

SmartDCGrid – Machbarkeit eines Gleichstromniederspannungsnetzes

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

Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe,
Gusshausstraße 25, 1040 Wien, +43 58801 370140, michael.chochole@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, und welche Spannungsebenen sich als brauchbar herausstellen.

Neben verfügbaren oder adaptierbaren Verbrauchern wird auch recherchiert, welche anderen Komponenten für einen Gleichstrombetrieb notwendig sind, wie zum Beispiel Schaltgeräte, Steckverbindungen und Schutzeinrichtungen. Zusätzlich zu der Verfügbarkeit und Adaptionmöglichkeit wird so auch zusätzlicher Forschungsbedarf aufgezeigt, wenn diese Komponenten noch nicht verfügbar sein sollten.

Des Weiteren werden Regelstrategien untersucht, mit denen der Betrieb eines Gleichstromnetzes zur Entlastung des übergeordneten Netzes oder im Falle eines Blackouts ein Inselbetrieb realisiert werden kann.

Eine weitere Fragestellung ist, wie ein Übergang von einem Wechselstrombetrieb in einen Gleichstrombetrieb aussehen kann.

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

1 Motivation

Viele elektrische Verbraucher im Haushaltsbereich und auch im Bürobereich arbeiten geräteintern mit Gleichstrom. Neben Computer, Unterhaltungselektronik sowie moderner Leuchtmittel wird auch in der Antriebstechnik über Frequenzumrichter der Wechselstrom erst in Gleichstrom umgesetzt und dann den Verbrauchern zur Verfügung gestellt. Hinzukommt, dass auch Erzeugungsanlagen wie zum Beispiel Photovoltaik-Anlagen primär Gleichstrom erzeugen und auch die zur Eigenbedarfsoptimierung im Haushalt immer häufiger zum Einsatz kommenden Speicher mit Gleichstrom betrieben werden. Abbildung 1 zeigt exemplarisch wie die Verbraucher, Erzeuger und mögliche Speicher im Niederspannungsnetz mit Wechselspannung betrieben werden.

In ersten Projekten wurden bereits Rechenzentren mit einer Gleichstromversorgung ausgerüstet. Die Fülle der DC-Komponenten legt nahe, im Niederspannungsnetz eine Gleichstromversorgung zu untersuchen.

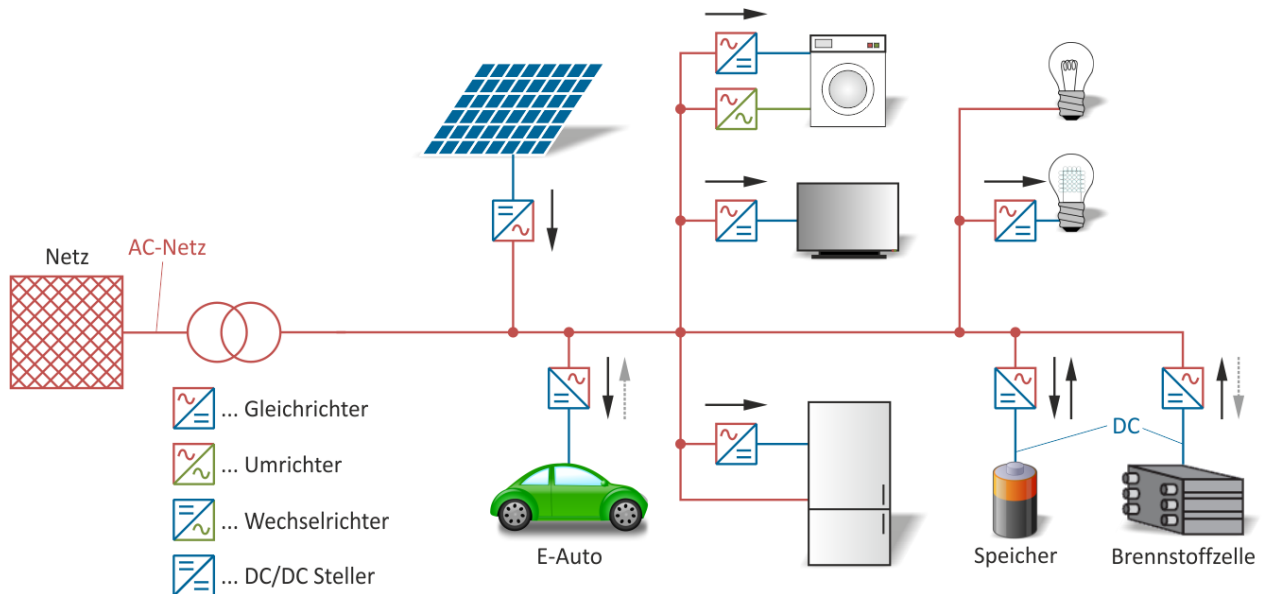


Abbildung 1: AC Versorgung für Haushalte

2 Komponenten

Um einen DC Betrieb eines Niederspannungsnetzes möglich zu machen wird in einem ersten Schritt eine Analyse der verfügbaren Komponenten durchgeführt. Diese Komponenten werden dazu in mehrere Kategorien untergliedert und im Folgenden Diskutiert.

- Verbraucher

Viele Geräte im Haushaltsbereich wie auch in Bürogebäuden, arbeiten wie in der Motivation erwähnt intern mit Gleichspannung so zum Beispiel die Unterhaltungselektronik, Kommunikationsgeräte, Bürogeräte und moderne Leuchtmittel. Nicht nur bei diesen Geräten wird der Wechselstrom zuerst gleichgerichtet und im Anschluss über eine DC-DC Steller auf die benötigte Spannung umgewandelt. Einzig Geräte mit, deren Motor direkt an das Wechselstromnetz angeschlossen ist, bedürfen für den Betrieb an einem DC-Netz einer gewissen Anpassung. Vorstellbar ist, dass für solche Geräte während der Übergangsphase auch dezentrale Wechselrichter zum Einsatz kommen könnten. Es ist aber festzustellen, dass Motoren immer häufiger über Frequenzumrichter angesteuert werden, die auch den Wechselstrom erst gleichrichten und dann wieder in die benötigte Wechselspannung umrichten. Dadurch kann bei vielen Geräten Flexibilität und Effektivität erreicht werden. Langfristig ist eine Umstellung auf DC Motoren ebenso denkbar. Ohmsche Verbraucher die zur Wärmeumwandlung dienen, wie Warmwasserboiler und e-Herde können ohne Probleme mit Gleichstrom versorgt werden.

- Erzeuger

Neben den Verbrauchern im Niederspannungsnetz arbeiten auch die dezentralen Erzeugungsanlagen (Photovoltaik-Anlagen) mit Gleichstrom und könnten in einem DC-Netz

effizienter betrieben werden, wenn der Wechselrichter nicht zusätzlich benötigt werden würde.

- Speicher

Auch bei der immer höheren Durchdringung mit dezentralen Speichern im Niederspannungsnetz sind bei der Umstellung auf ein Gleichstromnetz Effizienzsteigerungen möglich. Alle chemischen Speicher (Batterien und Brennstoffzellen) oder direkte elektrische Speicher (Kapazitäten) liefern primär Gleichstrom und könnten so gut eingebunden werden.

- Sicherungen und Schutz

Bei den Schutzkomponenten besteht ein gewisser Bedarf an Entwicklung. Schmelzsicherungen für den Überstromschutz sind für Gleichstrom erhältlich und werden auch jetzt schon auf der DC-Seite bei PV Anlagen eingesetzt. Fehlerstromschutzschalter hingegen sind aktuell noch nicht verfügbar. Es gibt aber schon Prototypen. Diese werden getestet und noch weiterentwickelt.

- Schalter und Stecker

Auf Grund des fehlenden Nulldurchganges bei Strom und Spannung bei Gleichstrom, ist das Schalten und An- und Abstecken von Geräten etwas schwieriger zu beherrschen, aufgrund des auftretenden Lichtbogens. Für den KFZ-Bereich und auch für Campinggeräte gibt es bereits entsprechende Lösungen. Probleme treten aber bei höheren Spannungen auf. Hier könnte aber bei Steckern zum Beispiel Pilotkontakte zum Einsatz kommen, die ähnlich wie bei Elektroautos das Stecken unter Last verhindern. Schaltgeräte die auch bei höheren Spannungen den Lichtbogen sicher verlöschen lassen (z.B. Hybridschalter mit Halbleiterschalter und Schalterkontakt) sind in Entwicklung und werden für immer höhere Gleichspannungen und -ströme verfügbar.

- Zähler

Die ersten Zähler für elektrische Energie wurden von Edison entwickelt und konnten nur Gleichstrom messen. Aktuell gibt es Zähler für Gleichstrom, die aber noch nicht geeicht werden, was aber einzig ein Problem der Normung ist, als der technischen Machbarkeit.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die notwendigen Komponenten für einen Betrieb entweder schon verfügbar sind, oder durch geringe Anpassungen an einen DC Betrieb angepasst werden könnten, bzw. noch Entwicklungen nötig sind, um verfügbare Prototypen zur Serienreife zu bringen. Dafür wäre eine entsprechende Normung von Vorteil, um den Herstellern die entsprechende Sicherheit zu geben. Theoretisch ist aber eine Umstellung auf ein DC Netz kein Problem.

3 Spannungsebenen

Eine Analyse geeigneter Spannungsebenen führte zu folgenden Werten:

- 48 Volt
- 380 Volt
- ± 380 Volt

Die Ebene 48 Volt hat den Vorteil, dass dieser Wert noch die Schutzkleinspannung darstellt, aber doch höhere Leistungen zulässt als zum Beispiel die 12 Volt von Camping- oder KFZ-Anwendungen. So kann bei bestehender Hausinstallation, die in der Regel mit 16 Ampere abgesichert ist, mit 48 Volt noch eine Leistung von 768 Watt übertragen werden. Dieser Wert sollte für die meisten mobilen Verbraucher, wie auch Unterhaltungselektronik und Arbeitsplatzausrüstung, ausreichend sein. Die Verfügbarkeit von Steckern, Schaltern und Sicherungen für diese Spannungsebene ist bereits heute wesentlich höher oder auch günstiger als für höhere Spannungen.

Die Ebenen 380 Volt und auch ± 380 Volt könnten für Geräte mit höherer Leistung zum Einsatz kommen, oder auch für die Verbindung zwischen mehreren Haushalten. Zum einen entspricht diese Spannung der Zwischenkreisspannung von Frequenzumrichtern, zum anderen hat sich diese Spannung in Datenzentren, die mit DC betrieben werden, schon etabliert. Nachdem die Geräte im Haushalt, die eine höhere Leistung benötigen, meist fest verbaute Geräte sind, könnte für diese zum Beispiel auf Stecker verzichtet werden, um das zuvor erwähnte Problem eines möglichen Lichtbogens zu vermeiden. Dies scheint umsetzbar da auch schon heute zum Beispiel E-Herde direkt mit der Hausinstallation verbunden sind und nicht über einen Stecker verfügen. Verwendung von elektronischen Schaltern für diese Geräte kann auch die Probleme der Lichtbogenlöschung in mechanischen Schaltgeräten lösen.

4 Ausblick und Übergangsszenarien zu einem DC Netz

Dieser Abschnitt zeigt auf, wie ein möglicher Übergang von der aktuellen Versorgung in Haushalten mit Wechselstrom hin zu einer Gleichstromversorgung aussehen könnte. Eine erste Stufe zeigt Abbildung 2

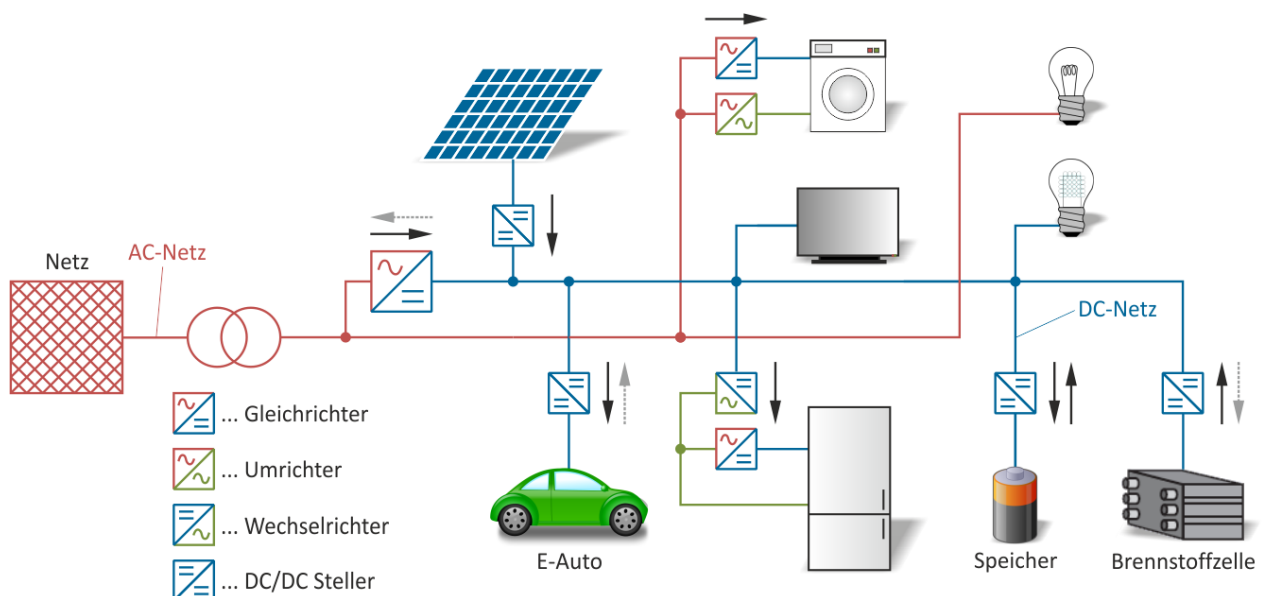


Abbildung 2: AC-DC Hybrid

So ist es zu Beginn zum Beispiel möglich, dass neben dem AC Netz auch das DC Netz parallel betrieben wird. So können die Komponenten die für DC bereits verfügbar sind für ein solches Netz auch effizient verwendet werden und noch nicht verfügbare Geräte weiterhin mit Wechselstrom betrieben werden. Ein zentraler Umrichter/Gleichrichter verbindet das

Gleichstromnetz mit dem Wechselstromnetz. Dabei kann der Energieaustausch zum Beispiel bei der Rückspeisung verhindert oder begrenzt werden, um damit zum Beispiel das überlagerte Netz zu entlasten bzw. nicht weiter zu belasten. Speicher, Erzeuger und Verbraucher benötigen nur DC/DC Steller zur Verbindung mit dem Gleichstromnetz. Beim Kühlschrank in Abbildung 2 ist angedeutet, dass wenn alte Geräte mit Wechselstrom betrieben werden müssen, diese aber am DC-Netz betrieben werden sollte, dies über einen eigenen Wechselrichter für das jeweilige Gerät erfolgen kann.

Kommt es zu einem Black-Out im Wechselspannungsnetz so kann aus dem Speicher oder direkt mit Hilfe der dezentralen Erzeugung wichtige Verbraucher über das Gleichstromnetz versorgt werden, wie dies in Abbildung 3 dargestellt ist.

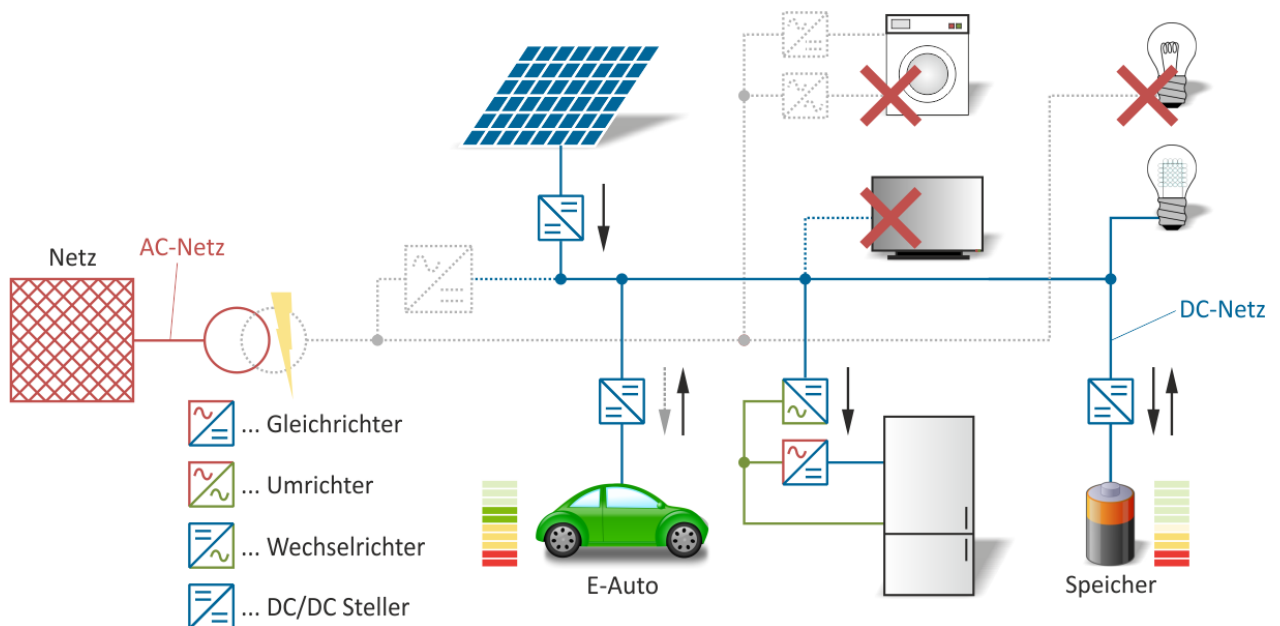


Abbildung 3: AC-DC Hybrid mit Blackout

Abbildung 4 zeigt ein reines DC-Netz, als „Endstation“ des Transformationsprozesses. Auch in diesem Fall ist ein zentraler Gleichrichter/Wechselrichter zur Kopplung an das übergeordnete AC-Netz notwendig. Speicher und Erzeuger sind über DC/DC-Steller mit dem Gleichstromnetz verbunden.

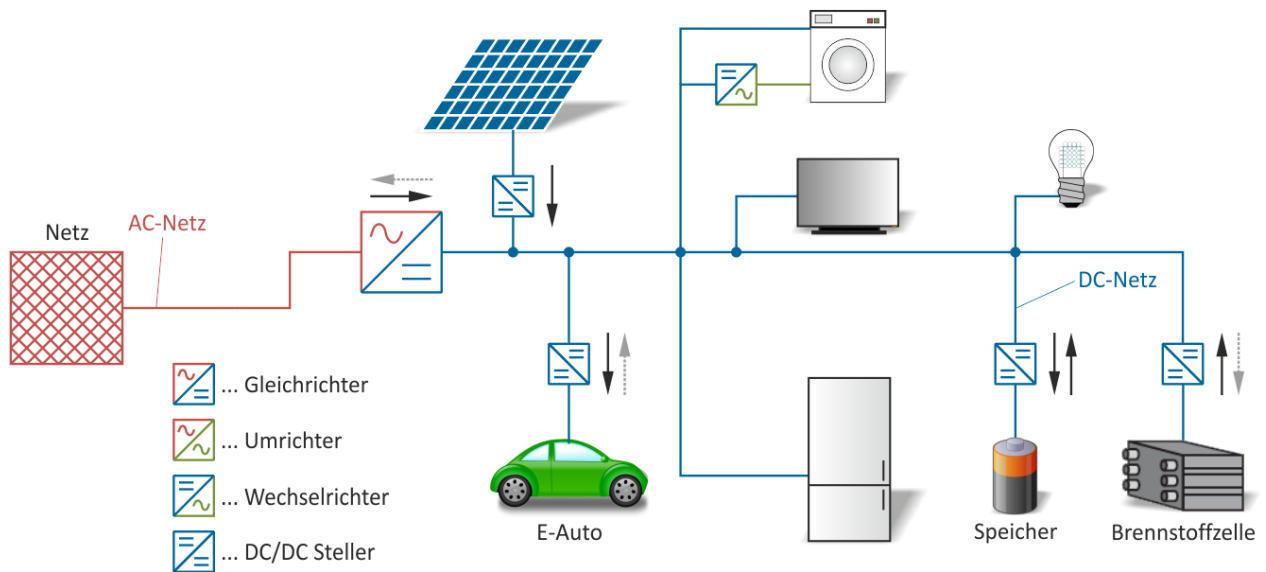


Abbildung 4: Reines DC-Netz

Abbildung 5 zeigt, wie ein DC-Netz im Inselbetrieb aussehen kann. Für den reinen Inselbetrieb ist auch eine entsprechende Regelung von Verbrauch und Einspeisung notwendig, um ein stabiles System zu erreichen. Speicherbewirtschaftung und Lastmanagement werden benötigt, um die volatile Erzeugung auszugleichen. Angedeutet ist dies im Bild durch die Ampeln. Werden die Speicher leer und ist nicht ausreichend Einspeisung vorhanden, so müssen ausgewählte Verbraucher die Leistungsaufnahme einschränken (gelbe Ampel) oder komplett einstellen (rote Ampel). Die Information über die zu verändernde Leistungsaufnahme kann entweder über einen Kommunikationskanal erfolgen oder über die Spannung im Netz zur Verfügung gestellt werden. Das setzt aber auch einen weiten Bereich der Eingangsspannung voraus.

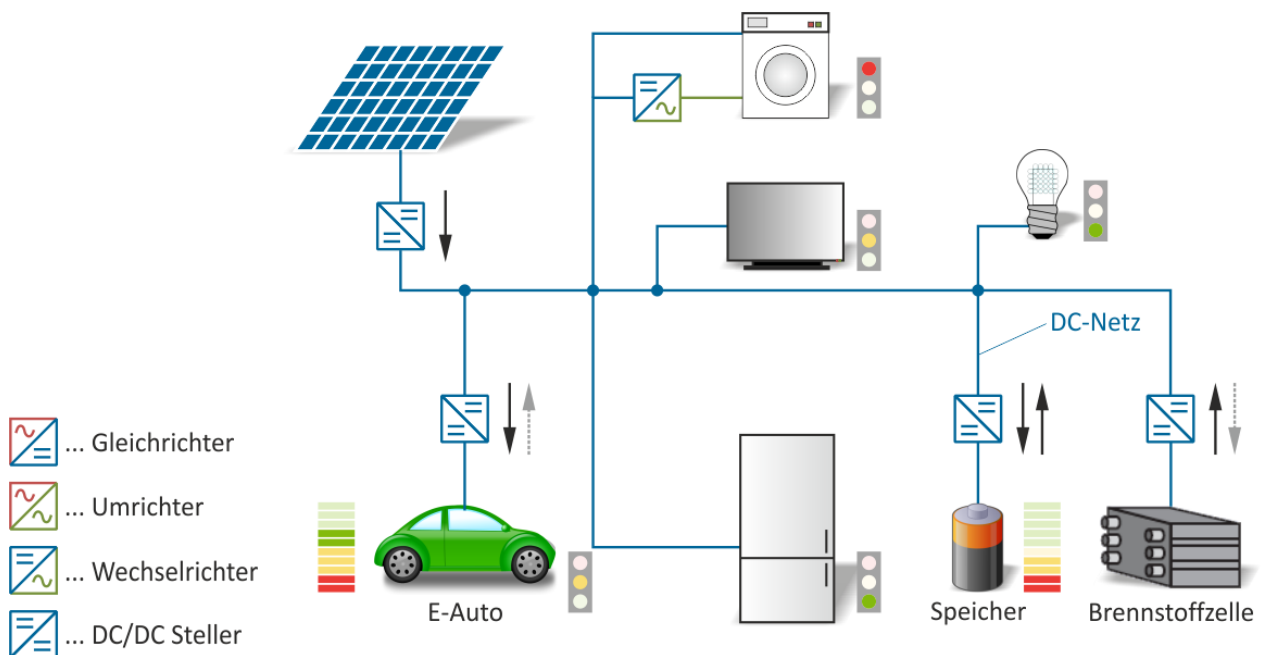


Abbildung 5: DC-Inselnetz

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die derzeit laufenden Arbeiten im Rahmen des Projekts „SmartDCGrid“ zeigten bereits, dass eine Umsetzung einer DC-Versorgung im Haushalts- und Bürosektor bereits heute im Bereich des Möglichen liegt. Durch geeignete Transformationsprozesse könnte das Versorgungssystem sukzessive umgestellt werden.

Offen sind noch die Fragen in Bezug auf mögliche Effizienzgewinne und die wirtschaftliche Betrachtung dieser Transformation. Parallel dazu werden mögliche Betriebsstrategien von DC-Netzen für den netzgekoppelten und den Inselbetrieb anhand von Simulationen entwickelt und getestet. Dies erfolgt basierend auf zwei Modellnetzen, die ein Haushalts-Netz und ein Büro-Netz repräsentieren.

Nach Abschluss des Projekts werden dann fundierte Aussagen zur Machbarkeit und zum Betrieb von intelligenten DC-Verteilnetzen vorliegen.

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

