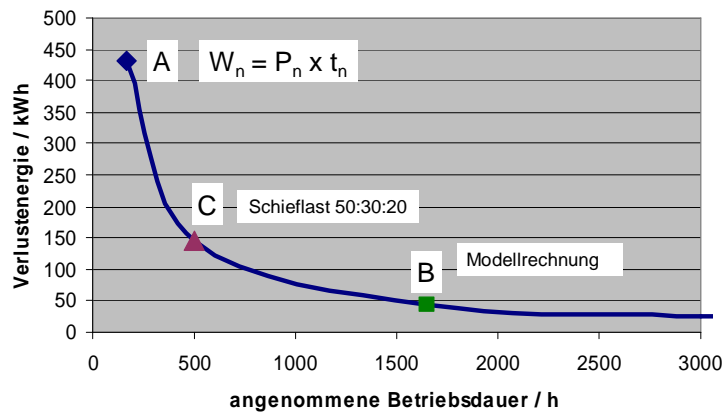
Die vorliegende Arbeit geht von den viertelstündlich erfassten Jahresverbrauchswerten einer Wohnsiedlung und dem Standardlastprofil des VdEW aus und versucht auf dieser Basis eine Hochrechnung auf ein Stadtgebiet und die Bundesrepublik.

Absolutwerte sind nach wie vor mit großer Unsicherheit behaftet.

Aufschlussreich sind dagegen die vergleichenden Betrachtungen der Verluste verschiedener Schutzelemente, welche den Rahmen möglicher Energieeinsparungen abstecken.

Ein Vergleich mit den Annahmen des Netzbetreibers zu den Verlusten der Schutzelemente ist ebenfalls aufschlussreich.

Die Zeitbasis bestimmt das Ergebnis



A) Berechnet man die Sicherungsverlustenergie W_n unter der Annahme konstanter symmetrischer Last aus P_n und der entsprechend kürzest möglichen Betriebsdauer t_n : $W_n = P_n \times t_n$, erhält man das absolute Maximum. (Annahme: Der gesamte Jahresverbrauch des Anschlusses wird mit symmetrischer Nennlast innerhalb von 170 h geliefert.

B) Die Rechenergebnisse aus den viertelstündlich ermittelten Verbrauchswerten liegen deutlich niedriger und entsprechen einer Betriebsdauer von 1.650 h bei entsprechend niedrigerer konstanter Last. Dieser Wert ist wahrscheinlich zu optimistisch, da er den Lastverlauf innerhalb des Viertelstundenintervalls vereinfacht und keine Unsymmetrien berücksichtigt.

C) Bei unsymmetrischer Verteilung der Last auf die drei Phasen können die Verluste rasch auf ein Mehrfaches ansteigen.

Fazit: Die absoluten Verlustenergiewerte lassen sich aus den Verbrauchsdaten nur innerhalb einer relativ großen Schwankungsbreite bestimmen. Dagegen sind Vergleichswerte zwischen verschiedenen Schutzelemente durchaus möglich.

Daten eines Stadtnetzes

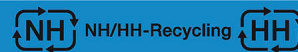
- **Etwa 245.000 Einwohner**
- **Jahresverbrauch 1.300 GWh**
- **709 Ortsnetzstationen**
- **43.353 Hausanschlüsse**
- **167.500 Zählerstellen**
- **Anzahl der Sicherungen in**

▪ Ortsnetzstationen:	21.270
▪ Kabelverteilerschränken:	52.020
▪ Hausanschlüssen:	130.059
▪ Zählerplätzen:	502.500



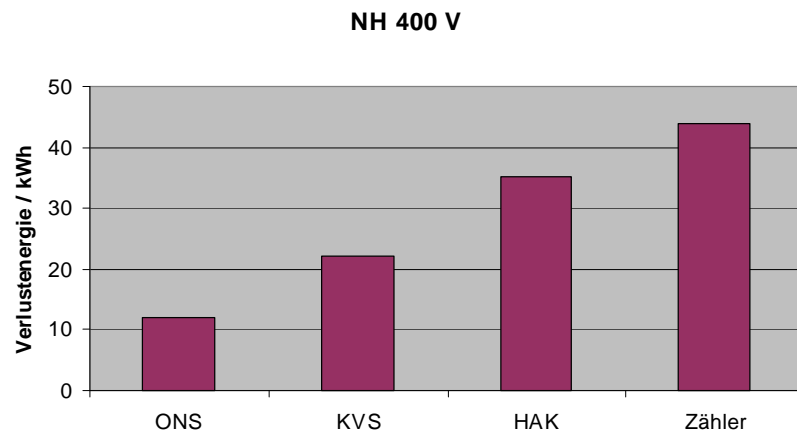
Sicherungen im Teilnetz

Einbauort	Einsätze x Bemessungsstrom	Anteil
Ortsnetztrafos	60 x 200 A NH 1	4,1 %
Kabelverteiler	126 x 160 A NH 1	8,5 %
Hausanschluss	48 x 80 A NH 1	3,3 %
Hausanschluss	363 x 63 A NH 00	24,6 %
Vorzähler	876 x 35 A NH 00	59,5 %
		100 %



Fast 90 % der Schutzeinrichtungen befinden sich im Hausanschluss und im Vorzählerbereich. Diesen Stellen im Netz kommt deshalb besondere Bedeutung zu, wenn die Verluste von Schutzeinrichtungen betrachtet werden.

Verlustenergie aus Modellrechnung

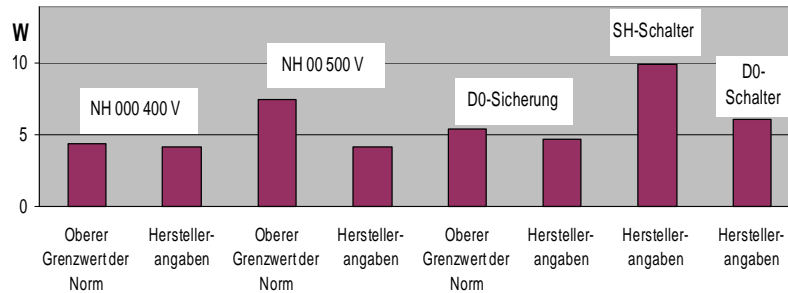


Die Verlustenergie gewinnt an Bedeutung, je näher die Sicherung am Verbraucher ist.



Leistungsabgabewerte von Schutzeinrichtungen im Hausanschluss

Bemessungsleistungsabgabe $I_N = 63 \text{ A}$



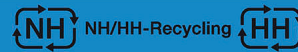
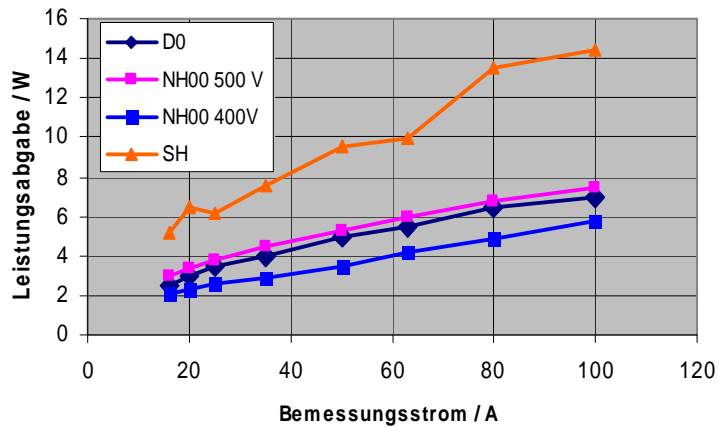
In Deutschland galt früher eine maximale Bemessungsverlustleistung von 7,5 W für 100 A-Sicherungen 500 V der Baugrößen NH 00 und NH 000. Mit der Harmonisierung der IEC 60269 wurde die Baugröße NH 00 auf 160 A und die zulässige maximale Leistungsabgabe auf 12 W erhöht. Dieser Wert gilt für 400 V-Sicherungen wie für 500 V-Sicherungen.

NH 00-Sicherungen dürfen im Rahmen der Norm sowohl bei der Bemessungsspannung 400 V als auch bei der Bemessungsspannung 500 V deutlich höhere Leistungsabgaben haben als in Deutschland üblich. Bei der Baugröße NH 000 wurden die Normwerte dem erzielbaren technischen Optimum angepasst.

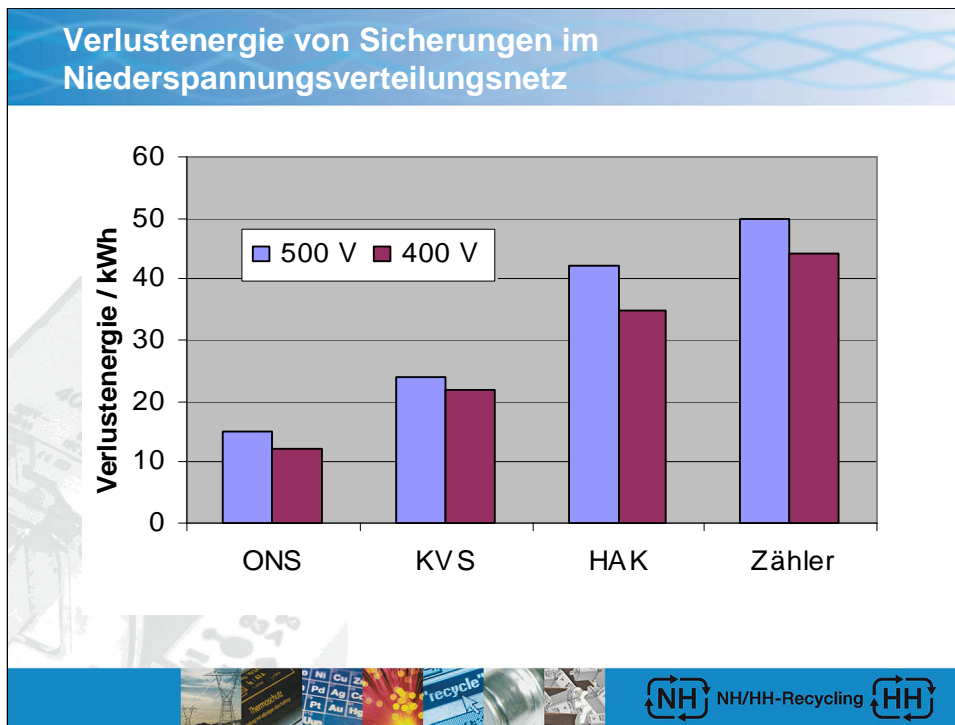
Die deutschen Hersteller haben die Leistungsabgabewerte bei den Baugrößen NH 00 und NH 000 in der Regel auf das niedrigere Niveau der 400 V-Sicherungen gesenkt.

Die Leistungsabgabe von SH-Schaltern liegen deutlich über denen von Schmelzsicherungen.

Bemessungsleistungsabgabewerte -Schutzelemente im Vergleich



Im Hausanschluss und Vorzählerbereich werden überwiegend Schutzelemente mit Bemessungsströmen bis 100 A eingesetzt. Da hier die größte Anzahl von Schutzelementen installiert ist, summieren sich auch kleine Unterschiede in der Leistungsabgabe zu merklichen Unterschieden im Energieverbrauch. Ein zusätzlicher Faktor ist die Haushalte typische unsymmetrische Last.

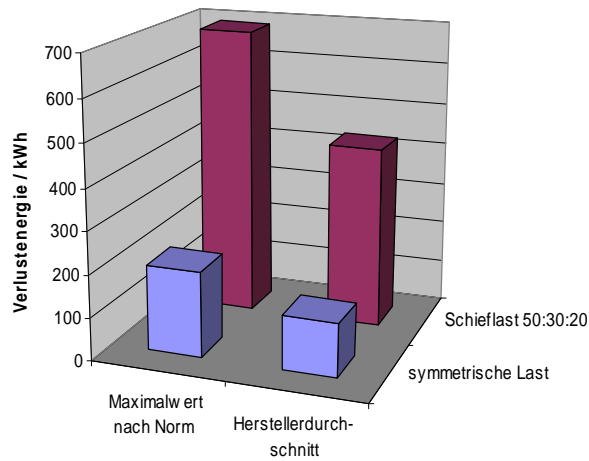


Ergebnisse der Teilnetzberechnung HTEE.

Basis: Durchschnittliche Leistungsabgabewerte deutscher Hersteller.

Der Ersatz von 500 V-Sicherungen durch 400 V-Sicherungen bringt keine großen Einsparungen, da die deutschen Hersteller generell sehr verlustarme Sicherungen anbieten.

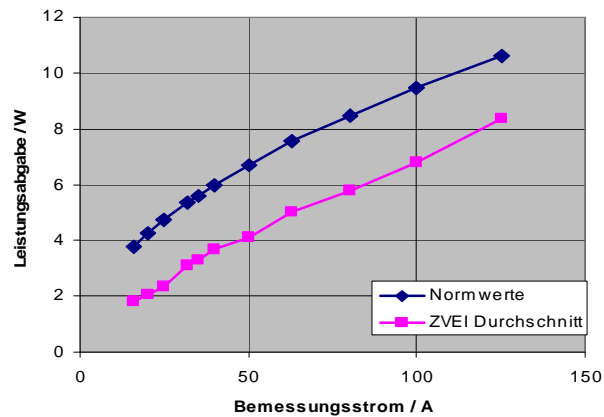
Verlustenergie von NH-Sicherungen



Die Leistungsabgabewerte der NH-Sicherungseinsätze deutscher Hersteller liegen deutlich unter den nach Norm zulässigen Werten. Bei konsequenter Verwendung von NH-Sicherungseinsätzen deutscher Hersteller können die Arbeitsverluste um etwa 40 % gegenüber den nach Norm zulässigen Sicherungsverlusten gesenkt werden. Besonders stark wirkt sich das im Hausanschluss- und Zählerbereich aus, wo mit Schieflast zu rechnen ist.

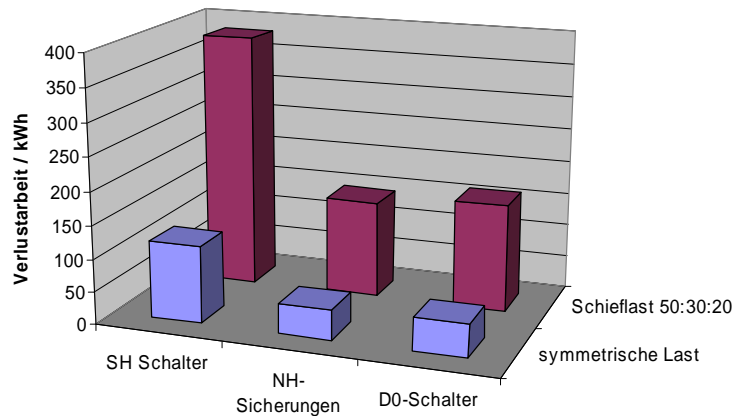
(HTEE Berechnung Stadtbezirk)

Verlustarme NH00 Sicherungen



Die Leistungsabgabewerte von NH Sicherungen deutscher Hersteller liegen auf Grund langjähriger Forderungen der Netzbetreiber und hohen Wettbewerbsdrucks je nach Bemessungsstrom etwa 30 bis 50 % unter den Grenzwerten der harmonisierten IEC Norm. Mit diesen Sicherungen wird ein absolutes Minimum der Verlustenergie an den wichtigen Einsatzorten Hausanschluss und Vorzählerbereich erzielt.

Verlustrarbeit im Vorzählerbereich

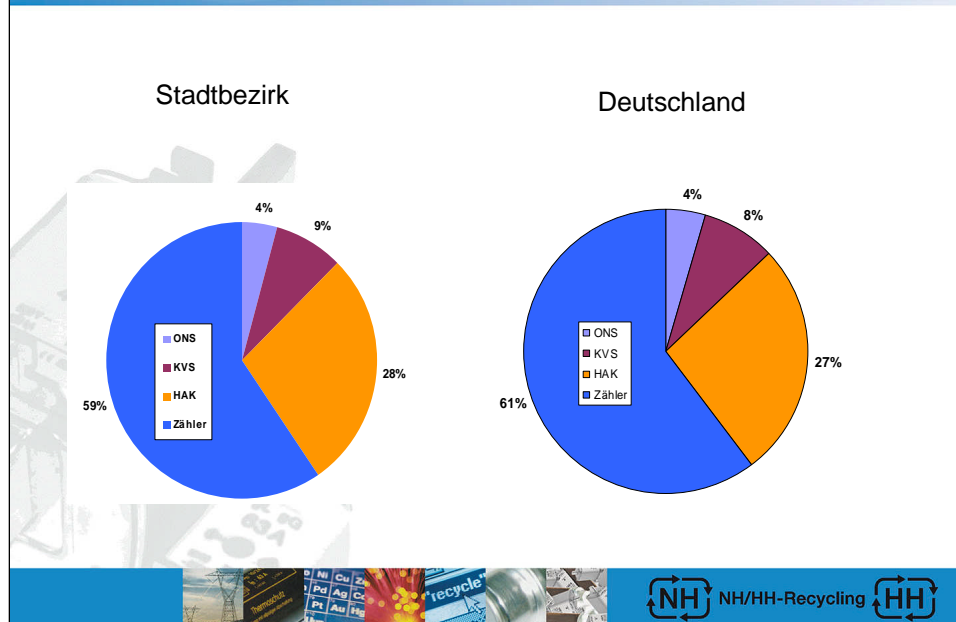


SH-Schalter verbrauchen etwa 2,5 mal so viel Energie wie NH- oder D0-Sicherungen. Bei unsymmetrischer Belastung wirkt sich dieser Unterschied besonders aus, da die Verlustrarbeit sich bei einer ungleichen Aufteilung auf die Außenleiter noch einmal deutlich erhöht, z. B. um etwa Faktor 3,3 bei einer Ungleichbelastung der Außenleiter von 50:30:20.

(HTEE Berechnung Stadtbezirk, Vorzählerbereich)



Anteilige Sicherungsverwendung

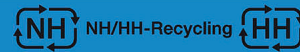


Während der Bezirk für die Stadt nicht unbedingt repräsentativ ist, stimmt die Sicherungsverwendung mit dem Land recht gut überein. Eine Hochrechnung der Ergebnisse aus dem Bezirk scheint deshalb zulässig.

Quelle: HTEE Bericht

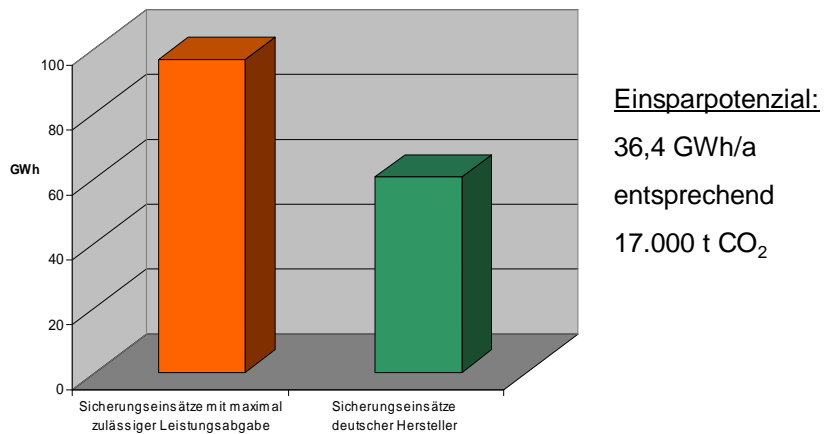
Sicherungen im Teilnetz und Deutschland

Einbauort	Teilnetz	Deutschland
ONS	60	290.161
KVS	126	906.547
HAK	411	17.742.413
Zähler	876	39.722.000



Basis der Hochrechnungen

Verlustenergie hochgerechnet auf Deutschland



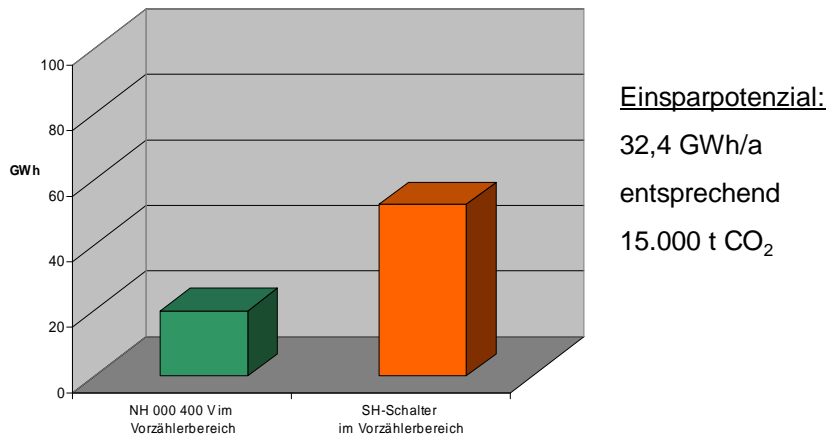
NH/HH-Recycling

Dieses Einsparpotenzial entspricht dem Jahresbedarf von ca. 10.000 deutschen Haushalten à 3550 kWh.

CO₂-Werte entsprechen Jahresdurchschnitt 2009.

Basis: Teilunsymmetrische Last im Verhältnis 50:30:20

Verlustenergie hochgerechnet auf Deutschland



 NH/HH-Recycling 

Der konsequente Einsatz verlustarmer Sicherungseinsätze NH 000 deutscher Hersteller könnte gegenüber der Verwendung von SH-Schaltern Einsparungen ergeben, die dem Strombedarf von ca. 9.000 deutschen Haushalten entsprechen.

Basis: Teilunsymmetrische Last im Verhältnis 50:30:20

Zusammenfassung 01

- **Schmelzsicherungen tragen nur in geringem Maße zu den Netzverlusten bei:**
 - Ca. 3 % der Verluste des Stromverteilungsnetzes
 - Ca 0,1 % der transportierten Energie
- **Rechnungen aus Verbrauchsmessungen ergeben je nach Verbrauchsintervall erhebliche Abweichungen bei der Verlustabschätzung**



Zusammenfassung 02

- **Vergleichrechnungen sind zulässig und ergeben ein deutliches Energieeinsparpotenzial**
 - durch konsequenten Einsatz verlustarmer Sicherungseinsätze und
 - durch die Verwendung von Schmelzsicherungen an Stelle von elektromechanischen Schaltern.
- **Das Energieeinsparpotenzial in deutschen Stromverteilungsnetzen entspricht dem Strombedarf von 10.000 bis 20.000 Haushalten.**

