

# Analyse der Leistungsmessdaten von dargebotsabhängigen Energiewandlern und ihre Auswirkungen auf das elektrische Netz.

Dietmar TIEFGRABER <sup>1</sup>, Günther BRAUNER

TU-Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, 1040 WIEN  
Gußhausstraße 25-27, +43 (0)1/58801-370136, tiefgraber@ea.tuwien.ac.at,  
www.ea.tuwien.ac.at

## **Kurzfassung:**

Im Rahmen des Forschungsprojekts ADRES-Concept (Autonomes dezentrales regeneratives Energiesystem) [1] wird ein energetisch autarker, leistungsautonomer Modellansatz basierend auf rein regenerativer Energiebereitstellung für den Betrieb eines kleinen Haushaltsverbraucherkollektivs untersucht. Ziel ist es die Einflüsse und Auswirkungen der dargebotsabhängigen Energieträger auf das Energiesystem aufzuzeigen.

**Keywords:** ADRES-Concept, Dargebotsabhängige Energiewandler, Elektrisches Netz, Messdaten

## **1 Einleitung:**

Die Ausgangslage bei ADRES ist, die nachfrageseitigen Energiedienstleistungen (inklusive der E-Mobilität), in effizienter Weise, durch rein regenerative Energiequellen zur Verfügung zu stellen. Die dabei zur Verfügung stehenden regenerativen Energiequellen sind

- Wind
- Sonne
- Wasser
- Biomasse

Da lokal nicht alle Energiequellen in gleichem Umfang zur Verfügung stehen, werden anhand von drei (ADRES-) Regionen – für Österreich typisch mögliche – Primärenergiemixe dargestellt.

Zu den wichtigen Eigenschaften der regenerativen Energiequellen zählen u. a. die Beschränktheit in der Menge sowie die Dargebotsabhängigkeit.

Bei den in Abbildung 1 dargestellten unterschiedlichen Zeitkategorien, mit abnehmenden Zeitbereichen von links nach rechts, ist anzumerken, dass die erste Spalte (links) für die Erfüllung der langfristigen Energiedienstleistungen steht. Alle Sektoren müssen in sich

---

<sup>1</sup> Jungautor: Negativ

ausbalanciert sein, da es sich bei Energie (als auch bei Leistung) um eine Erhaltungsgröße handelt. Der in der letzten Spalte dargestellte Zeitbereich entspricht der Leistungsbilanzierung und ist somit eine notwendige Bedingung für einen geordneten und stabilen Betrieb des elektrischen Energiesystems.

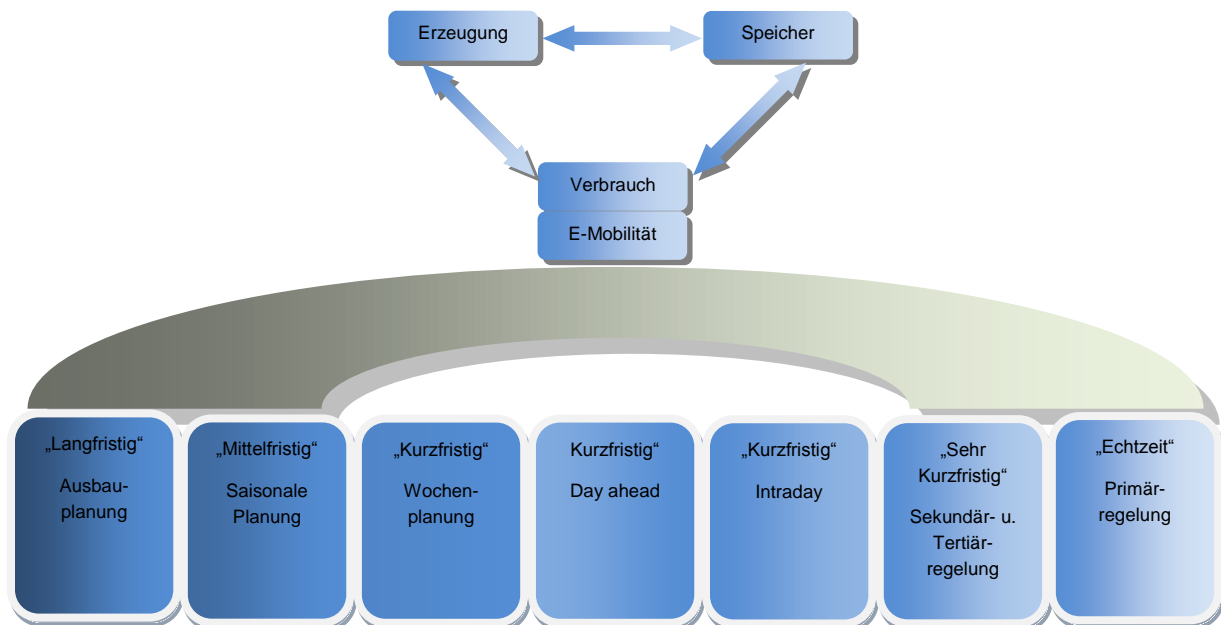


Abbildung 1: Zeitkategorien und -bereiche der relevanten Sektoren im Energiesystem

## 2 Auswirkungen auf das elektrische Netz:

Aus den übergeordneten Zeitbasen (Abbildung 1) folgen bereits viele Vorgaben und Rahmenbedingungen, welche in den Untersuchungen Berücksichtigung finden müssen. So ergibt sich aus der Prämisse, dass alle nachgefragten Energiedienstleistungen erfüllt werden müssen, im Zusammenspiel mit den vorhandenen Primärenergieressourcen, der Ressourcenaufteilung und dem eingesetzten Speichervolumen ein bestimmter, erforderlicher Energiewandlermix.

### 2.1 Rahmenbedingungen Netzstruktur:

Es zeigt sich, dass mit installierten Windanlagenleistungen von  $1 \text{ MW}_{\text{el}}$  und mehr gerechnet werden muss. Diese Installationsleistung bezieht sich auf „Großwindanlagen ( $P_{\text{el}} > 100 \text{ kW}$ )“ mit üblicher Windausbeute. Bei Einsatz von Kleinwindanlagen mit wesentlich geringerer Nabenhöhe, und der damit einhergehenden wesentlich reduzierten Ausbeute, aufgrund des Höhengesetzes sowie der bodennahen, turbulenten Strömungsverhältnisse, lägen die zu installierenden Leistungen um ein Vielfaches höher.

Windenergieanlagen dürfen aufgrund ihrer Geräuschentwicklung und der möglichen optischen Effekte durch ihre Drehbewegung, nicht direkt in bewohntem Gebiet errichtet werden. Geregelt ist dies in der auf Landesrechtsebene erlassenen Bauordnung, welche i. A.

einen Mindestabstand von mehreren hundert Metern und darüber zu Siedlungsgebieten vorsieht.

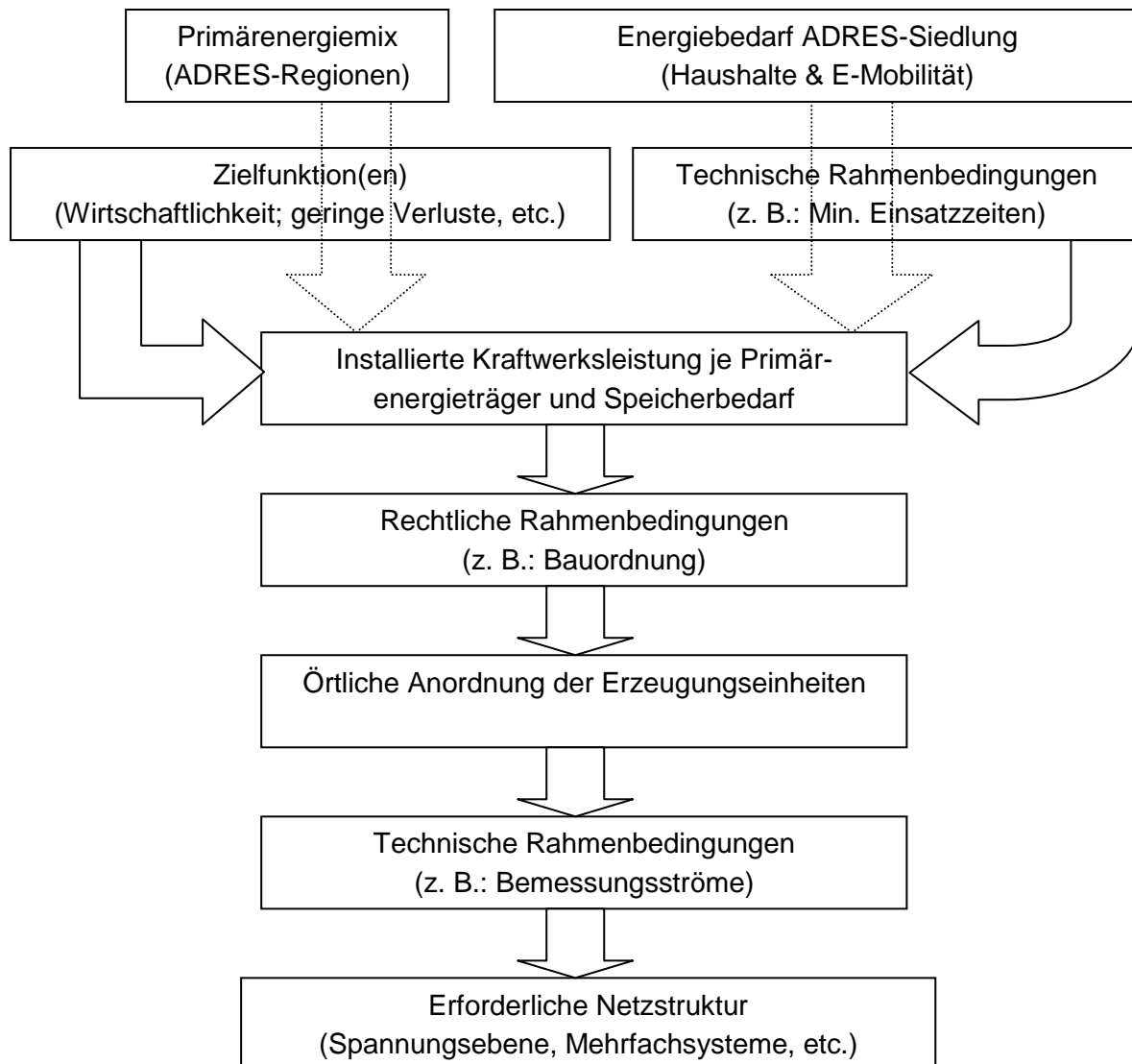


Abbildung 2: Entwicklungspfad und Einflussgrößen der Energiebereitstellung auf die Netzstruktur

Die örtliche Anordnung der Erzeugungseinheiten ist u. a. von rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B.: Bauordnung) abhängig. Durch die Festlegung der örtlichen Anordnung ist über technische Rahmenbedingungen und die Größe der insgesamt installierten Energiewandler sowie der Speicher die erforderliche Netzstruktur festgelegt.

PV-Anlagen werden nur auf Gebäudeflächen (Dach und Fassade) ausgeführt. Somit wird eine Nutzung von Agrarflächen – und der damit einhergehenden möglichen Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion – ausgeschlossen. Gleichzeitig ist damit auch die PV-Fläche und energetische Ausbeute begrenzt. Für das elektrische Netz bedeutet diese Maßnahme eine verbrauchsnahe Bereitstellung der elektrischen Energie.

Die erforderlichen Größenordnungen der installierten Leistungen pro Energiewandlertyp und ADRES-Region (verschiedene Primärenergiemixe) für eine Deckung der jährlich nachgefragten Energiedienstleistung ist Tabelle 1 zu entnehmen.

	Szenario 1 (ADRES-Region 1)		Szenario 2 (ADRES-Region 2)	
	durch. Volllaststu.	sonstige Daten	durch. Volllaststu.	sonstige Daten
	[h/a]	[-]	[h/a]	[-]
Windkraft	2547	700kW ~1780 MWh	1542	700kW ~1080 MWh
Photovoltaik	1004	400kW ~402 MWh	1004	300kW ~300 MWh
Wasserkraft	0	0	4458	125kW
Biomasse	606	70/70/70kW ~127MWh	587	70/70/70kW ~127MWh
		Szenario 3 (ADRES-Region 3)		
		durch. Volllaststu.	sonstige Daten	
		[h/a]	[-]	
Windkraft		1542	1000kW ~1542 MWh	
Photovoltaik		1004	350kW ~350 MWh	
Wasserkraft		4458	75kW	
Biomasse		603	70/70/70kW ~127MWh	

Tabelle 1: Volllaststunden, erforderliche installierte Leistungen und Energiemengen für die regional unterschiedlichen Primärenergiemixe<sup>2</sup>

Ausgangspunkt für die Auswahl der Siedlungsgröße und -struktur waren folgende Überlegungen:

- Gleichzeitigkeit der Verbraucher sollte genutzt werden (Spitzenlastreduktion)
- Für die Verteilung der elektrischen Energie sollte kein Hochspannungsnetz notwendig sein. Dies führt auf einen typischen Versorgungsbereich eines Ortsnetztransformators (ca. 200 Haushalte).

Bezeichnung	Minimum**	Maximum**
[-]	[-]	[-]
Verbraucherleistung (H0)	23 kW	124 kW
Verbraucherleistung (Ges.)*	23 kW	381 kW
Speichergröße (el.)	2000 kWh	2000 kWh
Speichergröße (th.)	10000 kWh	10000 kWh
<b>Inst. Erzeugungsleistung</b>		
Wind *3 *4	700 kW	1000 kW
Photovoltaik *3	300 kW	400 kW
Wasserkraft	0	125 kW
Biomasse	210 kW	210 kW
Differenzleistung (Erzeugung - Verbrauchsleistung (Ges.))* <sup>5</sup>	0	1193 kW
*...Mit E-Mobilität (ungesteuert)		
**...Leistungsangaben sind Stundenmittelwerte & für niedrigen Biomasseeinsatz		
*3...Ausbauleistung stark von verfügbarer Biomassemenge abhängig		
*4...Nach Maßnahmen zur Volllaststundenerhöhung (50% aerodynamische Überdimensionierung)		
*5...Basierend auf Stundenwerten		

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Verbrauchs-, Speicher- und Erzeugungsgrößen

<sup>2</sup> Als Verbrauchsgrundlage dient dabei die um 50 % reduzierte H0-Last.

Die aus den gewählten Rahmenbedingungen hervorgehenden Kennwerte der Energiebilanzierung sind in Tabelle 2 angeführt.

## 2.2 Stationäre Analysen:

Die sich ergebende Netzstruktur bei Verwendung von Windeinspeisung ist Abbildung 3 zu entnehmen. Da aus Gründen der Verfügbarkeit mehrere Windenergieanlagen eingesetzt werden und dadurch auch eine Verkabelung zwischen den Anlagen erforderlich ist, wird als Systemlänge (Abstand zwischen Punkt 2 und 3) des rein zur „Übertragung“ der erzeugten Windenergie auf 2 Kilometer angesetzt. Das Übertragungssystem selbst wird n-1-sicher ausgeführt.

Im Netzbereich, in welchem die „Verteilung“ der elektrischen Energie zu den Verbrauchern stattfindet, wird keine n-1-sichere Ausführung vorgesehen. Die Anzahl der notwendigen Leitungen der Strahlennetzstruktur wird an die maximal zu verteilende Leistung und die Einhaltung des vorgegebenen Spannungsbandes [2] angepasst. Die Länge der Strahlen im „Verteilssystem“ wird mit 600 Meter festgelegt. Aus elektrischer Sicht wird der „worst case“ unterstellt und daher die gesamte Last am Ende der Leitung angelegt.

Die maximal zu übertragenden Leistungen bei der hier zugrunde gelegten Netzstruktur treten in folgenden Fällen auf:

- Schwachlast (nach dem hier unterstellten ungesteuerten modifizierten H0-Profil) der Verbraucher ohne Mobilität und maximal zur Verfügung stehender Erzeugungsleistung.
- Volllast (nach dem hier unterstellten ungesteuerten modifizierten H0-Profil) der Verbraucher mit (hier ebenfalls ungesteuerter) Mobilität mit maximaler Windeinspeiseleistung.

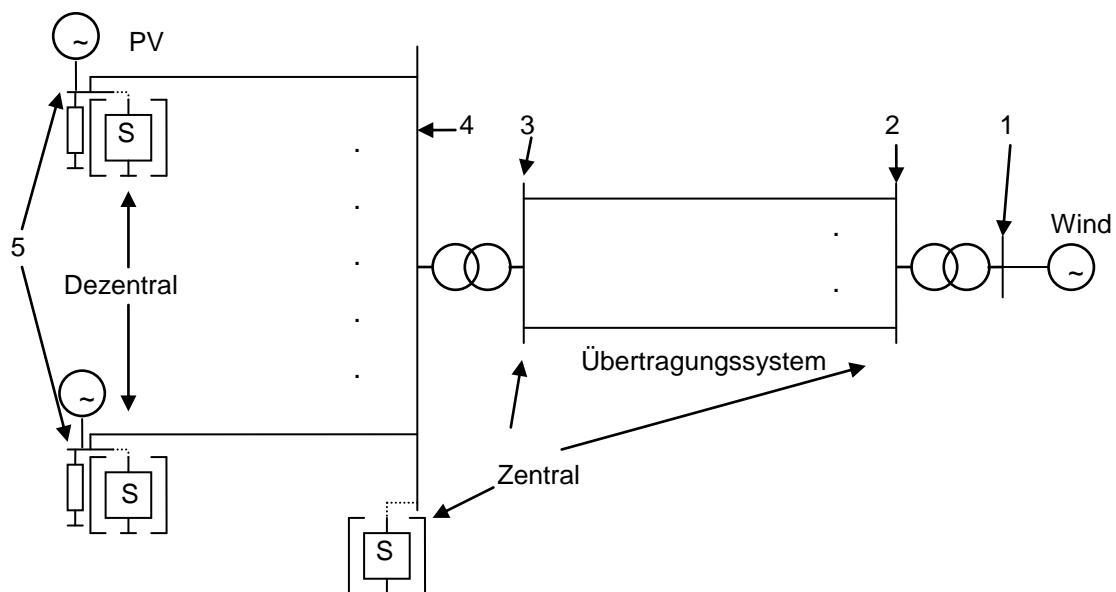


Abbildung 3: Prinzipanordnung der ADRES-Netzstruktur

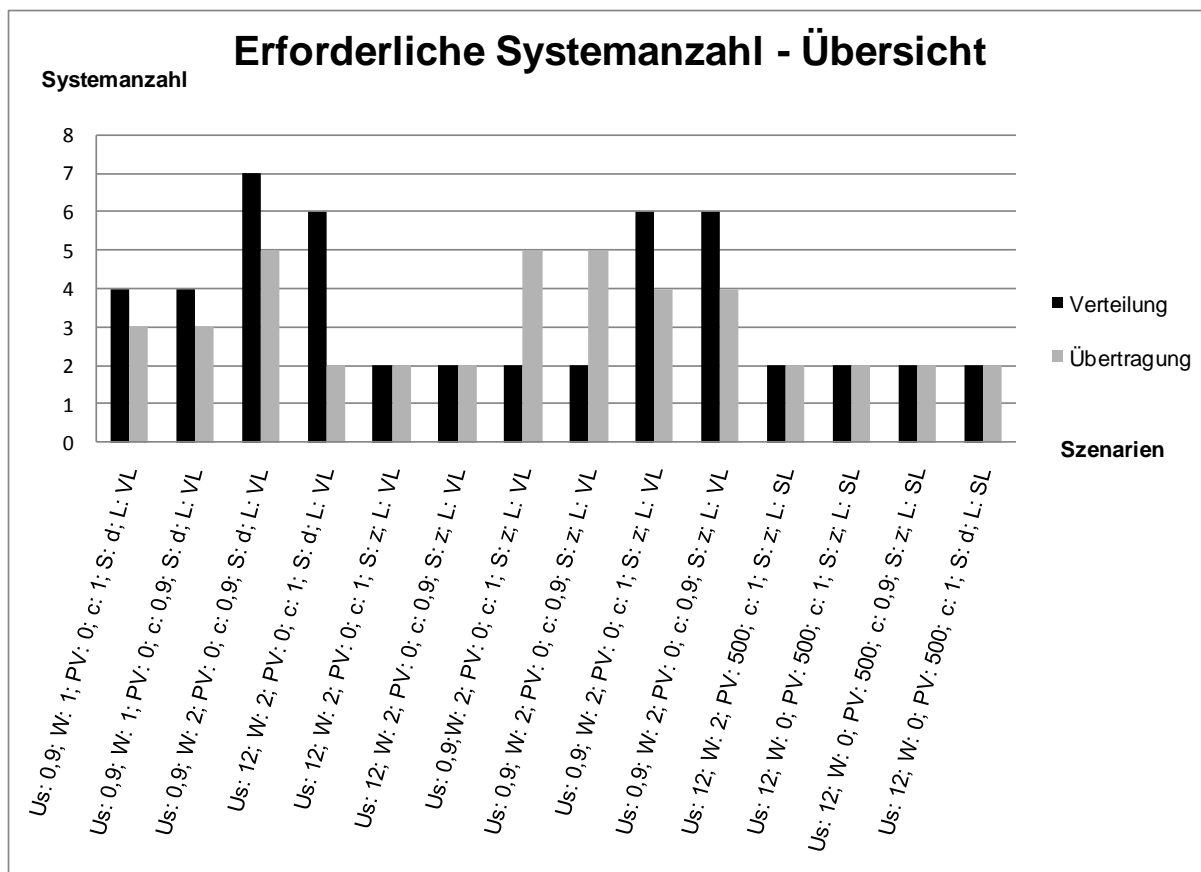


Abbildung 4: Übersicht der erforderlichen Drehstromsystemanzahl (je 500 mm<sup>2</sup>) der untersuchten Szenarien<sup>3</sup> bei der Anordnung nach Abbildung 3

Ergebnisse aus den stationären Analysen:

- Günstige Konstellationen aus Erzeugung und Anpassung/Speicherung führen im Netz zu lediglich zwei erforderlichen Parallelsystemen. Dabei soll noch darauf hingewiesen werden, dass der Teil „Übertragung“, welcher die Anbindung der Windenergieanlagen bewerkstelligt, wegen der Versorgungssicherheit und –zuverlässigkeit n-1-sicher ausgeführt ist.
- Eine Anpassung/Speicherung bei den Verbrauchern („verbrauchernah“) führt somit bei der hier getroffenen Erzeugungsstruktur automatisch auf hohe Übertragungsleistungen.

In Abbildung 5 sind die sich daraus ergebenden verschiedenen Lösungspfade (je Pfeilfarbe ein Lösungspfad) für die möglichen Netzstrukturen angeführt.

<sup>3</sup> Abkürzungen: Us: Übertragungsspannungsebene in kV; W: Windleistung in MW; PV: Photovoltaikleistung in kW; c:  $\cos\varphi$  der Verbraucher; S: Speicheranordnung; d: dezentral; z: zentral; L: Last; VL: Volllast; SL: Schwachlast;

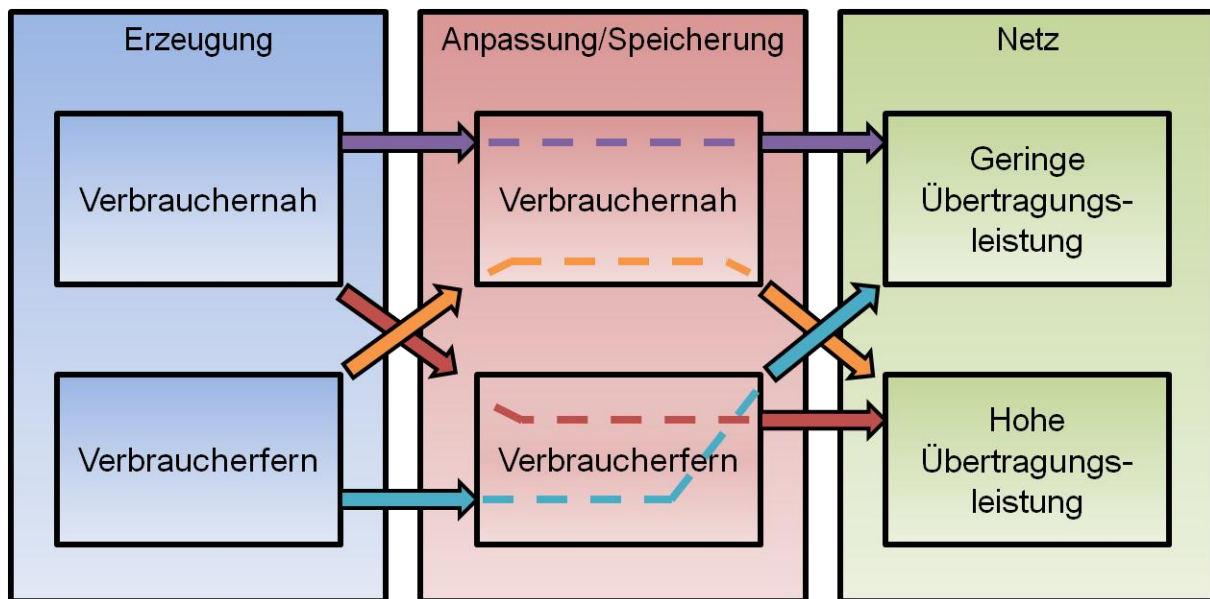


Abbildung 5: Anforderungen an das elektrische Netz bzw. Lösungspfade in Abhängigkeit der Erzeuger- und Speicherverteilung

### 2.3 Rahmenbedingungen Leistungsregelung:

Im elektrischen Teil des Energieversorgungsnetzes kann keine Wirkleistung direkt gespeichert werden. Tritt eine Störung des Leistungsgleichgewichts zwischen eingespeister und entnommener (zuzüglich der Verluste) auf, so wird die Differenzleistung unverzüglich und vorübergehend von den gekoppelten rotierenden Massen zur Verfügung gestellt. Dies führt zu einer Änderung in der Frequenz bzw. der i. a. fest dazu gekoppelten Drehzahl. Die Änderungsgeschwindigkeit der Frequenzänderung ist Abhängig von der Differenzleistung und weiteren Kenngrößen der insgesamt mit dem Netz gekoppelten Einspeiseeinheiten. Größere Netzkollektive mit einer entsprechenden Anzahl und Größe an Einspeiseeinheiten zeigen daher größere Frequenzstabilität.

Bleibt die Störung des Leistungsgleichgewichts aufrecht, so erreicht die Drehzahl – und damit einhergehend die Frequenz – die Grenze der zulässigen Werte. Es handelt sich dabei also um einen zeitkritischen Prozess. Um Schäden an den Anlagen zu vermeiden werden diese durch Schutzeinrichtungen vom Netz getrennt. Das Netz zerfällt.

Es ist daher von entscheidender Bedeutung, die in einem elektrischen Netz auftretenden Abweichungen des Leistungsgleichgewichts durch Eingriff auf der Einspeiser-, Speicher- oder Entnehmerseite auszugleichen. Diese Aufgabe ist durch die Leistungsregelung zu erbringen.

Die Rahmenbedingungen bei ADRES stellen sich wie folgt dar:

- Einspeiser:
  - Die dargebotsabhängigen Einspeiser sind nicht in der Lage dauerhaft Leistung über dem Dargebot bei Bedarf zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus ergeben sich vor allem bei Wind und Sonne große kurzzeitige Schwankungen sowohl in der Höhe als auch in der Häufigkeit der zur Verfügung stehenden Primärleistung. Eine vorübergehende Mehrleistung ist

- nur durch Nutzung von vorhandenen Zwischenspeichern (z. B.: Nutzung der Rotationsenergie bei einer drehzahlvariablen Windenergieanlage) möglich.
- Die geführten Anlagen (Biomasse oder Biogas) besitzen einen relativ geringen elektrischen Wirkungsgrad (< 30 %). Im Teillastbereich ist dieser noch einmal deutlich reduziert. Ihre Leistungsänderungsgeschwindigkeit ist darüber hinaus – konstruktiv bedingt – beschränkt. Das An- und Abfahren der Anlage benötigt Zeit und zusätzliche Ressourcen. Sie sind daher für rasche Regelvorgänge im Sekundenbereich nicht einsetzbar.
  - Speicher:
    - Aus energetischer Sicht stellt die geplante Elektromobilität einen Verbraucher dar. Für die Leistungsregelung kann diese mit Einschränkungen in Notsituationen auch vorübergehend als Einspeiser oder zumindest zur Verringerung der Last (Reduktion der Ladeleistung) genutzt werden, da diese prinzipiell hinreichend schnelles Ansprechverhalten besitzen. Die technisch/physikalischen Einschränkungen sind u. a.:
      - Die begrenzte Zahl an Lade-Entladevorgängen
      - Die gewünschte Funktion des Nutzers – das Fahrzeug soll für Fahrten über ausreichend Reichweite (entspricht dem Energieinhalt der Batterie) verfügen.
      - Die verfügbare elektrische Speichergesamtkapazität ist variabel, da diese in Form von Elektromobilität genutzt wird und den ADRES-Concept-Netzbereich verlassen kann.
    - Andere Speichereinheiten:

Für die Leistungsregelung ist in erster Linie das direkte Ansprechverhalten (Leistungsgradient) von Bedeutung.
  - Entnehmer (Verbraucher mit Speicherfunktion):

Durch den Einsatz effizienter Verbraucher wird bei Geräten mit Speicherfunktion Regelleistung verfügbar (z. B. Kühl- oder Gefriergeräte), da bei vorübergehender Ab- oder Zuschaltung auf Grund der großen Zeitkonstanten keine Störungen in der Grundfunktion eintreten. Einer der technisch einfachsten elektrischen Verbraucher mit Speicherfunktion ist der thermische Niedertemperaturspeicher für Wasser (Boiler). Dieser lässt sich in der benötigten Leistungsgröße herstellen und ist auch in der Leistungsaufnahme relativ einfach kaskadierbar.

## 2.4 Dargebotsabhängige Erzeugung:

Um für die im Normalbetrieb zu erwartenden auftretenden Primärleistungsschwankungen der eingesetzten dargebotsabhängigen Energiewandler (Wind und Photovoltaik) zu ermitteln, wurden Messungen an Einzelanlagen mit hoher zeitlicher Auflösung durchgeführt. Einzelanlagen wurden deshalb gewählt, da aufgrund der Inselgröße und der damit einhergehenden sehr beschränkten Anlagenzahl mit keinen Ausgleichseffekten zu rechnen ist.

### 2.4.1 Windleistung:

Die Messungen wurden an einer 110 kW Windenergieanlage mit Asynchrongenerator, welche nicht drehzahlvariabel ist, durchgeführt. Der Maschinentyp garantiert, dass die



Primärleistungsschwankungen praktisch unverzögert am Netzanschluss gemessen werden können, da keine Zwischenspeicher genutzt werden. Der Messzeitraum erstreckte sich insgesamt über neunzehn Tage.

Ein Auszug der Auswertungen bezüglich der gemessenen netzseitigen Leistungsänderungen ist in den folgenden Abbildungen dargestellt.

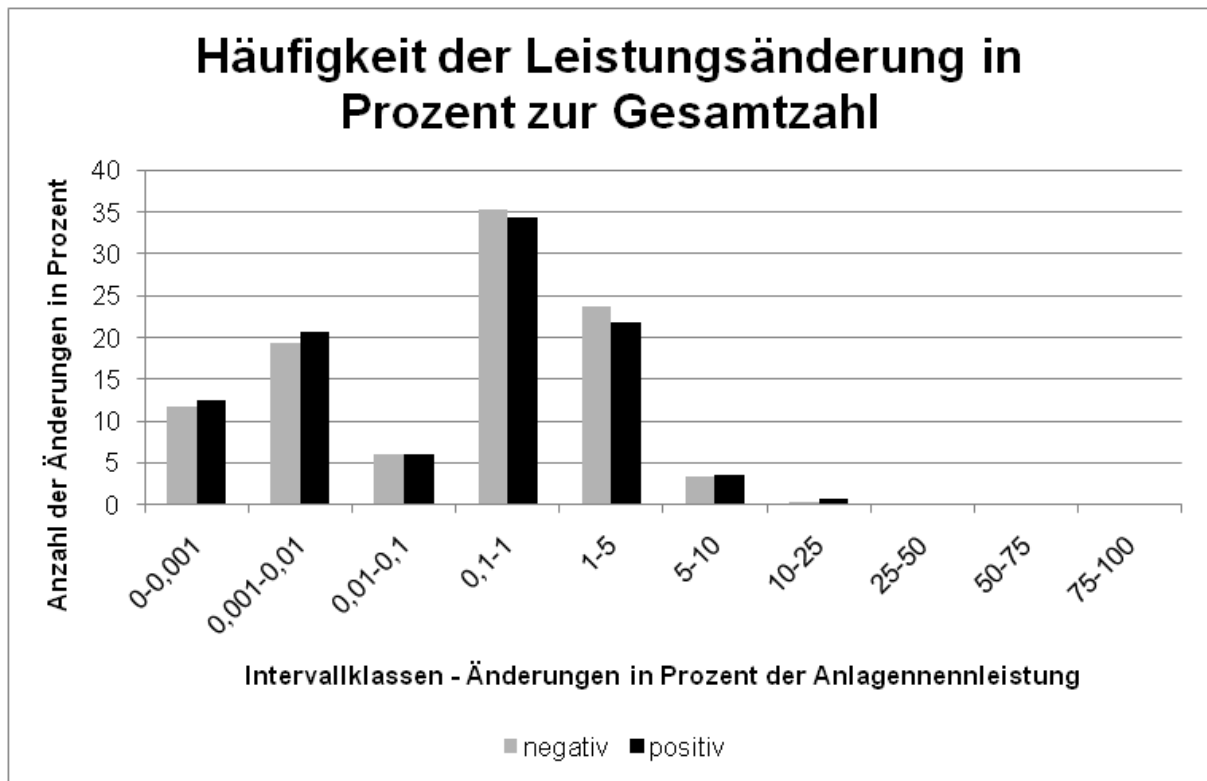


Abbildung 6: Häufigkeiten der Windwirkleistungsänderung in Prozent zur Gesamtzahl für den gesamten Messzeitraum (Basis: Sekundenwerte)

Im Detail ist das Auftreten der höheren Intervallklassen in absoluten Zahlen Abbildung 7 zu entnehmen.

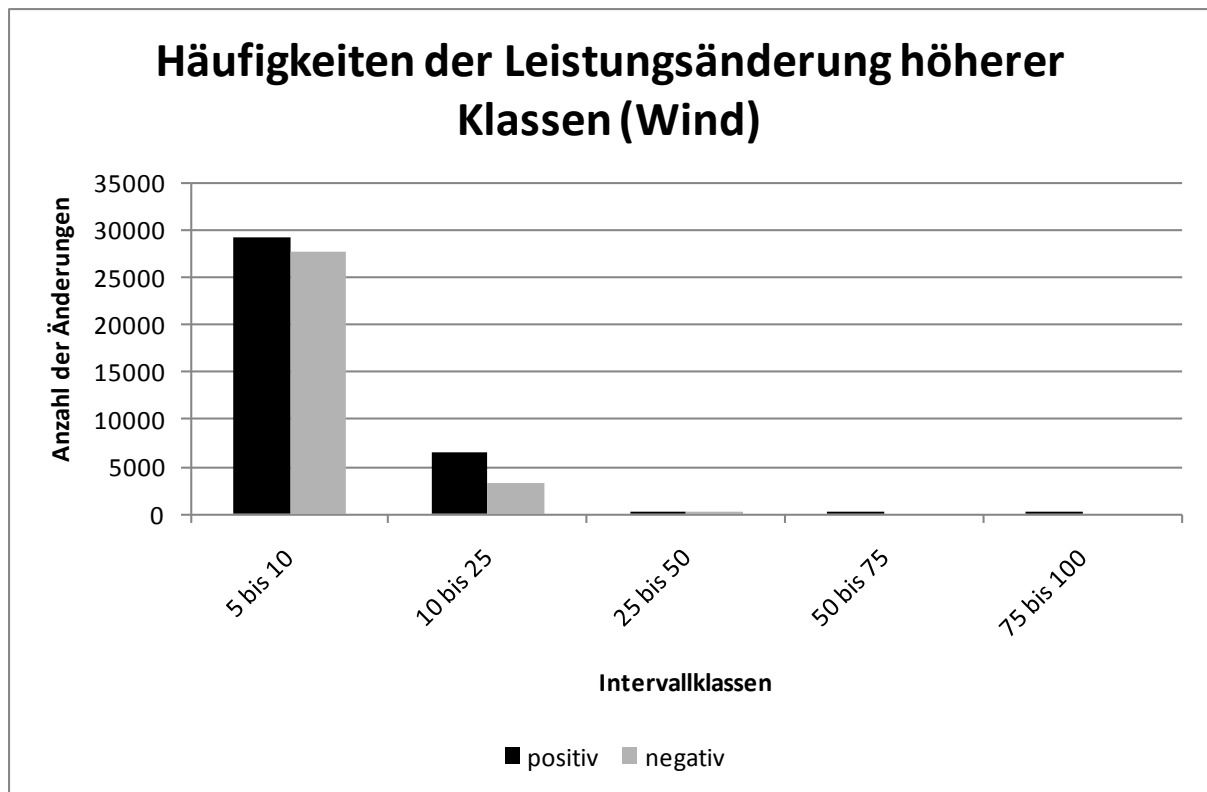


Abbildung 7: Häufigkeiten der Windwirkleistungsänderungen höherer Klassen in absoluten Zahlen

In Verbindung mit der zu installierenden Windleistung von ca. 1 MW liegt die Kategorie 5 bis 10 % bereits im Bereich der erwarteten effizienten H0-Last ohne Elektromobilität (Maximalwert bei ca. 120 kW). Die höchsten Leistungsänderungsraten traten bei positiven Leistungsänderungen auf.

#### 2.4.2 Photovoltaik:

Die Messungen an den Photovoltaikanlagen wurden u. a. wegen dem Vergleich der Leistungs- und Energieausbeute von fest installierten und per Tracker geführten Anlagen durchgeführt. Die Messungen liefen insgesamt über neun Tage, wobei der analysierte Messbereich pro Tag von 06:00 bis 22:00 beschränkt wurde. Pro Tag ergeben sich somit lediglich 57600 Messpunkte anstelle der 86400 Sekunden. Außerhalb des betrachteten Intervalls kann jedoch eine Einspeisung der Photovoltaik ausgeschlossen werden. Geht man davon aus, dass die Anlage bei keiner Erzeugung immer den gleichen Leistungsbedarf für die Steuerungselektronik aufweist, so kann dieser Anteil der Kategorie 0 bis 0,001 zugerechnet werden.

Abbildung 8 zeigt - wie schon bei den Windmessungen - die Häufigkeiten der Wirkleistungsänderungen in Prozent bezogen auf die Anzahl der gesamten Messdauer bei der Photovoltaikanlage.

Im Detail ist das Auftreten der höheren Intervallklassen in absoluten Zahlen Abbildung 9 zu entnehmen.

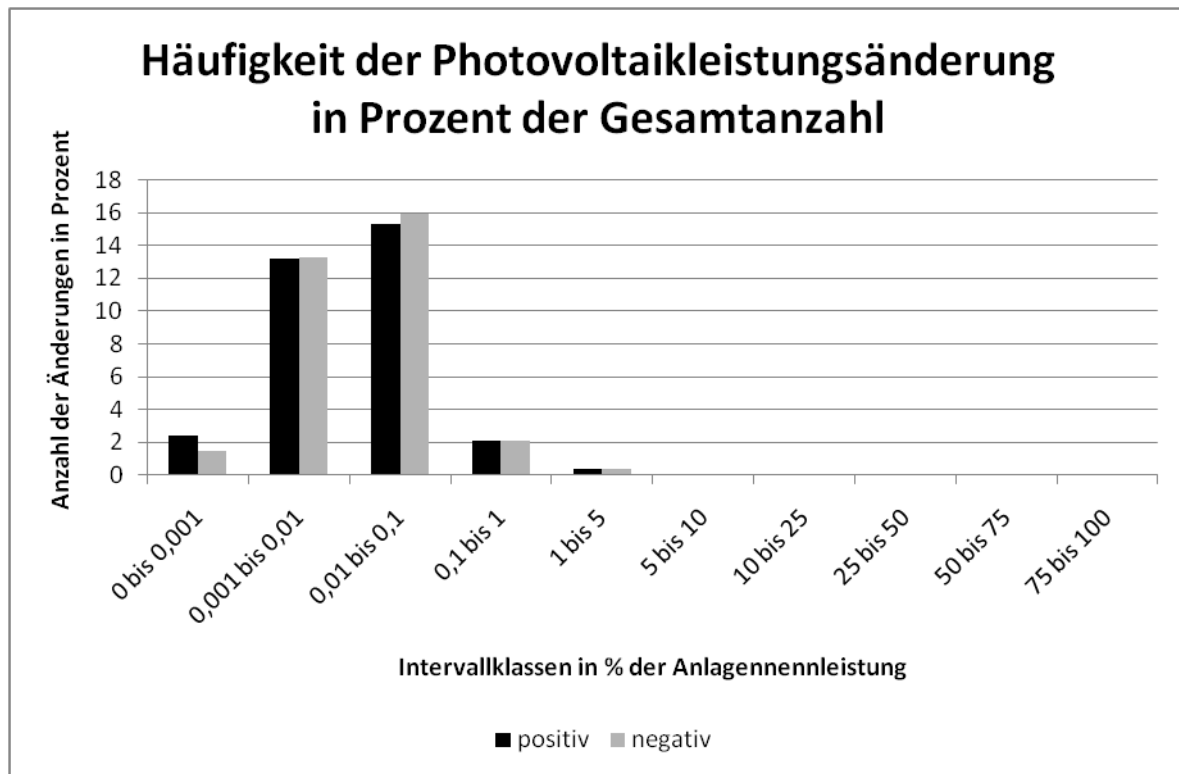


Abbildung 8: Häufigkeiten der Photovoltaikwirkleistungsänderung in Prozent zur Gesamtzahl für den gesamten Messzeitraum (Basis: Sekundenwerte)

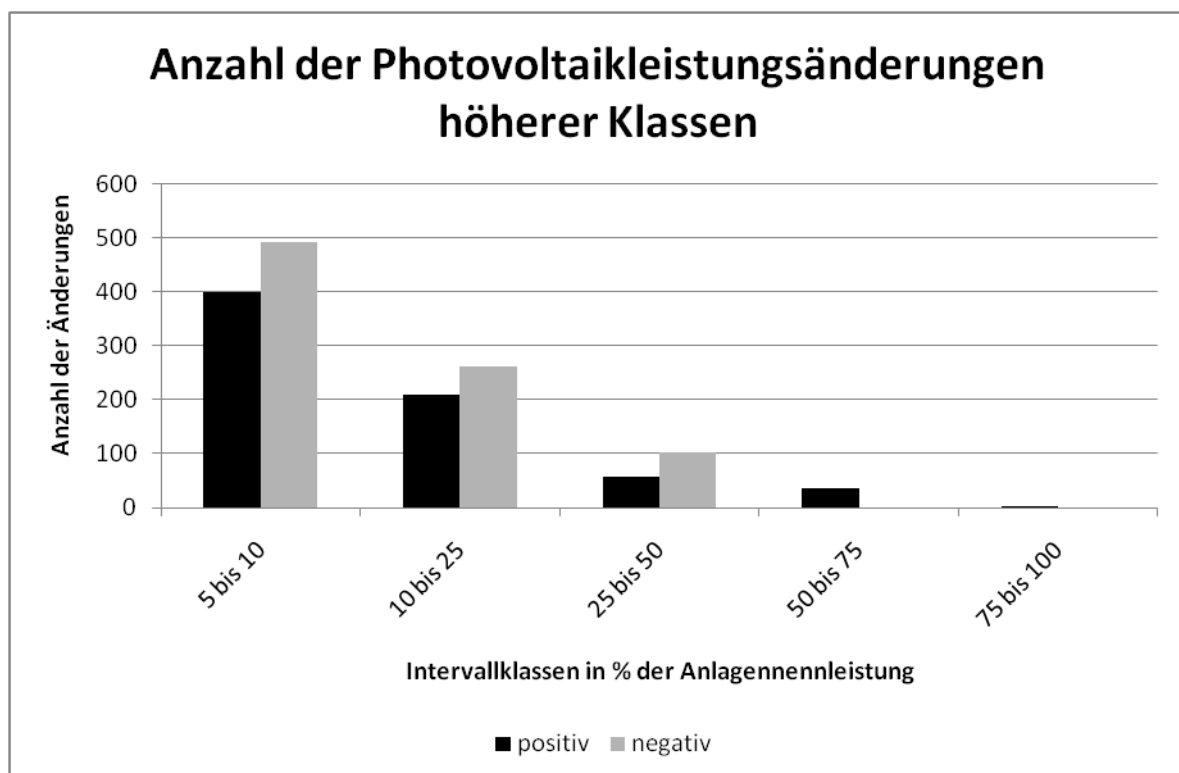


Abbildung 9: Häufigkeiten der Photovoltaikwirkleistungsänderungen höherer Klassen in absoluten Zahlen

In Verbindung mit der zu installierenden Photovoltaikleistung von ca. 400 kW, liegt die Kategorie 25 bis 50 % bereits im Bereich der erwarteten effizienten H0-Last ohne Elektromobilität (Maximalwert bei ca. 120 kW). Im Mittel traten Leistungsänderungen dieser Größenordnung pro Tag etwa achtzehn mal auf. Die höchsten Leistungsänderungsraten traten auch hier bei den positiven Leistungsänderungen auf.

## 2.5 Dynamische Analysen:

Die Ergebnisse aus detaillierten Verbrauchermessdatenanalysen zeigen, dass das zur Verfügung stehende Leistungsband der in ADRES angesetzten effizienten Verbraucher mit Speicherfunktion unterhalb der zu erwartenden Primärenergieleistungsschwankungen im Normalbetrieb liegt. Ausgehend vom normalen Lastprofil ohne Elektromobilität zeigt sich:

- Die maximal zuschaltbare Leistung der Geräte mit Speicherfunktion (ohne Boiler) liegt zwischen 12 und 15 % der insgesamt installierten Verbraucherleistung.
- Im Winter liegt die zuschaltbare Leistung von Geräten mit Speicherfunktion (ohne Boiler) zwischen 130 und 270 % des aktuellen Verbrauchswerts. Abschaltbar sind zwischen 30 und 54 %.
- Im Sommer ist die zuschaltbare Leistung zwischen 300 und 1400 % des aktuellen Verbrauchswerts. Die abschaltbare bezogene Leistung zwischen 27 und 38 %.

Da für die energetische Bilanzierung ohnehin thermische und elektrische Speicher vorhanden sein müssen, kann deren Anschlussleistung von diesen gleich an die maximal zu erwartende Überschussleistung angepasst werden.

Aufgrund der Häufigkeit und Höhe der zu erwartenden Leistungsänderungen wird bei der dynamischen Simulationen für die Bilanzierung als Regelmechanismus/-algorithmus ein Proportionalregelverhalten mit einem quadratischen, frequenzbasierten Ansprechverhalten zu Grunde gelegt.

Auswirkungen des Regelverhaltens:

- Gegenüber der linearen Proportionalregelung ist die maximal erforderliche Regelungsgeschwindigkeit verdoppelt. Bei den thermischen Speichern stellt dies keine besondere Herausforderung dar. Auch bei den erforderlichen elektrischen Speichern (Energieinhalt ca. Tagesverbrauch; maximale Entladeleistung entsprechend der zu Grunde gelegten Jahreshöchstlast) ist diese Regelungsgeschwindigkeit (z. B. Bleiakkumulatoren) i. A. erreichbar.
- Es tritt kein Frequenzüberschwingen bei Störungen des Leistungsgleichgewichts auf. Ergebnisse dazu sind Abbildung 10 zu entnehmen. Vor allem im Hinblick auf die hinterlegte Funktionalität der gesteuerten Einspeiseanlagen entsprechend virtueller Synchronmaschinen (siehe [3]) ist dies ein entscheidender Vorteil, da bei Unterschreitung des vorgesehenen Frequenzbandes der Wechselrichter kippen würde.

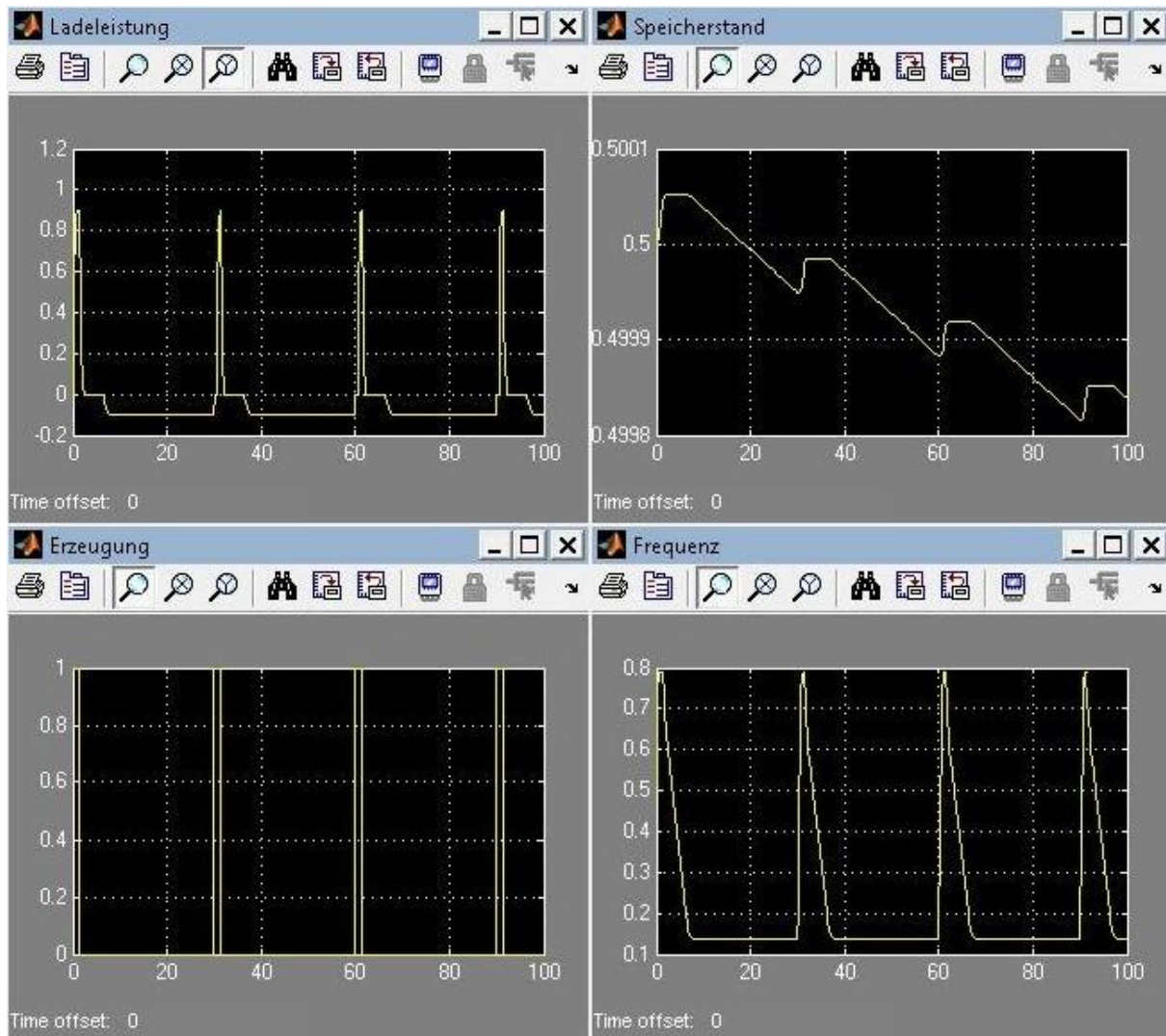


Abbildung 10: Ladeleistungs-, Speicherstands-, Erzeugungs- und Frequenzverlauf bei maximalen Erzeugungssprüngen (Sprungantwort) und energetischer Unterdeckung mit dem ADRES-Regelkonzept

### 3 Zusammenfassung und Ausblick:

Für die im Forschungsprojekt ADRES-Concept geltenden Rahmenbedingungen können folgende Erkenntnisse hinsichtlich der

- Die für die energetische Deckung notwendigen dargebotsabhängigen installierten Erzeugungseinheiten übersteigen die effizienten H0-profilbasierten erwarteten Lastwerte (inklusive Elektromobilität) um ein Vielfaches. Speziell, wenn keine Wasserkraft vor Ort zur Verfügung steht, kommt es durch die geringeren Volllaststunden und die geringe bzw. praktisch nicht vorhandene Korrelation zwischen Energienachfrage und Dargebot auf Seiten der Wind- und Photovoltaikanlagenleistungen zu einem massiven Überhang.
- Die zu erwartenden zu- und abschaltbaren Leistungen von Verbrauchern mit Speicherfunktion (ohne Boiler und exkl. der E-Mobilität) reichen bei massivem

Überhang der Erzeugungsleistungen nicht aus um ein Leistungsgleichgewicht herzustellen.

- Eine ungünstige Speicheraufteilung führt im Zusammenhang mit den installierten Einspeiseleistungen und der Struktur zu hohen Übertragungsleistungen im Netz. Diese liegt praktisch im Bereich der installierten Einspeiseleistung.
- Die hohen Übertragungsleistungen in Verbindung mit den auftretenden Entfernungen zwischen Erzeuger und Verbraucher bei Einsatz von Windenergieanlagen bedingt u. U. die Errichtung/Verwendung von Hochspannungsanlagen. (Hinweis: Ursprünglich wurde die Verbraucherkollektivgröße mit 200 HH festgelegt, da deren Lastverlauf normalerweise mit reiner Niederspannungsversorgung gewährleistet werden kann.)
- Hohe Übertragungsleistungen führen im „Verteilnetzbereich“ auf eine große Anzahl von erforderlichen parallelen Drehstromsystemen (Stichwort: Kupferplatte).
- Windenergie führt bei ADRES aus Sicht des elektrischen Netzes auf eine verbraucherferne Erzeugerstruktur.
- Die Dynamik der Ausgleichseinheiten für die Leistungsbilanzierung muss den netzseitigen Einspeiseschwankungen folgen können, da sonst kein stabiler, leistungsautonomer Netzbetrieb möglich ist.

Generell sind Parallelen der ADRES-Struktur zu zukünftig geplanten Strukturen der Netzregionen von ENTSO-E fest zu stellen.

- Hoher Anteil verbraucherferner Erzeugung (z. B. durch zunehmende Offshore Winderzeugung).
- Der Anteil der dargebotsabhängigen Primärenergie wird zunehmen. Aufgrund von Ausgleichseffekten werden sich die hier angesprochenen Leistungsschwankungen in Richtung Ausgleichsenergiebedarf verschieben.
- Es wird Zeitbereiche geben, in welchen der nachgefragte Verbrauch praktisch gänzlich durch „neue erneuerbare“ Energieeinheiten zur Verfügung gestellt wird. Daher ist es sinnvoll, dass die Netzdienstleistungen hinsichtlich Spannungshaltung und Blindleistungsbereitstellung und Aufrechterhaltung der Spannungsqualität auch von diesen erbracht werden.

Der erforderliche Netzausbau wird maßgeblich durch die zukünftige Erzeugungsstruktur und der Speicheranordnung bestimmt. Werden die Erzeugungsschwankungen am Ort der Entstehung abgefangen/engespeichert, so verringert sich i. A. die zu übertragende Leistung im elektrischen Netz. Im Speziellen sei darauf hingewiesen, dass die Dynamik der verwendeten Speichereinheiten und die Dynamik der Erzeugungsschwankungen sowohl für die Begrenzung der im Netz zu übertragenden Leistung als auch für den stabilen Netzbetrieb aufeinander abgestimmt sein muss.

## Literatur

[1]...ADRES-Concept – Autonomes Dezentrales Regeneratives EnergieSystem, Forschungsprojekt mit wissenschaftlichen und industriellen Partnern im Rahmen des

österreichischen Forschungsprogramms „Energie der Zukunft“, gefördert aus den Mitteln des Klima- und Energiefonds

[2]...EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen

[3]...Virtuelle Synchronmaschine; TU-Clausthal – Institut für Elektrische Energietechnik; Ralf Hesse, 2007