

ADRES – Autonome Dezentrale Regenerative Energie Systeme

DI Alfred EINFALT

(Nachwuchsautor)

DI Dietmar TIEFGRABER

Univ.-Prof. Dr. Günther BRAUNER

DI Christoph LEITINGER

MSc Sara GHAEMI

TU Wien, Institut für Elektrische Anlagen
und Energiewirtschaft

Gusshausstrasse 25/373, 1040 Wien,

Tel.: 0043-1-58801-37318

Fax: 0043-1-58801-37399

Mail: einfalt@ea.tuwien.ac.at

www.ea.tuwien.ac.at/ea

Kurzfassung:

Die Energieversorgung steht heute und in Zukunft vor wichtigen Herausforderungen wie zunehmende Importabhängigkeiten, Ressourcenverknappung sowie Umwelt- und Klimaauswirkungen. Damit diese Problemstellungen nachhaltig gelöst werden können, erfordert es einen Wandel der Energieversorgungsstruktur.

Zukünftig sind daher die Energiedienstleistungen überwiegend durch regional verfügbare, regenerative Energiere Ressourcen bereitzustellen. Dies bedingt jedoch wesentlich geänderte Rahmenbedingungen.

Aufgrund des begrenzten Angebots der regionalen Ressourcen muss die Energie in effizienter Weise erzeugt, andererseits auch höchst effizient verbraucht werden. Gelingt es vollständige Autonomie der Energieversorgung zu erreichen, ist das System den harten Anforderungen gewachsen.

In diesem Beitrag wollen wir das Projekt ADRES Concept vorstellen. Unser Ziel ist es, ein **Autonomes Dezentrales Regeneratives Energie-System** in einem ganzheitlichen Konzept zu entwickeln und zu erproben. Die Säulen Effizienz, erneuerbare Energien und innovatives, intelligentes Netzmanagement erlangen darin besondere Bedeutung.

Die zukünftige Entwicklung autonomer, regenerativer Energieregionen, die in Folge hoher Effizienz mit den regionalen Dargeboten (Wind, Solarthermie, Geothermie, Biomasse, Photovoltaik, Wasserkraft) das Auslangen finden, soll in diesem Projekt intensiv erforscht werden. Wir wollen nicht die Frage beantworten, wie **viel** an regenerativen Dargebot zur Erfüllung des Bedarfs notwendig ist, sondern wie **wenig** Energie ist für eine Vollversorgung ohne merklichen Komfortverlust nötig.

Keywords:

Energie- und Leistungsautonomie, dezentral, erneuerbar, intelligent, Energieeffizienz, DSM, Versorgungssicherheit,

1 Energie- und leistungsautonomes Energiesystem

1.1 Ausgangslage

Bisherige Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Energieautonomie können bereits sehr gute Ergebnisse vorweisen. Der Weg zu einer Energieautonomie von Regionen auf Basis von regenerativen, örtlich verfügbaren Ressourcen ist dabei eine vorbildhafte Entwicklung, wie sie auch in zahlreichen Projekten in Österreich stattfindet (z.B. Güssing, etc.). Positiv ist, dass in manchen Regionen bereits eine Energieautonomie über das Jahr für Energiedienstleistungen (Strom, Wärme, Mobilität) erreicht werden kann. Die Betrachtungen gehen jedoch von derzeitigen Effizienzen des Verbrauchs aus und versuchen, diesen bestehenden Verbrauch in Summe über das Jahr mittels verfügbarer regenerativer Erzeugung zu erfüllen (erzeugungsorientiert). In den bisherigen Forschungsarbeiten wurden vorrangig Lösungen zur Verbesserung von einzelnen Teilaspekten des gesamten Energiedienstleistungssystems untersucht und gefunden. Die Betrachtung des Gesamtsystems wurde bislang zurückgestellt.

Vollständige Autonomie bedeutet jedoch, neben der rein energetischen Summebetrachtung auch die geforderte Leistung zu jedem Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Auf dem Gebiet der Leistungsautonomie, also ein Betrieb eines vollkommen isolierten „Inselnetzes“, sind insbesondere die Ergebnisse des europäischen Forschungsprojektes „More Microgrids“ zu erwähnen. Durch Ausnutzung der verfügbaren Erzeugungsanlagen und des massiven Einsatzes von Speichertechnologien (z.B.: leistungsstarke Batteriebanken) wird versucht, kleine Netzabschnitte als elektrische „Inselnetze“ zu betreiben.

1.2 Neuartiger Ansatz

Der visionäre Forschungsansatz ADRES setzt bei der Energieautonomie von Regionen an, soll aber das Gesamtsystem zum Mittelpunkt haben und im Zusammenspiel nachfolgender Aspekte ein System mit regionaler Vollversorgung erreichen. Die Denkrichtung lautet: Nicht die Bedarfssteigerung bestimmt die Mehrerzeugung, sondern das regenerative Dargebot muss zur Deckung der notwendigen Energiedienstleistungen ausreichen.

Im Besonderen spielen für Autonome Dezentrale Regenerative EnergieSysteme (ADRES) folgende Teilbereiche eine bedeutende Rolle:

- Endverbrauchseffizienz aller Energiedienstleistungen
Der Verbrauch wird nicht als gegeben angenommen, sondern ist in sämtlichen Bereichen durch Effizienzmaßnahmen zu verringern. Zum einen ist hier der Bereich Endgeräte angesprochen, zum anderen die gebäudeabhängigen elektrischen und thermischen Verbrauchsfelder sowie der Energiebedarf der Mobilität.
 - Regenerative Erzeugung
Im Gegensatz zu den heute üblichen allgemeinen, landesweiten Prognosen werden in diesem Abschnitt dahin gehend die Prioritäten gesetzt, lokale Dargabote in und um Siedlungen zu prognostizieren und diese in Kombination mit innovativen Umwandlungs-Technologien erzeugungsseitig weiter zu entwickeln.
- Intelligentes Netzmanagement
Zum einen wird - je nach Gebäudemodellen unterschiedlich - eine Vorbilanzierung im Haus vorgenommen. Im Verbund einer Siedlung werden der effiziente

Energieverbrauch und das verfügbare erneuerbare Dargebot mittels zu entwerfenden Bilanzierungstools betrachtet und mittels neuartigem Regelkonzept auf Leistungs-Frequenz-Basis mit verstärktem Einfluss der Netzleistungszahl, sowie dem Einsatz von Energiespeichern in ein selbstbilanzierendes Energiesystem übergeführt.

Die zukünftige Entwicklung autonomer, regenerativer Energieregionen, die infolge hoher Effizienz durch regionale regenerative Energieträger (Wind, Solarstrahlung, Geothermie, Biomasse, Wasserkraft) das Auslangen finden, ist dabei von zentraler Bedeutung und soll in diesem Projekt intensiv erforscht werden.

Das Besondere an ADRES ist das Erreichen von Leistungsautonomie, also jenes Zustands, in dem ein Siedlungskollektiv nicht nur in der Jahressumme, sondern auch in Echtzeit ausbalanciert ist.

Energie- und leistungsautonome Systeme werden gewiss in Zukunft nur einen Teil der Energieinfrastruktur darstellen. Leistungsautonomie ist aber eine verschärfte Rahmenbedingung, um Effizienz in hohem Maße im System zu erreichen. Mit dem vollständigen Ansatz soll gezeigt werden, dass Effizienz in der gesamten Energiekette, speziell aber im Endverbrauch, gemeinsam mit neuen Regelkonzepten eine viel versprechende Möglichkeit zur Entwicklung einer überwiegend regenerativen, regionalen Energiebereitstellung sein kann.

Die folgende Abbildung 1 soll die drei wesentlichen Eckpfeiler von ADRES und damit die Zielvorgaben des Projekts veranschaulichen. Ein systemorientiertes, gemeinsames Zusammenwirken dieser Bereiche bringt den größtmöglichen Erfolg.

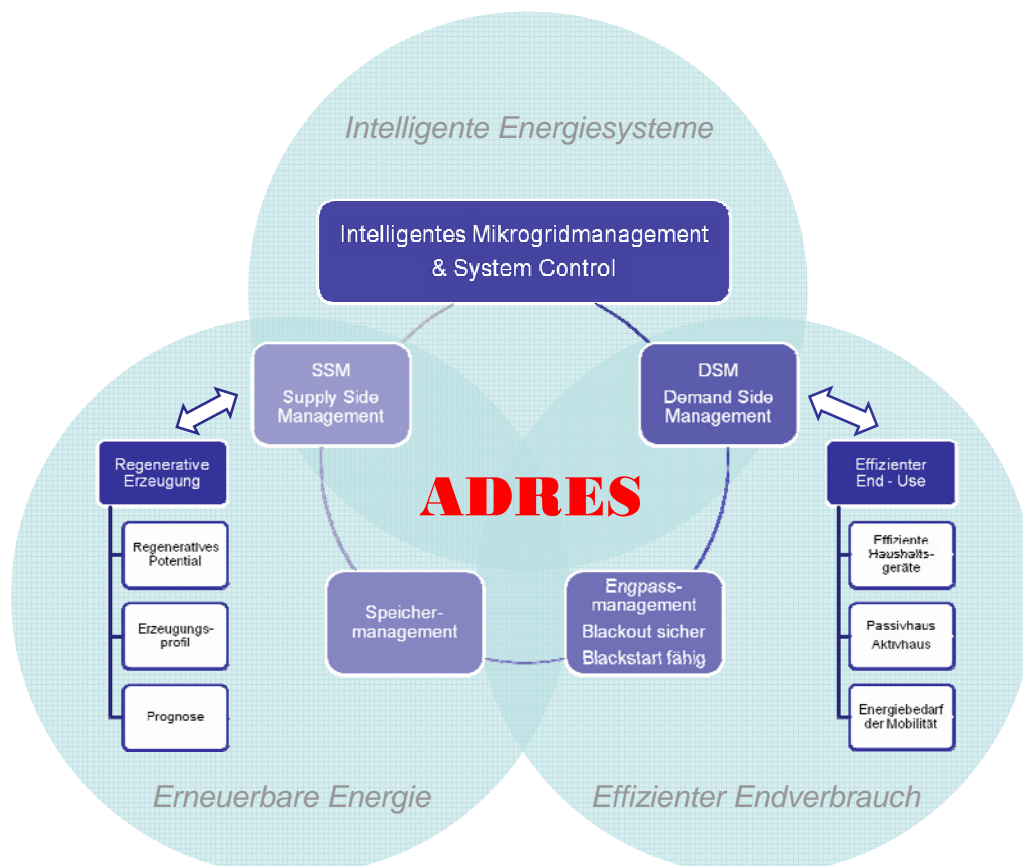


Abbildung 1: Kernbereiche von ADRES

1.3 Umsetzung der Strategie

Im ersten Schritt muss also erreicht werden, dass der derzeitige Endenergieverbrauch in den Bereichen Haushalt, Gebäude und Mobilität drastisch gesenkt wird. Nur durch die Erreichung der höchstmöglichen Effizienz kann mit Hilfe regenerativer Ressourcen eine vollständige Befriedigung aller Energiedienstleistungen einer Region gewährleistet werden. Die Fragen sind also: „Mit wie wenig Energie kann man in Zukunft auskommen, ohne den Komfort und das Wirtschaftswachstum maßgebend zu beeinflussen?“ und „Mit welchen Technologien ist eine Vollversorgung möglich?“.

Es muss ein Gleichgewicht zwischen lokal verfügbarer erneuerbarer Energie und dem Endverbrauch angestrebt werden, dies wird durch das intelligente Energiesystem erreicht. Siehe dazu die Prinzipbeschreibung in Abbildung 2.

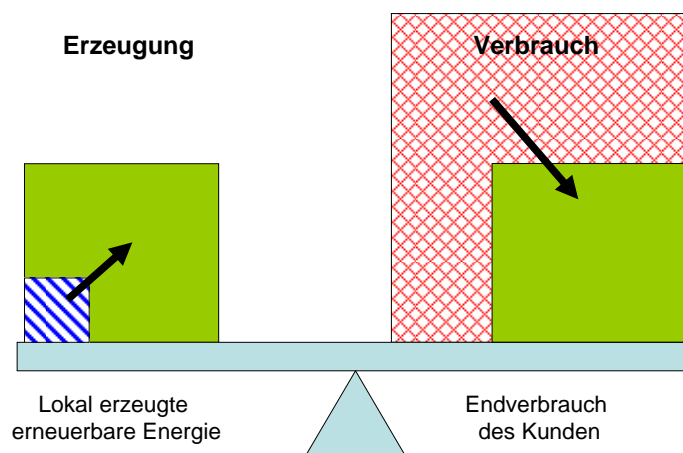


Abbildung 2: Anzustrebendes Gleichgewicht zwischen erneuerbarer Energie und Endverbrauch

Dieses Gleichgewicht kann bei günstigem Dargebot in einer Summenbetrachtung über größere Zeiträume (z.B. ein Jahr) relativ einfach erreicht werden. Für den eigenständigen Betrieb muss aber eine Bilanzierung in Echtzeit stattfinden (Leistungsautonomie), was neben intelligenten Regelmechanismen auch die Möglichkeit von Zwischenspeicherung von momentan überschüssiger Energie (bzw. den Abruf von momentan nicht erzeugbarer Energie) erfordert. Um den sicheren Betrieb des Systems und die Einhaltung aller technischen Grenzen zu erreichen, gilt es durch den vollständigen Ansatz an Robustheit zu gewinnen, um etwaige Störfälle wie Blackouts bestmöglich zu vermeiden. Schematisch werden diese Maßnahmen in Abbildung 3 dargestellt.

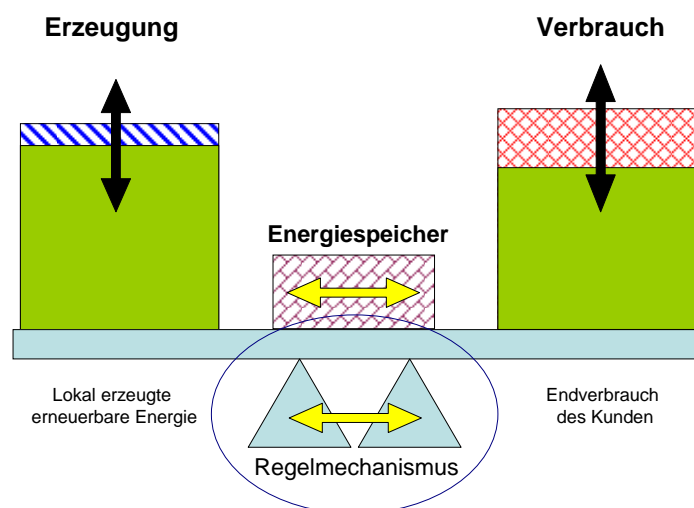


Abbildung 3: Bilanzierung des Systems im Normalbetrieb und Störfall

2. Themenbereiche – Herausforderungen

2.1 Erzeugung

Für die Aufbringung ist es notwendig eine Prognose von dargebotsabhängigen regenerativen Energieträgern (Wind, Solarstrahlung) für örtlich begrenzte Gebiete zu erstellen. Dafür wird die derzeit zentral für ganz Österreich erstellte Prognose mit Hilfe von zusätzlichen meteorologischen Inputdaten speziell für ADRES-Regionen optimiert. Zur Veranschaulichung sind in der folgenden Tabelle 1 die Einsatzdauern von PV- und Windenergieanlagen für 2006 von vier ausgewählten Regionen enthalten.

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4
Standort	Alpentail	Ebene	Alpentail	Bergland
PV-Volllaststunden*	1215h	1251h	1256h	1172h
PV-Einsatzdauer*	4347h	4265h	4060h	4237h
PV-Einsatzdauer*	49,63%	48,69%	46,35%	48,37%
Wind-Volllaststunden**	147h	1867h	112h	609h
Wind-Einsatzdauer**	1943h	7431	893h	4961h
Wind-Einsatzdauer**	22,18%	84,83%	10,19%	56,63%

Tabelle 1: PV- und Windeinsatzdauern (*...in 10 m, **...Nabenhöhe 100m)¹

Somit geht hervor, dass eine der Hauptaufgaben darin besteht den optimalen Energiemix für die unterschiedlichen Regionen zu finden. Weiters soll auch abgeleitet werden. Welche Messdaten für eine regional eingeschränkte Prognose zusätzlich nötig sein werden.

Weiters wird in diesem Bereich eine Analyse vorhandener sowie zukünftig verfügbarer Technologien zur Nutzung regenerativer Energieträger in dezentralen Energiewandlern durchgeführt. Damit ist eine Beurteilung der Gesamteffizienz lokaler Energiewandlerstrukturen möglich.

¹ Quelle: DA Ehrenhöfer 2007

Bei allen Energieumwandlungstechnologien mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird insbesondere die Stromkennzahl von Bedeutung sein. Sie beschreibt das Verhältnis von elektrisch und thermisch nutzbarem Energieoutput. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht verschiedener KWK-Anlagen.

Technologie	Stromanteil	Wärmeanteil	Stromkennzahl	Gesamtwirkungsgrad
AFC	0,35	0,45	0,80	0,80
PEMFC	0,40	0,40	1,00	0,80
PAFC	0,40	0,42	0,95	0,82
MCFC	0,52	0,33	1,58	0,85
SOFC	0,35	0,55	0,64	0,90
SOFC+GT	0,60	0,20	3,00	0,80
Mini BHKW	0,23	0,62	0,37	0,85
Gas-Ottomotor	0,34	0,53	0,64	0,87
Dieselmotor	0,38	0,42	0,90	0,80
GuD	0,58	0,27	2,14	0,85
Micro-GT	0,26	0,58	0,45	0,84

Tabelle 2: Übersicht KWK-Anlagen²

Besonders in Hinblick auf den sinkenden Wärmebedarf von Haushalten (Trend zu Passivhaus) wird es in zukünftigen, autonomen Siedlungsstrukturen darauf ankommen möglichst wenig thermische Energie bei maximaler elektrischer Stromausbeute zu erzeugen. Umfangreiche Optimierungsrechnungen haben gezeigt, dass aus wirtschaftlicher Sicht eine Stromkennzahl von ca. 3 für dezentrale Erzeugungsanlagen in Einzelhaushalten mit derzeitigem Isolationsstandard anzustreben ist.³

Mit diesen Daten wird eine, der klassischen Kraftwerkseinsatzplanung ähnliche Strategie zur optimalen Abstimmung der dezentralen Erzeugungsanlagen entwickelt. Die klassische Vorgangsweise von saisonaler bis zu viertelstündlicher Einsatzplanung in kaskadierter Form dient als Vorlage. Die Zeitbereiche müssen mit dem Potential des Demand Side Management (DSM) sowie der Vorgaben des Speichersystems abgestimmt werden. Die Herausforderung besteht in der Beschreibung und Lösung einer komplexen Mehrfachziel-Optimierung mit sehr großen Prognoseabweichungen.

2.2 Endverbrauch und Effizienz

Für die gesamtenergetische Betrachtung ist das Gebäude von entscheidender Bedeutung. In dynamischen Gebäudesimulationen von innovativen Gebäudekonzepten (Plusenergiegebäude) und Gebäudetechnologien (Integration von PV, ST) werden die Interaktionen zwischen Gebäuden, Endnutzengeräten und Gebäudegruppen berücksichtigt. Als Ergebnis werden verschiedene Energiebilanzen für Grundkonzepte entwickelt.

Im Bereich der elektrischen Endverbraucher (Geräte) werden mögliche Entwicklungspfade für Energieeffizienz sowie dynamische Lastprofile erarbeitet. Dabei werden sie in ihrer Wichtigkeit und Einsetzbarkeit für Demand-Side-Management klassifiziert. Folgende Abbildung zeigt eine erste grobe Klassifizierung nach der Anforderung an die Verfügbarkeit.

² Quelle: Brauner 2007

³ Quelle: Dissertation Raschbacher 2003

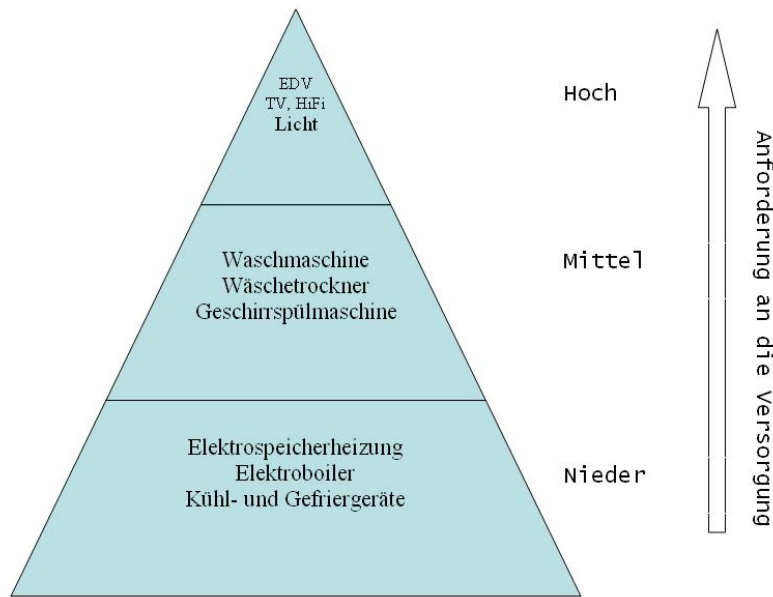


Abbildung 4: Anforderung an Verfügbarkeit⁴

Neben der Klassifizierung müssen zunächst die wesentlichen Treiber für den starken Anstieg des elektrischen Energiebedarfs von Haushalten gefunden werden. Das wesentliche Problem besteht nämlich darin, dass trotz des sinkenden Energiebedarfs von modernen Haushaltsgeräten (siehe Abbildung 5) der ansteigende Trend im Haushaltsstromverbrauch unvermittelt fortschreitet.

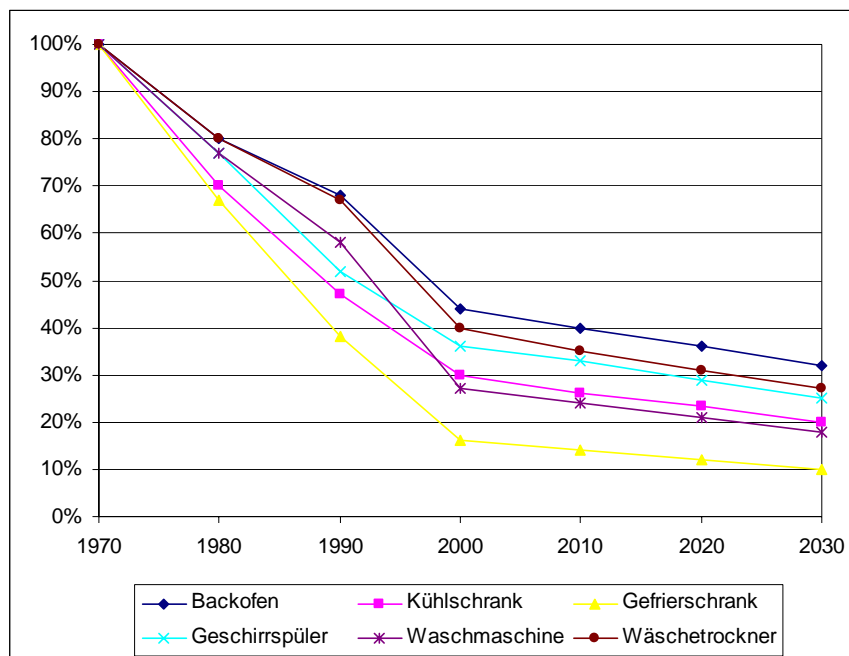


Abbildung 5: Energiebedarfsentwicklung „Weiße Ware“⁵

Neben den Bestrebungen den Gesamtenergiebedarf eines Haushaltes zu senken besteht die Herausforderung von DSM in erster Linie auch darin die Spitzenleistung zu reduzieren.

⁴ Quelle: DA Siebenhüner 2006

⁵ Quelle: DA Einfalt 2006

Der Tageslastgang eines Einzelhaushaltes (siehe Abbildung 6) zeigt typischerweise eine sehr geringe Bandlast und ausgeprägte Spitzen, die im Wesentlichen von Verbrauchern aus der Gruppe der „Weißen Wahre“ verursacht werden.

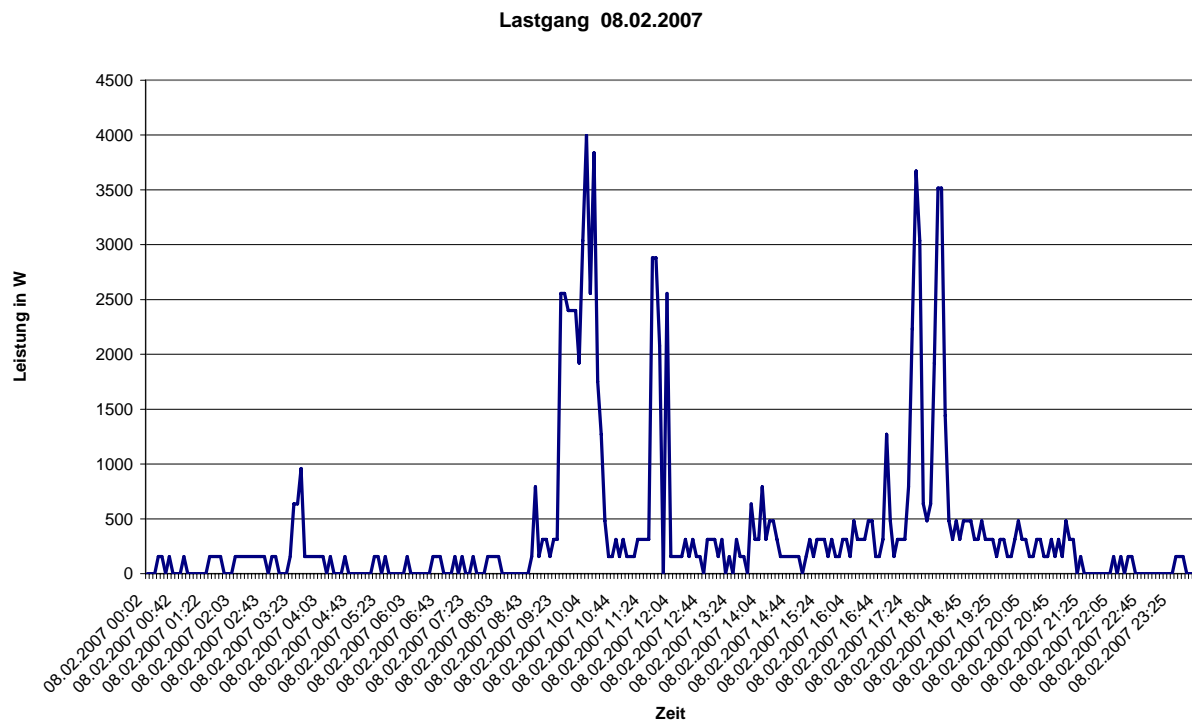


Abbildung 6: ausgewählter Tageslastgang 2-Personen-Haushalt⁶

Um dies zu verdeutlichen ist in der Folge eine Auswertung von simulierten Tageslastgängen zu finden. In dieser Simulation wurden auf Basis von Einschaltwahrscheinlichkeiten von Haushaltsgeräten eines typischen Haushaltes mit einem einfachen wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatz synthetische Lastgänge erzeugt. Die auftretenden Leistungen wurden dann statistisch ausgewertet.

Aus Abbildung 7, eine Auswertung der Ergebnisse für 15 Uhr, geht hervor, dass über 90% der auftretenden Leistungen in den Klassen bis 500W zu finden sind. Aufgabe des DSM ist es nun bei geringer Energieerzeugung dafür zu sorgen, dass der ohnehin unwahrscheinliche Einsatz von Großgeräten zu diesem Zeitpunkt verhindert wird.

Das in der Folge beschriebene intelligente Microgrid soll jedoch nicht nur durch das bisher übliche abschalten von Geräten ein DSM betreiben, sondern es kommen kennlinienbasierte Leistungsreduktionen ohne zusätzlichen Kommunikationsaufwand zum Einsatz.

⁶ Quelle: eigene Messung

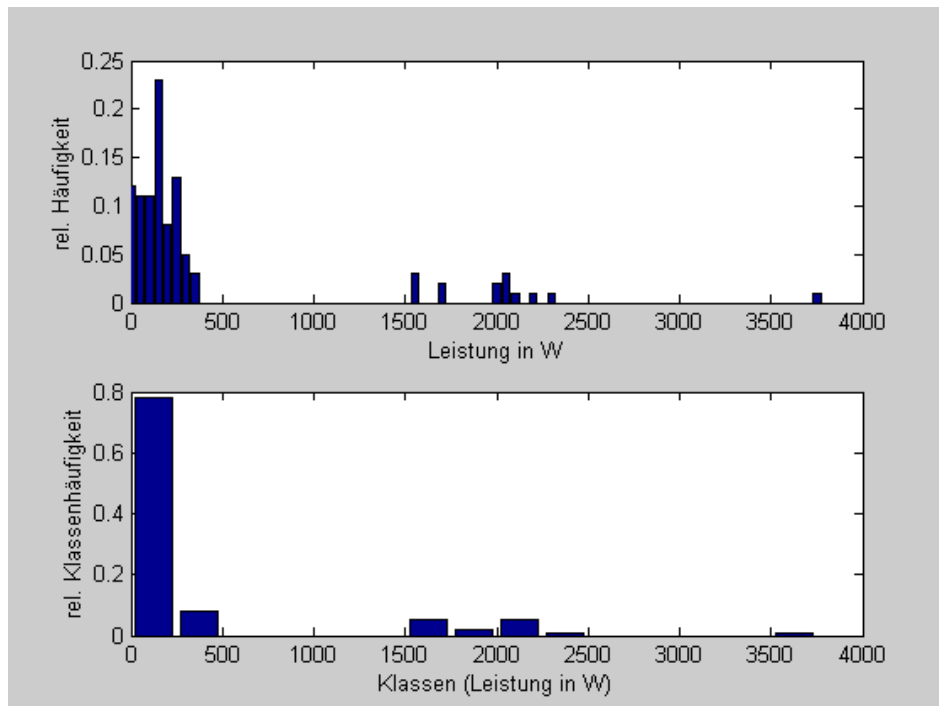


Abbildung 7: oben: relative Häufigkeiten, 15 Uhr
unten: relative Klassenhäufigkeiten, 15 Uhr⁷

Diese ersten Ergebnisse im Bereich des Endverbrauchs werden in Zuge dieses Projekts mit Messungen, Befragungen und wesentlich detaillierteren Simulationen erweitert. Sämtliche Bereiche von Endverbrauch und Effizienz liefern ebenfalls Inputdaten für die Energiebilanzierung.

Die regenerative Mobilität wird zukünftig aufgrund von veränderten Antriebssystemen mit dem elektrischen Netz in Interaktion treten können und einen elektrischen Energiebedarf aufweisen. Mittels Szenarienentwicklung und Lastflusssimulationen werden die benötigten Energiemengen und zukünftigen Entwicklungen der Mobilität im Bereich von Siedlungen ermittelt. Als Zusatznutzen kann sie als mobiler Speicher eine Ausgleichsfunktion im elektrischen Netz übernehmen. Mehr dazu kann aus dem Beitrag von Herrn Leitinger „Elektrische Mobilität – Effizienzsteigerung und Herausforderungen für Netze und Energiebereitstellung“ in Erfahrung gebracht werden.

2.3 Intelligente Energiesysteme

Das Management des Energiesystems wird in zwei Ebenen analysiert. Einerseits wird ein neuer Regelalgorithmus entwickelt, welcher durch eine Leistungs-Frequenz-Regelung mit gezielter Beeinflussung des Selbstregeleffekts der Lasten den elektrischen Verbrauch an die stochastische Erzeugung anpasst. Mittels regelungstechnischer Stabilitätsuntersuchungen und dynamischer Simulationen werden die Grenzen für den leistungsautonomen Betrieb ermittelt.

⁷ Quelle: DA Einfalt 2006

Andererseits werden die Energiebilanzierung des Gesamtsystems und die Einsatzplanung der nicht dargebotsabhängigen Energiewandler behandelt. Dabei werden die gekoppelten Energiebereiche aus Aufbringung, Umwandlung, Speicherung und Verbrauch für die saisonale und tägliche Bedarfserfüllung berücksichtigt. Mittels Simulation und Optimierung werden ein Bilanzierungstool und Einsatzpläne für ADRES-Strukturen erstellt.

Durch den innovativen, wissenschaftlichen Ansatz der ganzheitlichen Energie- und Leistungsautonomie wird das Gesamtsystem Siedlung zu hoher Energieeffizienz gebracht. Insbesondere bei den Endgeräten, welche die dezentrale Fähigkeit besitzen aus Netzindikatoren Mangel- und Überschusssituationen zu erkennen und ihren individuellen gerätespezifischen Bedarf intelligent unter Berücksichtigung ihrer Mindestversorgung an die Systemumgebung anzupassen, werden neue Effizienzen im System gewonnen. Die Ergebnisse der Forschung können später auch auf andere homologe Systeme wie die Bordnetze in Automobilen oder an Schiffen übertragen werden.

3. Anforderungen an das „ADRES – Grid“

Das Verteilnetz in der herkömmlichen Versorgungsstruktur hat neben der Hauptaufgabe, einer vorrangig, unidirektionale Versorgung der Endkunden folgende Aufgaben:

- Spannungshaltung und Blindleistungsbereitstellung
- Aufrechterhaltung der Spannungsqualität
- Versorgungswiederaufnahme und
- Beseitigung von Netzengpässen

Weiters sind an den Schnittstellen zum Übertragungsnetz Mindestanforderungen bezüglich Spannungshaltung und Austausch von Blindleistung zu koordinieren.

Für das ADRES-Netz, also ein Inselnetz bedeutet dies, dass diese Netzdienstleistungen und auch die Frequenzhaltung aus dem Bereich Übertragungsnetz für einen regional sehr begrenzten Versorgungsbereich zu erfüllen sind.

Die Frequenzhaltung ist im Wesentlichen mit der Echtzeitproblematik, also dass die Erzeugung immer exakt dem Bedarf entsprechen muss, verbunden. Um dieses komplexe Problem zu lösen wird an einem innovativen Regelalgorithmus gearbeitet, der mit Hilfe von SSM und DSM die Frequenzhaltung in einem vorgegeben Band gewährleistet.

4. Zusammenfassung

Das Ziel von ADRES ist das Erreichen von Leistungsautonomie, also jenes Zustands, in dem ein Siedlungskollektiv nicht nur in der Jahressumme, sondern auch in Echtzeit ausbalanciert ist. Dies stellt eine technisch anspruchsvolle Herausforderung dar.

Im Zuge des Projekts werden folgende Methoden verwendet um die gewünschten Ziele zu erreichen.

- Dynamische Modellierung innovativer Endgeräte und daraus abgeleiteten zukünftiger Lastprofilen
- Bilanzierung von Erzeugung und Verbrauch
- Optimierung der regenerativen Erzeugung
- Dynamische Simulation des Regelkonzepts

Die Systemlösung, die mit ADRES verfolgt wird, soll jedoch nicht bedeuten, dass eine Region ständig als Inselnetz betrieben werden muss. Der Betrieb als Inselnetz und die Autonomie der Region soll auch deutlich zeigen wie wichtig Effizienzsteigerung und sparsamer Umgang mit Ressourcen ist.

Bei all den Eingriffen soll die Kompatibilität zur herkömmlichen Versorgungsinfrastruktur erhalten bleiben. Der Inselbetrieb soll in Notsituation, bei Leistungsmangel oder bei Anwendung in bisher noch unversorgten Gebieten möglich sein.

Es kann nur dann eine nachhaltige und weit reichende Wende erreicht werden, wenn das **Gesamtsystem aus Aufbringung, Verteilung, Regelung und Verbrauch zur Effizienz** hingeführt wird. ADRES verbindet zum ersten Mal diese Säulen für eine nachhaltige Entwicklung der Österreichischen Versorgungslandschaft.

Literaturverzeichnis:

- Georg Pöppl: *Dezentrale nachhaltige Energieversorgung als virtuelles Kraftwerk unter Nutzung von Demand Side Management*, Forschungsbericht 2005
- Thomas Siebenhüner: *Demand-Side-Management von Kleinverbrauchern*, Diplomarbeit TU Wien 2006
- Andreas Ehrenhöfer: *Autonome regenerative Energieversorgung von Passivhaussiedlungen*, Diplomarbeit TU Wien 2007
- Alfred Einfalt: *Stochastisches Energiemanagement von Kleinverbrauchern*, Diplomarbeit TU Wien 2006
- Franz Raschbacher: *Dezentrale Energieversorgung von Wohngebäuden*, Dissertation TU Wien 2003
- Günther Brauner: *Energieübertragung und Kraftwerke*, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung TU Wien