

**Problem:** Bei der Errichtung von Mobilfunkbasisstationen an entlegenen Standorten mit großer Entfernung zum öffentlichen Energieversorgungsnetz, entstehen typischerweise hohe Kosten für den Netzanschluss. Eine Alternative zum Betrieb dieser Stationen am öffentlichen Netz stellt die im Wesentlichen auf regenerativen Energiequellen basierende energieautarke Versorgung dar.

Im Rahmen des Projekts werden durch die Firma E-Plus mehrere energieautarke Mobilfunkstandorte aufgebaut. Die Energieversorgung wird primär durch eine am Mobilfunkmast montierte horizontallaufende Kleinwindenergieanlage und durch eine zweiachsig nachgeführte Photovoltaikanlage sichergestellt. Eine Hauptkomponente des Systems stellt ein Energiespeicher (Bleibatterie) dar, der den Ausgleich zwischen der gelieferten Energie der Windenergie- und der Photovoltaikanlage und dem Energiebedarf des Mobilfunksystems herstellt. Als Back-Up-System werden zwei parallel arbeitende PEM-Brennstoffzellen eingesetzt, die Energie aus in Flaschenbündeln angeliefertem Wasserstoff bereitstellen, sobald der Energiespeicher einen minimalen Ladezustand unterschreitet.

**Ziel:** Ziel des Projektes ist die Analyse der Betriebsmittelauslastung und der Betriebsstrategien innerhalb der energieautarken Anlagen. Die resultierenden Ergebnisse werden für die Erarbeitung von Auslegungs- und Betriebsstrategien derartiger Systeme genutzt.

Weiterhin wird die Möglichkeit der Einbindung eines Elektrolyseurs zur Erhöhung der Gesamtauslastung der Anlagen untersucht. Der Einsatz des Elektrolyseurs könnte insgesamt einen autarken Betrieb ermöglichen, da Wasserstoff aus überschüssig vorhandener Energie vor Ort hergestellt werden würde und dadurch den angelieferten Wasserstoff ersetzt.

**Lösungsweg:** An den Mobilfunkstandorten werden die energietechnischen Messwerte intern erfasst und dem IEE durch den Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellt. Erfasst und bereitgestellt werden die Leistungen der einzelnen Systemkomponenten sowie die Umgebungsbedingungen, wie die Temperatur, die Globalstrahlung und die Windgeschwindigkeit.

Die Analyse dieser Daten liefert Aussagen über den Betrieb des Systems am gewählten Standort und die Eignung des Standortes selbst. Für die beiden Standorte in Versmold-Loxten und Büren deutet die bisherige Datenauswertung drauf hin, dass die dortigen Standortbedingungen für den Betrieb der Windenergieanlage wenig geeignet sind. Weiterhin ist der geringe Beitrag der Windenergieanlage zum Gesamtenergiebedarf des Systems teilweise auch durch häufige Ausfälle der Anlage, bedingt durch technische Probleme, zu erklären.

*Erarbeitung von Auslegungsstrategien:* Es wurde ein kennlinienbasiertes Modell (Aufbau vgl. Abbildung 1) für einen energieautarken Mobilfunkstandort erarbeitet, welches sich sowohl für die Untersuchung bestehender Standorte eignet, als auch für die Abschätzung geeigneter Anlagenkomponenten (Leistungsklasse beziehungsweise Kapazität) an möglichen weiteren Standorten, wobei die dort vorherrschenden Umgebungsbedingungen (Windgeschwindigkeit,

---

Temperatur und Globalstrahlung) als Eingangsgrößen verwendet werden.

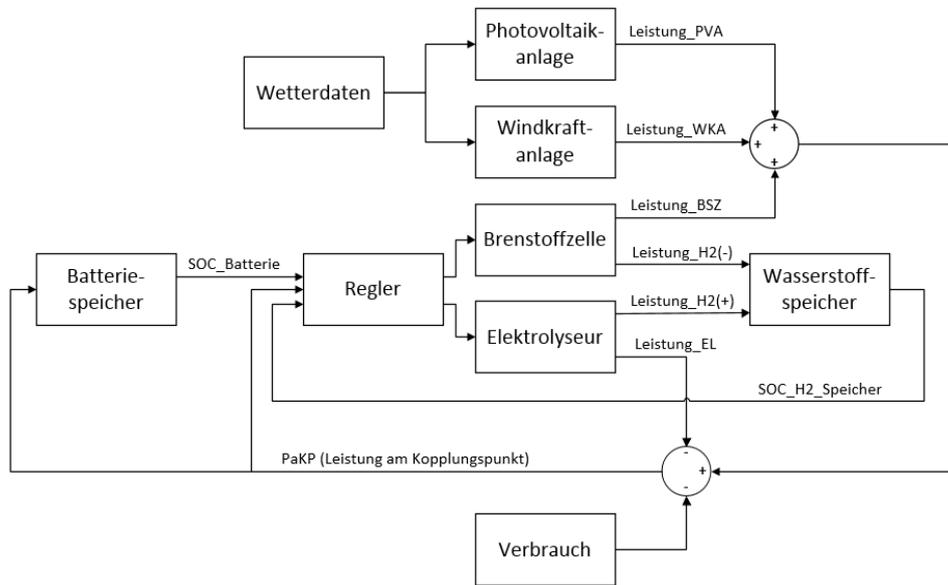


Abbildung 1: Aufbau des kennlinienbasierten Modells zu Auslegung von energieautarken Mobilfunkbasisstationen (Projektarbeit Tkalcec, Erichsen, IEE 2015)

Abbildung 2 zeigt die Leistungsverläufe für eine Systemauslegung mit etwa gleicher installierter Leistung von Photovoltaik und Windenergieanlage. Der Elektrolyseur wird zur Speicherung überschüssiger Energie in Form von Wasserstoff in der Übergangszeit betrieben.

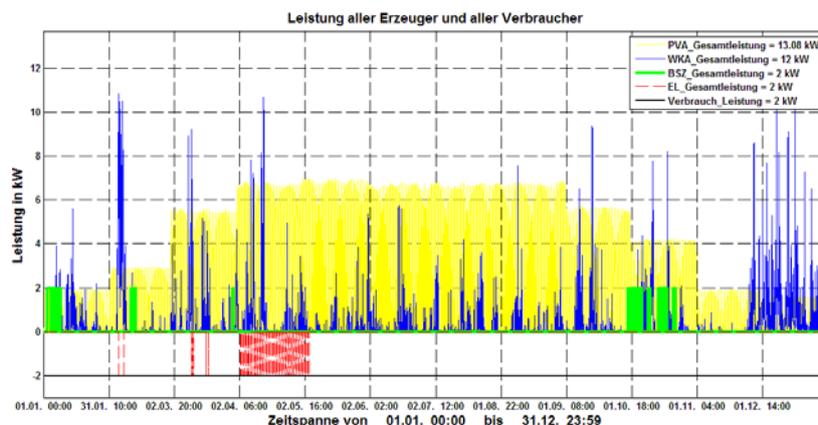


Abbildung 2: Zeitverläufe der Leistung der verschiedenen Systemkomponenten für eine beispielhafte Auslegung mit Einsatz eines Elektrolyseurs (Projektarbeit Tkalcec Erichsen, IEE 2015)

*Bewertung von Betriebsstrategien:* Es wurde ein energiemengenbasiertes Modell erarbeitet, welches für die Bewertung der verwendeten und die Erarbeitung neuer Betriebsstrategien geeignet ist. Derzeit wird ein weiteres kennlinienbasiertes Modell für diesen Zweck anhand realer Betriebsdaten der Standorte verifiziert.

In Tabelle 1 sind die Kennzahlen verschiedener Betriebsstrategien aufgeführt, die sich im Wesentlichen durch den Betriebsbereich der Batterie und die zugeordneten Schaltkriterien der Brennstoffzelle unterscheiden.

Tabelle 1: Kennzahlen verschiedener betrachteter Betriebsstrategien

Strategie	Start SoC Batterie	Anschaltkriterium Brennstoffzelle	Abschaltkriterium Brennstoffzelle	Leistung Brennstoffzelle
Betrieb A 1	50 %	40 % SoC Batterie	Mindestlaufzeit 30 min und Batterie SoC 53 %	2.300 W
Betrieb A 2	50 %	40 % SoC Batterie	Mindestlaufzeit 60 min und Batterie SoC 53 %	2.300 W
Betrieb A 3	50 %	40 % SoC Batterie	Mindestlaufzeit 20 min und Batterie SoC 53 %	2.300 W
Betrieb A 4	50 %	40 % SoC Batterie	Batterie SoC 80 %	2.300 W
Betrieb A 5	50 %	40 % SoC Batterie	Mindestlaufzeit 30 min und Batterie SoC 53 %	3.200 W (bester Wirkungsgrad)
Betrieb A 6	50 %	30 % SoC Batterie	Mindestlaufzeit 30 min und Batterie SoC 60 %	2.300 W

Abbildung 3 zeigt den Vergleich des Brennstoffzellenbetriebs in den verschiedenen, in Tabelle 1 aufgeführten, Betriebsstrategien. Vorteile ergeben sich für Strategien, in denen die Batterie über einen größeren SOC-Bereich betrieben wird. Dadurch werden der Wasserstoffverbrauch, die Betriebszeit und die Startvorgänge der Brennstoffzelle deutlich reduziert. Gleichzeitig wird die Batterie nur unwesentlich stärker belastet und ungenutzte Überschüsse innerhalb des Systems deutlich verringert.

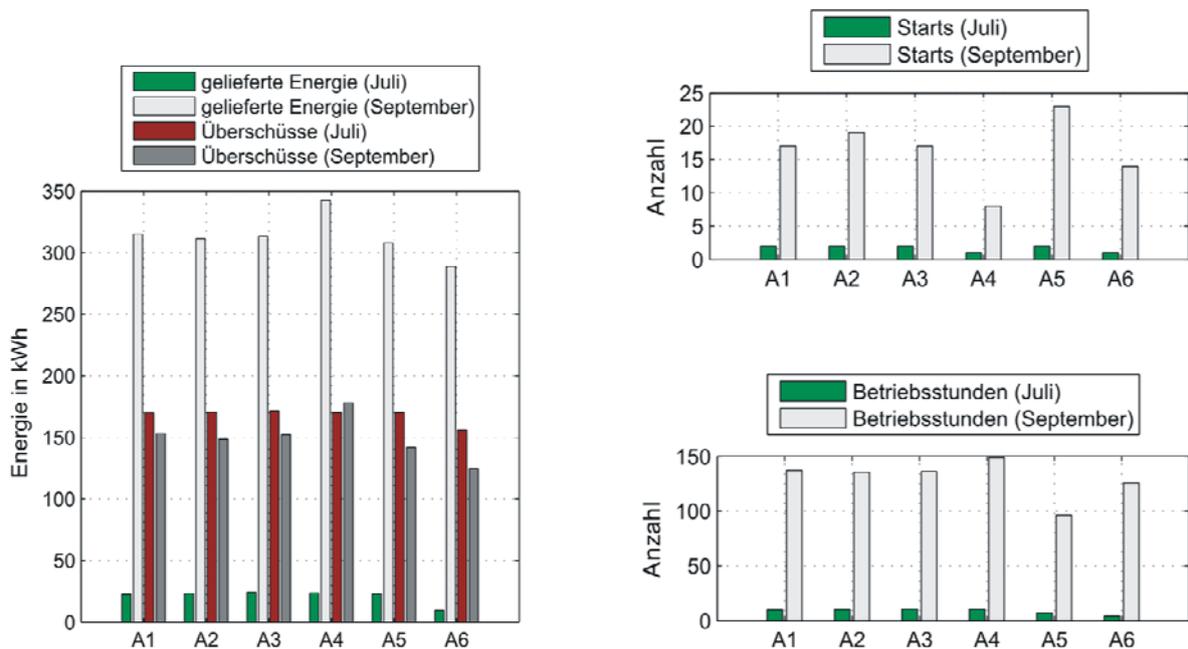


Abbildung 3: Auswertung des Brennstoffzellenbetriebs in den verschiedenen, in Tabelle 1 vorgestellten Betriebsstrategien, für die Monate Juli und September 2014 am Standort Büren. Links: gelieferte Energiemengen und ungenutzte Erzeugungsüberschüsse. Rechts oben: Anzahl der Startvorgänge der Brennstoffzelle. Rechts unten: Betriebsstunden der Brennstoffzelle.

**Projektstand:** An den Standorten Vermold-Loxten (Ende 2011) und Büren (Anfang 2013) sind bereits zwei autarke Mobilfunkstationen realisiert und im Mobilfunknetz der Firma E-Plus betrieben. Im Jahr 2015 wurde in Waldfeucht ein weiterer Standort durch die Firma Hoppecke in Betrieb genommen. Bisher liegen für diesen Standort noch keine Messdaten seitens der Firma E-Plus vor.

Am Standort Vermold-Loxten wurde im Sommer 2013 das bis dahin nicht zuverlässig funktionstüchtige Messsystem ausgetauscht, sodass erst ab Oktober 2013 Messdaten für diesen Standort vorliegen. Für den Standort Büren liegen seit Mai 2013 kontinuierlich Messdaten vor. Für beide Standorte sind die Messdaten allerdings (noch) nicht konsistent und können deshalb nur bedingt für die Validierung der Modelle herangezogen werden. Aus diesem Grund wurden die Auslegungsstrategien mit öffentlich zugänglichen Wetterdaten erprobt.

**Projektpartner:** Das Projekt wird in Kooperation mit der Firma E-Plus Mobilfunk GmbH durchgeführt, die die energieautarken Mobilfunkstandorte errichtet und betreibt.

**Projekt:** Energieautarke Mobilfunkbasisstationen

---

**Projektlaufzeit:** 01.01.2010 - 30.06.2016

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Alexander Oberland  
alexander.oberland@tu-clausthal.de (Tel:72-2938)

Dipl.-Ing. Verena Spielmann  
verena.spielmann@tu-clausthal.de (Tel:72-3736)

**Projektleiter:** Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann (Tel: 72-2595)  
wehrmann@iee.tu-clausthal.de