

# SmartDCGrid – Verlustgegenüberstellung eines AC & DC Haushaltes

**Markus HEIMBERGER, Michael CHOCHOLE, Franz ZEILINGER, Thomas  
KAUFMANN, Alexander WINTER, Wolfgang GAWLIK**

Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe,  
Gusshausstraße 25, 1040 Wien, +43 58801 370130, markus.heimberger@tuwien.ac.at,  
www.ea.tuwien.ac.at

## **Kurzfassung:**

In dem Forschungsprojekt SmartDCGrid werden regional beschränkte Niederspannungsnetzabschnitte analysiert. Für Haushaltsgeräte wird evaluiert wie hoch das Einsparungspotential der Umwandlungsverluste von AC/DC gegenüber DC/DC bei einer Umrüstung mit heute verfügbaren Geräten ist.

Dafür werden auf Basis eines Musterhaushaltes, zwei Systeme in PowerFactory® modelliert. Ein System stellt einen konventionellen AC-Haushalt und das Andere einen vollwertigen DC-Haushalt dar. Für diese beiden Fälle wurden Lastflussrechnungen im 15min.-Raster über ein Jahr durchgeführt, wobei Leitungsverluste, Wechselrichterverluste und effizientere Wechselrichter im DC-Fall berücksichtigt wurden. Im DC-Fall sind zwei Spannungsebenen berücksichtigt worden. 48 V für Kleingeräte (TV, Laptop, usw.) und 380 V für Großgeräte (Herd, Wasserkocher, usw.), warum diese beiden Spannungsniveaus gewählt wurden ist in [1] erläutert.

Es zeigt sich, dass bei Effizienzen von 91% für die hauseingangsseitigen Gleichrichter der DC-Fall bezüglich der bezogenen Jahresenergie dem AC-Fall gleichwertig ist. Sind die Gleichrichter effizienter, ist der DC-Fall dem AC überlegen, bei geringeren Effizienzen ist es umgekehrt.

**Keywords:** Niederspannungsnetz, Smart Grid, DC-Netz, DC, Haushalt

## **1 Motivation**

Eine Vielzahl der in einem Haushalt vorhanden elektrischen Verbraucher werden intern bereits mit Gleichspannung (DC) betrieben, unter anderem Unterhaltungselektronik oder Beleuchtung. Hierfür ist für jeden Verbraucher eine gesonderte Gleichrichtung der Wechselspannung notwendig. Aus technischer Sicht ist es auch möglich, die derzeit intern mit Wechselstrom betriebenen Geräte (z.B. Kühlschrank, E-Herd, usw.) als Gleichstromgeräte auszuführen.

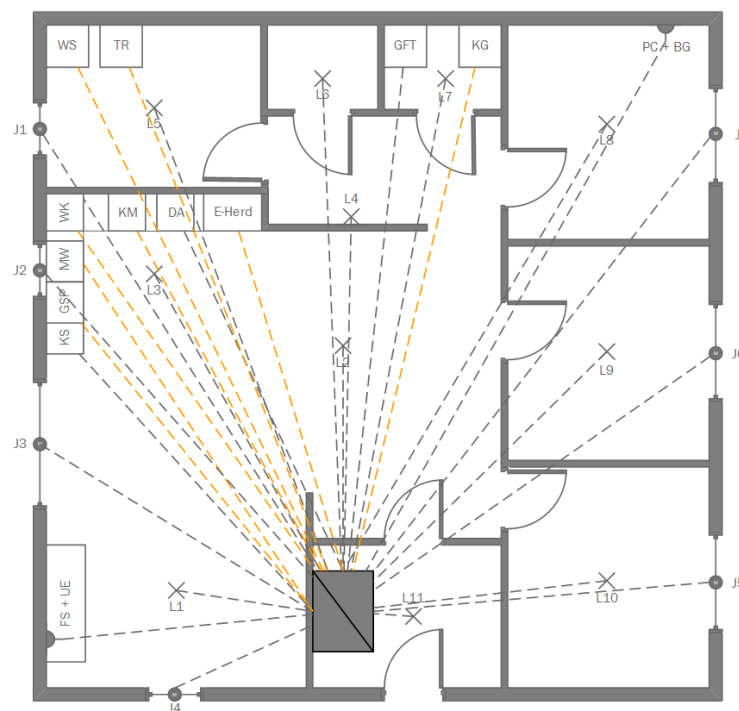
Dies wirft die Frage auf inwieweit ein reiner DC-Haushalt – d.h. DC-Stromsystem und nur DC-Geräte – effizienter ist gegenüber einem derzeit gemischten Ansatz – AC-Haushalt mit teilweiser DC-Geräteausstattung.

Ergänzend sei an dieser Stelle sei auf das Paper [1] verwiesen.

## 2 Methodik

Aufbauend auf statistischen Daten [2] wurde ein Musterhaushalt mit einer Größe von 100 m<sup>2</sup> generiert, siehe Abbildung 1. Bei der Elektroinstallation handelt es sich um ein Bussystem, das von einem zentralen Verteilerkasten ausgeht, wobei Kabelquerschnitte von 2,5 mm<sup>2</sup> verwendet werden.

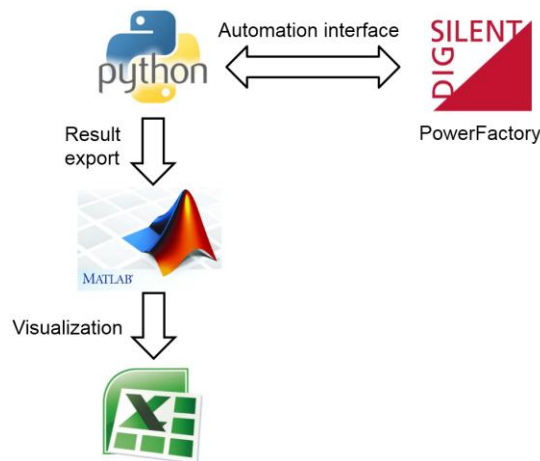
Im Falle einer Versorgung mit Wechselspannung wird in Abhängigkeit des Verbrauchers ein ein- oder dreiphasiges System mit 230 V oder 400 V zugrunde gelegt. Wobei nur der Herd und die Kochplatten dreiphasig angeschlossen sind, alle anderen Verbraucher werden einphasig betrieben. Im DC-Haus wird zwischen einem 48 V und 380 V System unterschieden. Die Spannung von 48 V kommt bei Kleinverbrauchern wie Computern, Unterhaltungselektronik, Beleuchtung, usw. zum Einsatz. Die 380 V Spannung wird für größere Verbraucher wie Elektroherd, Waschmaschine und dergleichen verwendet. Eine detailliertere Ausführung zu den Spannungsniveaus ist unter [1] gegeben.



**Abbildung 1: Musterhaushalt; 48 V (grau), 380 V (gelb)**

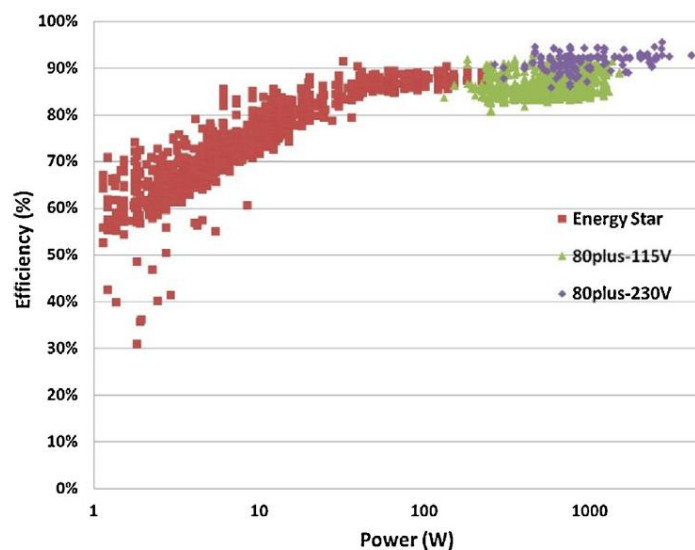
Die beiden Modelle (AC, DC) sind in DlgSILENT-PowerFactory® modelliert, via Python® werden die Lastflussberechnungen automatisiert, wobei im Raster von 15 min. für einen Horizont von einem Jahr gerechnet wird. Um jeden einzelnen Geräteinsatz bestmöglich nachbilden zu können werden synthetisch generierte Profile verwendet [3], diese Profile werden von Python für jeden Zeitpunkt und jedes Gerät gesetzt und dann eine Lastflussrechnung in PowerFactory® angestoßen, anschließend werden die Ergebnisse in Python zurück gelesen. Die Visualisierung erfolgt in MATLAB® und Excel® (siehe Abbildung 2). Im AC-Fall wurden unsymmetrische Lastflussrechnungen durchgeführt, wobei die Lasten zufällig auf die einzelnen Phasen aufgeteilt sind. Orte an denen häufig mit Steckerleisten die

Dosenzahl erhöht wird, sind immer einer gemeinsamen Phase zugeordnet. Zum Beispiel sind im Wohnzimmer Fernseher, Set-Top-Box, Hifianlage, usw. an einer Phase angeschlossen, gleiches gilt im Bürobereich für Desktop-PC, Monitor und Drucker.



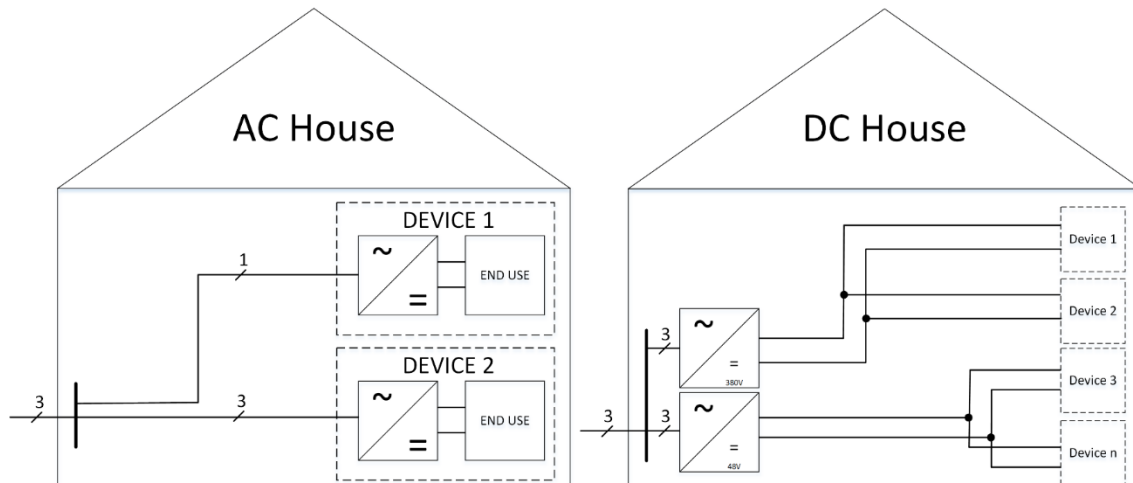
**Abbildung 2: Wechselspiel der Softwaretools für Automatisierung**

Systemverluste werden als Schlüsselparameter für den Vergleich der beiden Haushalte herangezogen, wobei darin die Leitungsverluste als auch die Verluste in den AC/DC-Wechselrichtern bzw. DC/DC-Stellern miteinbezogen werden. Zusätzlich wurde die „Effizienzverbesserung“ der Geräte im DC-Fall aufgrund der wegfallenden dezentralen Gleichrichter beachtet. Angenommen ein Laptop verbraucht 125 W, wobei das externe Netzteil einen Wirkungsgrad von 80% besitzt (siehe Abbildung 3), dann verbraucht der Laptop an sich nur 100 W und die zusätzlichen 25 W sind Verluste die im Netzteil anfallen. Diese 100 W anstelle der 125 W stellen im DC-Fall die Anschlussleistung für diesen einen Zeitpunkt dar. Für Kleingeräte wurde gemäß [4] ein durchschnittlicher Gleichrichterwirkungsgrad von 80% angenommen. Bei Großgeräten (Herd, Waschmaschine, usw.) bestehen die Prozesse meist aus Heizvorgängen, hier wurde eine Effizienz von 95% hinterlegt. Somit sind im DC-Fall Kleingeräte um 20% und Großgeräte um 5% effizienter.



**Abbildung 3: AC/DC-Gleichrichtereffizienzen (Quelle: [4])**

Abbildung 4 zeigt die beiden Ansätze AC bzw. DC wie sie im Modell berücksichtigt sind. Links ist der AC-Haushalt mit den dezentralen Gleichrichtern bei „jedem“ Gerät dargestellt. Rechts der DC-Haushalt der nur zwei Gleichrichter hat, einen von  $400\text{ V}_{AC}/380\text{ V}_{DC}$  und einen  $400\text{ V}_{AC}/48\text{ V}_{DC}$ . Beide zentralen Gleichrichter haben eine Effizienz von 91%. Eine nicht berücksichtigte Option wäre, im DC-Fall, aus den  $380\text{ V}_{DC}$  über einen DC/DC-Steller die  $48\text{ V}_{DC}$  zu erzeugen.



**Abbildung 4: Modellgegenüberstellung zwischen AC- (links) und DC-Haushalt (rechts)**

Zusammenfassend werden folgende drei Gegebenheiten für die Gegenüberstellung der beiden Versorgungsoptionen im Modell berücksichtigt:

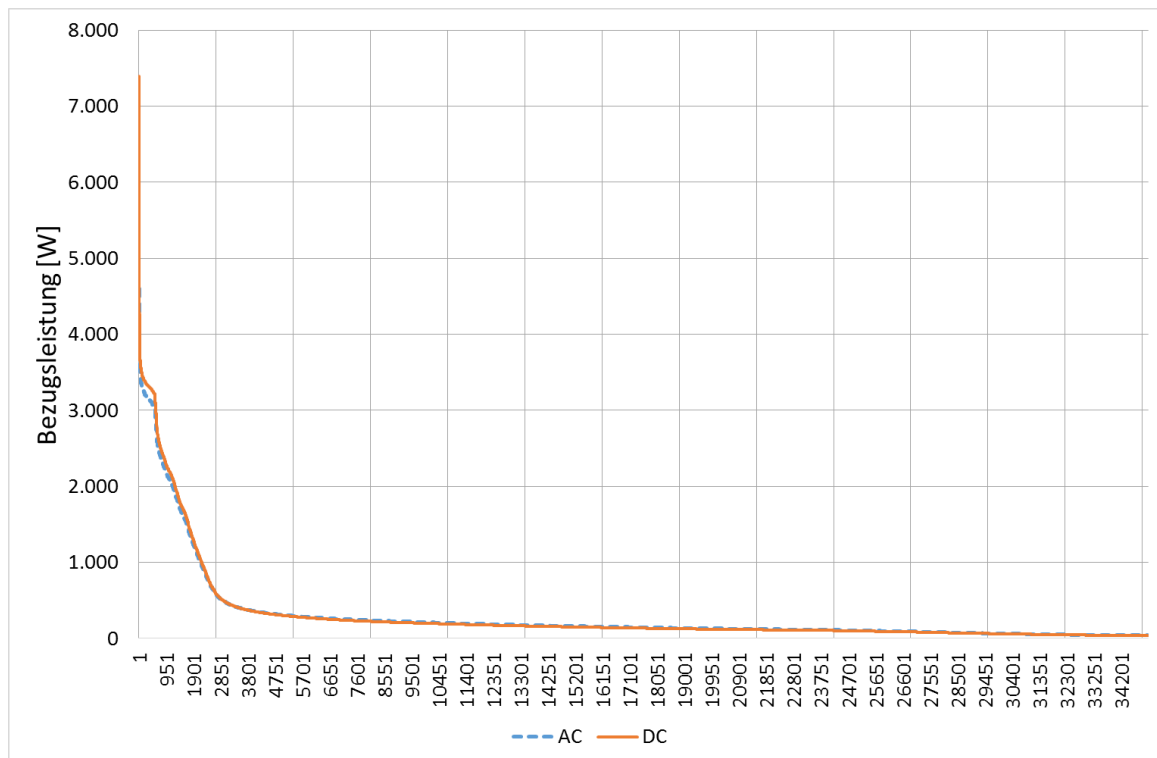
1. Leitungsverluste
2. Hauswechselrichterwirkungsgrade im DC-Fall
3. Effizienzsteigerung der Geräte durch Wegfallen der dezentralen Wechselrichter die im AC-Fall vorhanden sind

### 3 Ergebnisse

Weil der Geräteeinsatz in beiden Fällen (AC, DC) gleich ist, reicht es für die Effizienzgegenüberstellung den „Hausanschluss“ als einzigen Punkt in beiden Systemen zu betrachten. Dabei ist eine Betrachtung aus Leistungsmäßiger und energetischer Sicht interessant.

Abbildung 5 zeigt die Dauerlinie für die Bezugsleistung der beiden Haushalte. Die Werte sind für ein Jahr im 15min. Raster dargestellt. Der AC-Haushalt hat eine Maximalleistung von ca.  $7.000\text{ W}$ , der DC-Haushalt ist diesem mit ca.  $7.400\text{ W}$  benachteiligt. Dies ist die Folge von zwei Effekten. Einerseits werden im DC-Fall die Geräteleistungen, wie zuvor schon beschrieben, durch das Wegfallen der Wechselrichter effizienter, es kommen jedoch die Verluste durch die beiden zentralen Wechselrichter hinzu. Im Übergang von AC auf DC bedeutet das für den Bereich der Kleingeräte, eine Verbesserung von 20% (80% dezentrale Wechselrichtereffizienz) und Verschlechterung um 9% (91% zentraler Wechselrichterwirkungsgrad), insgesamt ergibt sich eine Verbesserung. Bei Großgeräten

ergibt sich eine Verbesserung um 5% (95% dezentrale Wechselrichtereffizienz) und Verschlechterung um 9% (91% zentraler Wechselrichterwirkungsgrad), insgesamt ergibt sich eine Verschlechterung. Weil größtenteils die Großgeräte für die hohen Bezugsleistungen verantwortlich sind, überwiegen die Nachteile im DC-System und es kommt zu einer größeren Anschlussleistung.



**Abbildung 5: Leistungsmäßige Gegenüberstellung (Dauerlinie) für ein Jahr im 15min. Raster bezüglich Bezugsleistung**

Abbildung 6 ist mit Abbildung 5 identisch, es ist lediglich die Y-Achse nur von 0-1.000 W dargestellt. In diesem Leistungsbereich sind vorwiegend Kleingeräte in Betrieb. Es ist zu erkennen, dass hierbei der DC-Fall geringere Bezugsleistungen aufweist.

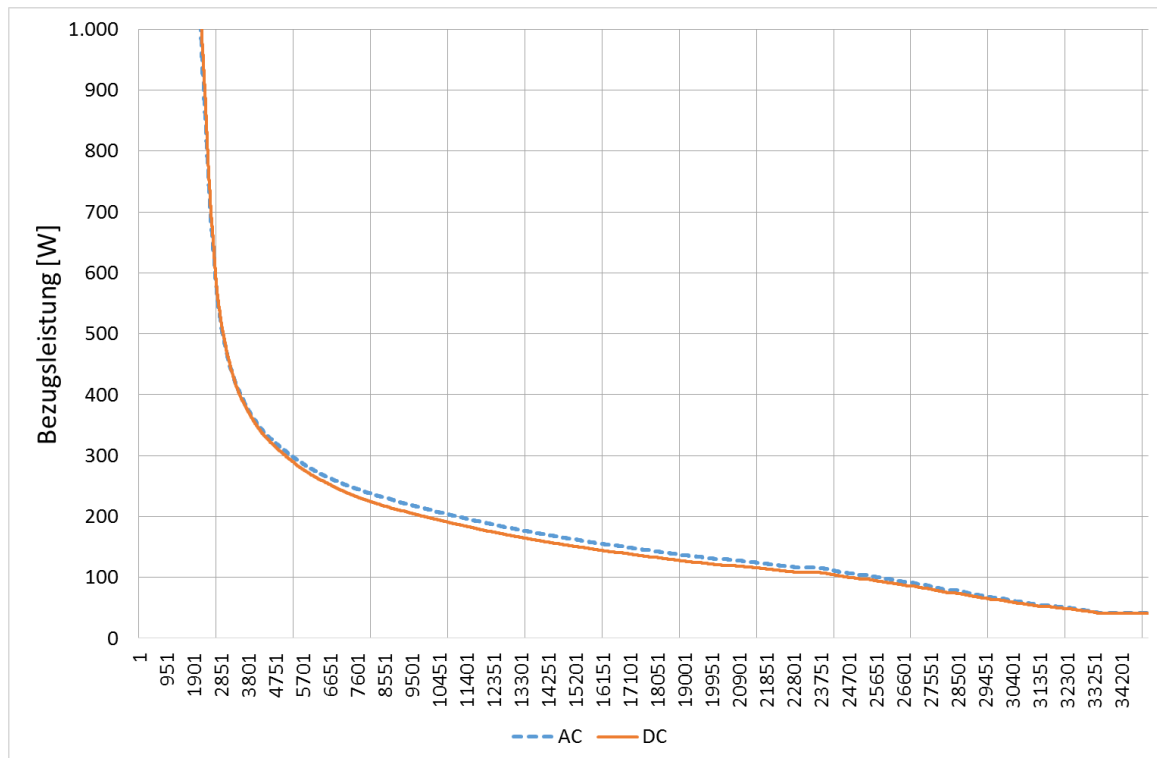
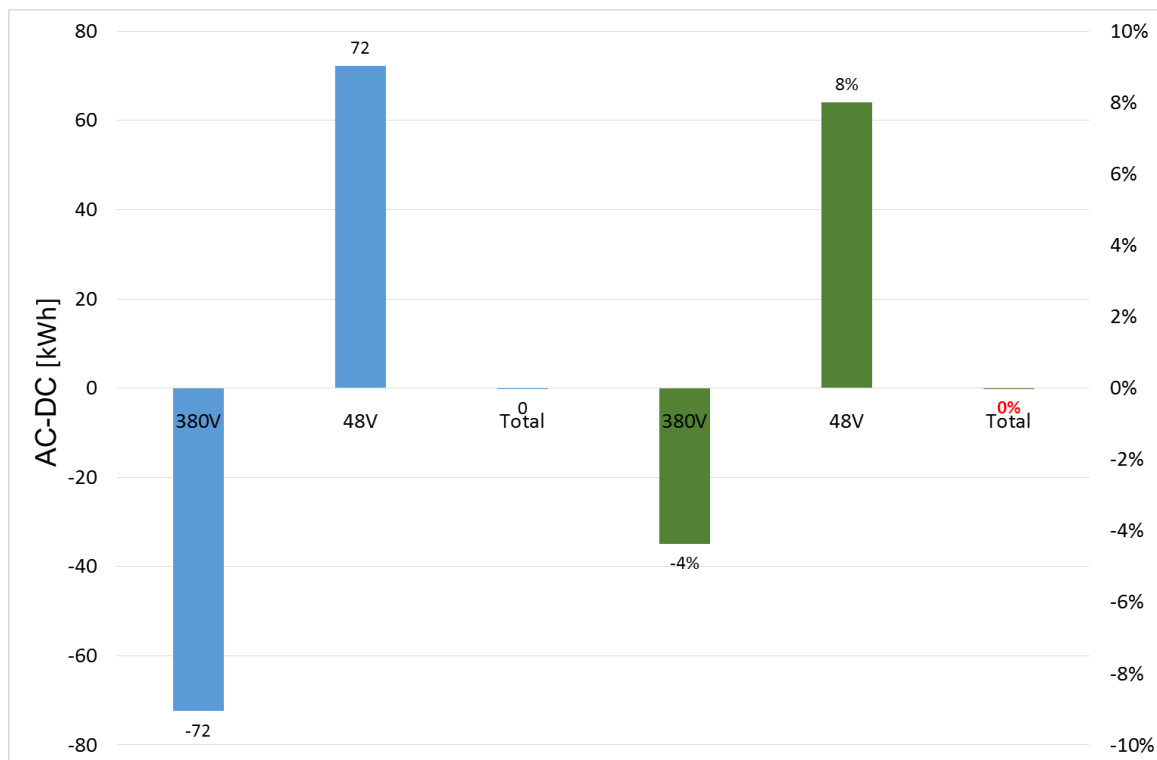


Abbildung 6: Auszug aus Abbildung 5 mit begrenzten Y-Achse von 0 - 1.000 W

Es stellt sich die Frage, wie sich diese beiden gegenläufigen Effekte, der Bevorzugung des AC-Falles für große Leistungen und der Begünstigung des DC-Falles für kleinere Leistungen, auf Jahresenergie auswirken.

Insgesamt verbrauchen die Haushalte ca. 2.500 kWh/a. Im Großgerätebereich ist der DC-Fall mit einem Mehrverbrauch um 72 kWh schlechter, dies entspricht 4% der durch Großgeräte bezogenen Energie. Der Kleingerätebereich ist hingegen um 72 kWh, bzw. 8% bezogen auf die gesamte durch Kleingeräte bezogene Energie, besser. Bezogen auf den gesamten Jahresenergieverbrauch (Groß- und Kleingeräte) sind beide Haushalte gleich (siehe Abbildung 7).



**Abbildung 7: Absolute (blau), bzw. relative (grün) Gegenüberstellung des Jahresenergieverbrauchs für Großgeräte (380 V), Kleingeräte (48 V) und den gesamten Verbrauch (Total)**

#### 4 Zusammenfassung, Ausblick

Unter Einbeziehung der Leitungsverluste und der dezentralen und zentralen Wechselrichtereffizienzen kann mit folgenden zugrunde gelegten Werten für die Geräteeffizienzen, bzw. Wechselrichtereffizienzen

- Kleingeräte 80%
- Großgeräte 95%
- Zentrale Wechselrichter 91%

gesagt werden, dass der DC-Fall eine um ca. 5,7% höhere Anschlussleistung als der AC-Fall benötigt. Bezüglich der bezogenen Jahresenergie sind beide Fälle auf Gebäudeebene gleich. Das heißt, wenn zentrale Wechselrichter mit Wirkungsgrade über 91% verwendet werden, ist der DC-Fall besser ansonsten ist es umgekehrt. Steigt der Wirkungsgrad der Zentralwechselrichter über 95% ist der DC-Fall auch von einem Leistungsstandpunkt besser als der AC-Haushalt, weil es auch bei Großgeräten in Summe zu einer Leistungsreduzierung kommt. Übliche PV-Wechselrichter liegen heute meist über 95%. Somit kann angenommen werden, dass die zentralen Wechselrichter im DC-Fall in ähnlichen Effizienzbereichen realisiert werden können. Damit ist der DC-Haushalt dem AC-Haushalt sowohl aus energetischer, als auch leistungsmäßiger Sicht überlegen.

Derzeit sind die Wechselrichtereffizienzen nur statisch mit 91% über den gesamten Betriebsbereich hinterlegt. Reale Wechselrichter haben ein vom Leistungsbereich abhängiges Wirkungsgradverhalten. Um genauere Aussagen treffen zu können, gilt es diese

Abhängigkeiten noch zu implementieren. Vor allem weil die Wechselrichter aufgrund der Gerätelastverteilung oft nur im Teillastbereich betrieben werden.

---

Diese Projekt wird aus Mitteln des Klima und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGY MISSION AUSTRIA“ durchgeführt.

