

# Ökobilanzuntersuchung eines elektrischen Verteilungsnetzes mit dezentraler Einspeisung

**Uwe Macharey**

Thomas Smolka, Uwe Macharey und A. Schnettler

RWTH Aachen, Institut für Hochspannungstechnik, Forschungsgruppe: Nachhaltige Energieversorgung

Tel.: 0241 80 90013

Email: [macharey@ifht.rwth-aachen.de](mailto:macharey@ifht.rwth-aachen.de)

In den nächsten zwei Jahrzehnten sind in Deutschland etwa 50 % der deutschen Kraftwerkskapazität altersbedingt zu erneuern. Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass intensive Diskussionen über den zukünftigen Strom- und Energiemix geführt werden. Im Fokus stehen dabei besonders neue Technologien zur Effizienzverbesserung zentraler Großkraftwerke sowie Techniken zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung. Dabei ist es erklärtes Ziel der Energiepolitik, die zukünftige Stromerzeugung möglichst nachhaltig, ressourcenschonend und energieeffizient zu gestalten.

Es wird erwartet, dass in Zukunft der Anteil der regenerativen Energien an der Stromerzeugung weiterhin deutlich wachsen wird. Neben einem kontinuierlichen Ausbau der Windenergieeinspeisung (mit entsprechender Notwendigkeit des Netzausbaus), insbesondere off-shore, d.h. sehr stark lastfern konzentriert, wird eine Zunahme der Energieeinspeisung aus kleineren, dezentralen Einheiten zur Strom- und Wärmeerzeugung prognostiziert. Wesentliche Vorteile dieser letztgenannten Systeme sind ihr hoher Gesamtwirkungsgrad durch Kraft-Wärme-Kopplung sowie die durch die Nähe zum Verbraucher sehr geringen Transportverluste, die beide über einen langen Betriebszeitraum wesentlich für die Umweltverträglichkeit zeichnen. Hier ist jedoch noch zu zeigen, dass diese Kleinerzeugungseinheiten bei gleichen Anforderungen an die Versorgungszuverlässigkeit und -qualität über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten ökonomische und ökologische Vorteile aufweisen.

Dabei wird sich in Zukunft die Struktur elektrischer Verteilnetze anpassen müssen, sofern es zu einer (prognostizierten) starken Zunahme der Einspeisung aus dezentralen, regenerativen Stromerzeugungseinheiten kommen wird. Bislang ist allerdings noch nicht geklärt, für welche Lastprofile und -dichten solche Systeme effizient und ökologisch sinnvoll eingesetzt werden können.

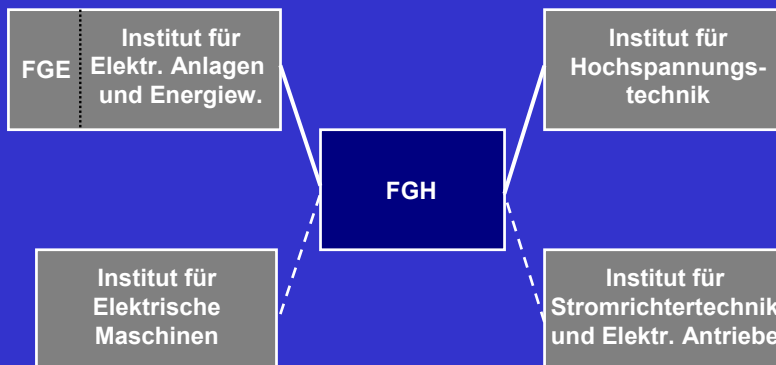
Der Beitrag befasst sich mit der Einbindung von dezentralen, regenerativen Stromerzeugungseinheiten unterschiedlicher Leistungsklassen in Verteilungsnetze im Rahmen einer Ökobilanzuntersuchung. Es wird dargestellt, welche Parameter die Ergebnisse einer Ökobilanz von dezentralen Verteilnetzen maßgeblich beeinflussen. Ob und inwiefern sich auch ökologische Vor- oder Nachteile durch die Einbindung von dezentralen, regenerativen Stromerzeugungseinheiten für den nachhaltigen Charakter zukünftiger Verteilnetze ergeben, wird mit Hilfe von Szenarioanalysen ansatzweise diskutiert.

## Ökobilanzuntersuchung eines elektrischen Verteilungsnetzes mit dezentraler Einspeisung

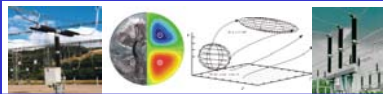
Autoren:

Dipl.-Ing. Thomas Smolka  
Dipl.-Ing. Uwe Macharey  
Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler

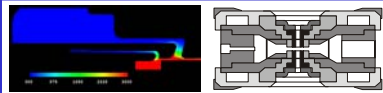
## Elektrische Energietechnik an der RWTH Aachen



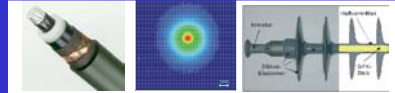
RWTH Aachen:  
Wissenschaftszentrum für die Elektrizitätsversorgung  
(~ 170 Mitarbeiter)



**Leistungsschalter**



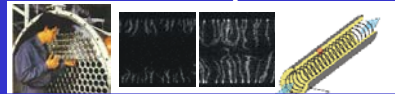
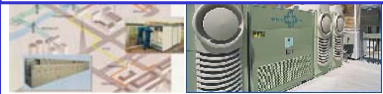
**Isoliersysteme & Diagnostik**



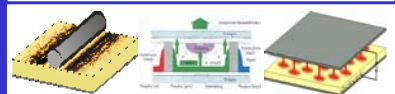
**Forschungsgruppen am ifht**



**Nachhaltige Energieversorgung**



**Hochfeldtechnologien**



**Themenschwerpunkte in der Arbeitsgruppe**

Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment) und Ökoeffizienzbewertung von Energieversorgungssystemen und (dezentralen) Energiewandlungstechniken, z.B.

- Windkraftanlage
- Blockheizkraftwerk
- Geothermie
- etc.

**Nachhaltige Netzstrukturplanung**

- Bewertung der Nachhaltigkeit von Verteilnetzen
- Einsatzortoptimierung dezentraler Techniken der Energieversorgung



## Inhalt

- Einleitung
- Ökobilanzergebnisse von Verteilungsnetzen bei unterschiedlicher Schaltanlagentechnologie
- Dezentrale Strom- und Wärmeerzeugungssysteme im Einsatz in Verteilungsnetzen
- Zusammenfassung & Ausblick

## Motivation

- Beschluss der Bundesregierung: Bis 2010 mindestens 12,5% der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
- Kyoto-Protokoll: Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen innerhalb der EU im Zeitraum von 2008 bis 2012 um mindestens 8% der CO<sub>2</sub>-Äquivalente bezogen auf 1990  
*(Für Deutschland 21%)*
- Kraftwerkspark Deutschland: ca. 50% der deutschen Kraftwerke müssen bis 2020 erneuert werden
- Teilweise überalterte Betriebsmittel im EV-Netz



- Hohe Investitionen in Kraftwerke und Netze in naher Zukunft
- Kurzes Zeitfenster für eine systematische und ökologisch angesetzte Bewertung neuer Technologien

## Ökobilanz von idealisierten Verteilnetzen

- Bilanzobjekt: städtisches und ländliches Verteilnetz einer deutschen Stadt (130.000 Einw.). Nutzung von AIS- bzw. GIS abgegebene elektrische Energie pro Jahr (GWh)
- Funktionelle Einheit: Schaltfelder, Kabel, Freileitungen und Trafos
- Komponenten:



städtisch

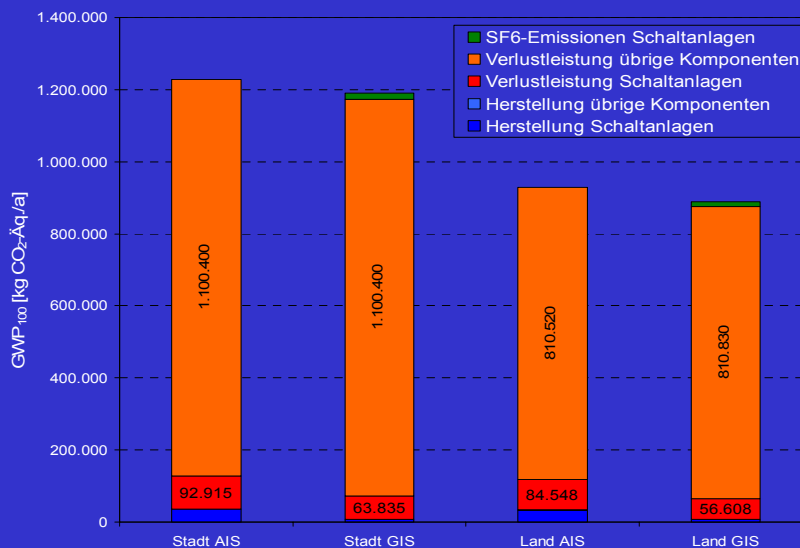


ländlich

• 10 kV	Mittelspannung	• 20 kV
• 12 km <sup>2</sup>	Versorgungsgebiet	• 51 km <sup>2</sup>
• 3,0 MW/km <sup>2</sup>	Lastdichte	• 0,5 MW/km <sup>2</sup>
• 1,52 GWh/a	Verlustrarbeit	• 1,12 GWh/a
• 56,2 km	Netzlänge	• 106,8 km

(Quelle: „SF<sub>6</sub>-GIS-Technologie in der Energieverteilung – Mittelspannung – ÖKO B I L A N Z“, Solvay Fluor)

## Treibhauspotential GWP<sub>100</sub> Verteilnetze >>Stadt/Land<<



## Einfluss des SF<sub>6</sub>-Handlings auf die Ökobilanzierung

Eingangsgröße für die Bilanzierung:

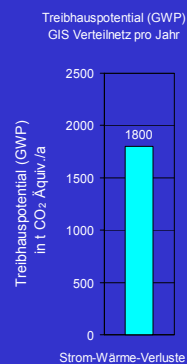
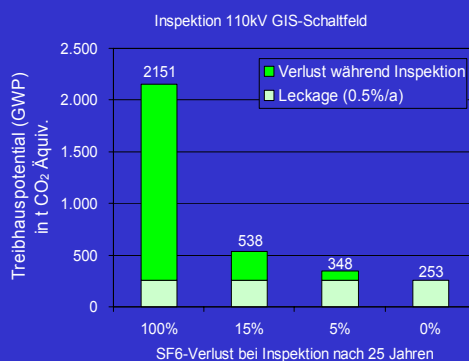
- SF<sub>6</sub> Menge für ein 110 kV GIS Schaltfeld: 90 kg



Bilanzierungsparameter:

- Gasleckage von 0,5% pro Jahr
- Verlustrate von 0-100% bei einer umfangreichen Instandhaltungsmaßnahme nach 25 Jahren

## Wirkung SF<sub>6</sub>-Handling



- ➔
- Verwendung von SF<sub>6</sub> in geschlossenen Kreisläufen
  - geringe Leckageraten
  - geringe SF<sub>6</sub> Volumina

## Inhalt

- Einleitung
- Ökobilanzergebnisse von Verteilungsnetzen bei unterschiedlicher Schaltanlagentechnologie
- Dezentrale Strom- und Wärmeerzeugungssysteme im Einsatz in Verteilungsnetzen
- Zusammenfassung & Ausblick

## Dezentrale Energiewandlungssysteme

Dargebotsabhängige  
Energiewandlungssysteme



Fokus auf



Energiewandlungssysteme  
mit fossilen oder regenerativen  
Brennstoffen



## Einsatz von DEA in einem städtischen Energieverteilungsnetz

### Netzparameter:

- Gesamtnetzlänge: 83 km
- Versorgungsspannung: 11 kV
- Maximallast aller Verbraucher: 7,6 MW
- 2 HS-Netzeinspeisungen



### Lastprofilverteilung:

Lastprofil	Anteil am Gesamtnetz
Industrie	50%
Haushalt	31%
Handel/Gewerbe	17%
Landwirtschaft	2%

### Berücksichtigung folgender Lastprofile:

- Sommer-Werktag
- Sommer-Sonntag
- Winter-Werktag
- Winter-Sonntag

## Parameterwahl bei der Simulation

### Parameter:

1. spez. Einspeiseleistung pro Lastknotenpunkt
  - a) Ansatz A (Grundlastdeckung)
  - b) Ansatz B (Deckung der mittleren Tageslast)
2. Ort der Einspeisung
  - a) an jedem Lastknotenpunkt (LKP)
  - b) optimaler Ort pro DEA Leistungsklasse

Typ der DEA	Installierte Leistung
A	500 kW
B	245 kW
C	100 kW
D	30 kW
E	18 kW
F	14 kW

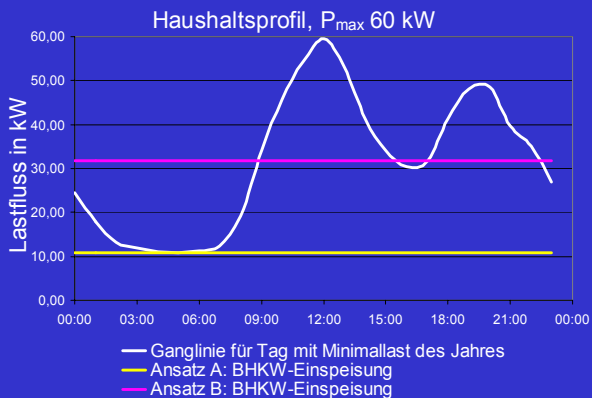


## Simulationsansätze zur Lastflussberechnung

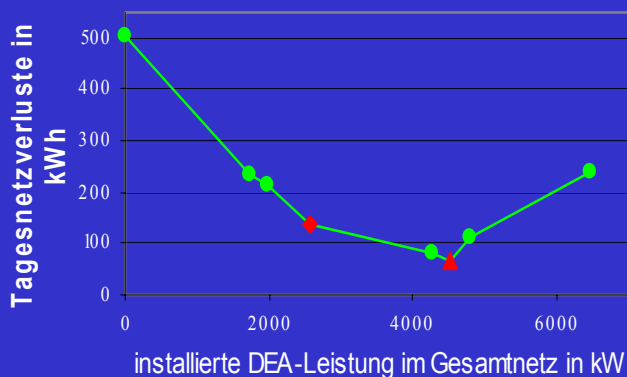
Zuordnung der Anlagengröße eines BHKW für ein Haushaltslastprofil mit der Maximalleistung  $P_{\max} = 60 \text{ kW}$

### Varianten:

- Ansatz A:  
Grundlastdeckung (10 kW)
- Ansatz B:  
Mittlere Tageslast (33 kW)

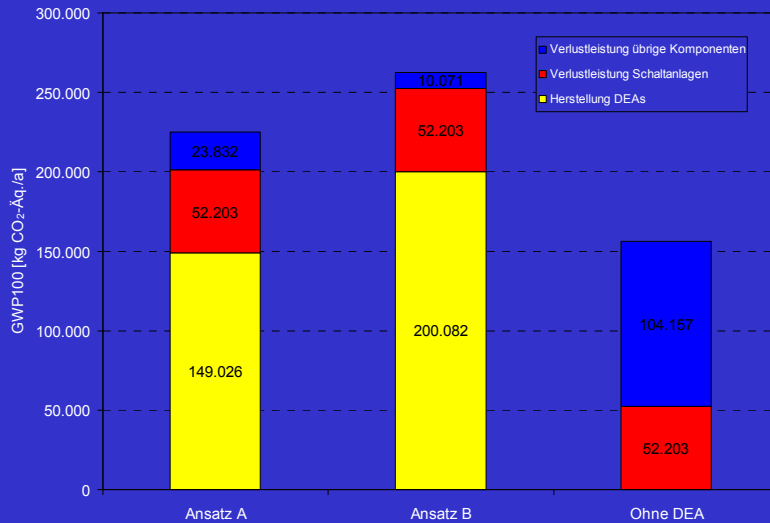


## Ergebnisse der Lastflussberechnung im Netzausschnitt



- Theoretisch signifikante Verlustreduktion möglich
  - Ansatz A (2,6 MW) → Reduzierung der Verluste um 73% auf 137 kWh (◆)
  - Ansatz B (4,5 MW) Reduzierung um 86% (▲) auf 68 kWh

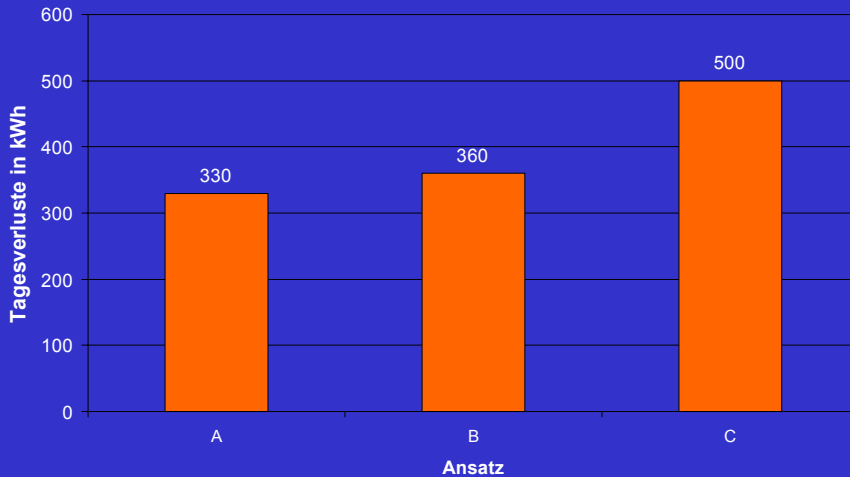
## Treibhauspotential GWP<sub>100</sub>



## Einsatz von DEA in Lastschwerpunkten im Netz

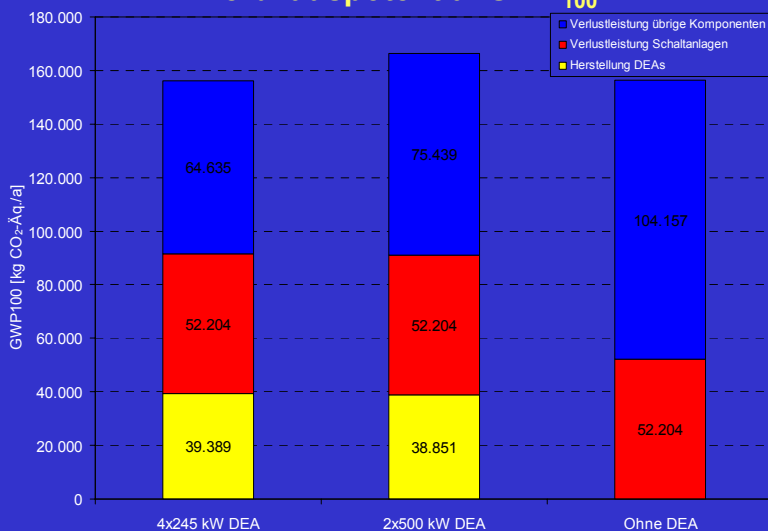
- Parameterwahl:
  - Deckung der mittleren Tageslast einzelner Verbraucher im Netz (1 MW, 1b))
  - Optimaler Ort für DEA Leistungsklasse an Verzweigungspunkten in der Nähe von Lasten der entsprechenden Größe (2.b))
    - Ansatz A: 4 - 245kW Anlagen
    - Ansatz B: 2 - 500kW Anlagen
    - Ansatz C: Netzverluste bei Lastdeckung aus angrenzender HS-Netzeinspeisung
  - Nutzung der Abwärme zu 100%
  - Realitätsnächste Parametervariation

## Ergebnis der Simulation



- auch Einsatz weniger DEA am „optimalen“ Ort  $\Rightarrow$  sinkende Tagesverluste

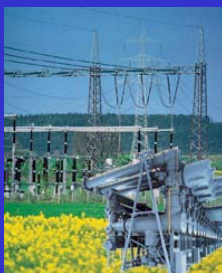
## Treibhauspotential GWP<sub>100</sub>



## Zusammenfassung & Ausblick

- Wirkungskategorie GWP
  - Strom-Wärme-Verluste (++)
  - Schaltanlagentechnologie (o)
  - Herstellung der Anlagen/Betriebsmittel (-)
  - Herstellung DEA (++)
  
- Reduzierung der Strom-Wärme-Verluste durch den Einsatz von DEA in Verteilungsnetzen gegeben
  - Bei zu hohem Durchdringungsgrad der DEA im Verteilungsnetz tritt eine Erhöhung der Strom-Wärme-Verluste auf ⇒ kontraproduktiv
  - Herstellung DEA sorgt für große Umweltwirkung
  - Nicht berücksichtigt, dass die Lebensdauer der DEA durch Austausch von Komponenten verlängert werden kann
  
- Limitierende Faktoren des DEA Einsatzes (hier nicht berücksichtigt)
  - Verfügbarkeit der Anlagen
  - Brennstoffverfügbarkeit am Ort des DEA Einsatzes in Verteilungsnetzen
  - Instandhaltung der DEA
  - Erhöhter Aufwand bei Steuerung und Kommunikation der DEA im Netzbetrieb

## Nachhaltige Energieversorgung



Dipl.-Ing.  
Thomas Smolka



Dipl.-Ing.  
Uwe Macharey