

# DSM-Potenziale in einer österreichischen Modellsiedlung

**Christoph Groß<sup>1</sup>, Christoph Maier<sup>1</sup>, Johannes Scalet<sup>1</sup>**

Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe,  
Gußhausstraße 25/370-1, 1040 Wien, Austria  
Tel.: +43 | (0)1 | 58801 | 370126, Fax: +43 | (0)1 | 58801 | 37399  
e-Mail: [groiss@ea.tuwien.ac.at](mailto:groiss@ea.tuwien.ac.at), [maier@ea.tuwien.ac.at](mailto:maier@ea.tuwien.ac.at)  
Web: <http://www.ea.tuwien.ac.at>

Vorarlberger Energienetze GmbH, Weidachstraße 10, 6900 Bregenz  
Tel.: +43 5574 9020-73727  
e-Mail: [Johannes.Scalet@vorarlbergnetz.at](mailto:Johannes.Scalet@vorarlbergnetz.at)

## **Kurzfassung:**

Im Rahmen des Projekts „aDSM - Aktives Demand-Side-Management durch Einspeiseprognose“ werden die Demand-Side-Management (DSM) Potenziale im Haushalt erhoben. Die Zielsetzung liegt hierbei in der Realisierung eines möglichst flexiblen Lastgangs. Dieser soll sich an die gegebene volatile elektrische Einspeisung regenerativer Erzeuger anpassen. Hierfür wird ein hierarchisch, skalierbares System mit dezentraler Intelligenz entwickelt, um mit Hilfe einer Photovoltaik-Einspeiseprognose die Lastverschiebungspotenziale aktiv und vorausschauend einzusetzen. Der Fokus liegt hierbei auf den Potenzialen im Haushaltsbereich bzw. in weiterer Folge auf der Verteilnetzebene.

In diesem Paper wird eine Modellsiedlung beschrieben, welche exakt die österreichischen Wohnverhältnisse auf einen Niederspannungsbereich abbildet. Ziel ist die Generierung einer fiktiven Siedlung, welche bezüglich der Netztopologie sowohl typisch ländliche als auch städtische Situationen darstellt. Mit diesem Ansatz wird gewährleistet, dass die Modellergebnisse dieser fiktiven Siedlung eine bestmögliche Verallgemeinerung zulassen. In weiterer Folge sollen anhand dieses Modellgebietes Aussagen über den Nutzen von DSM bezüglich der Steigerung des Photovoltaik Eigenverbrauchsanteils bzw. der Entlastung der Verteilnetze in Österreich getroffen werden.

**Keywords:** Demand-Side-Management, Verteilnetz, Modellsiedlung, Photovoltaik

## **1 Einleitung**

Demand-Side-Management (DSM) wird häufig mit den Zielsetzungen der Spitzenlastverringerung sowie der Lastgangglättung verbunden. Im Projekt aDSM hingegen wird das Ziel verfolgt, mit DSM einen möglichst flexiblen elektrischen Lastgang zu erreichen, welcher sich an die gegebene volatile elektrische Einspeisung regenerativer Erzeuger anpasst. Ein hierarchisch, skalierbares System mit dezentraler Intelligenz wird entwickelt, um

---

<sup>1</sup> Jungautor

mit Hilfe einer Photovoltaik-Einspeiseprognose die Lastverschiebungspotenziale aktiv und vorausschauend einzusetzen.

In diesem Paper soll auf das DSM- Potenzial im Haushalt eingegangen werden. Als Ausgangssituation wird eine Modellsiedlung mit einem hohen regenerativen Erzeugungsanteil untersucht. In einem ersten Schritt wird diese Modellsiedlung beschrieben und festgelegt. Bei der Zusammenstellung wird neben unterschiedlichen Haushaltsgrößen und Wohnverhältnissen die räumliche Anordnung und somit das elektrische Netz berücksichtigt.

In einem zweiten Schritt werden die Geräteausstattung in den Haushalten sowie das Verbrauchsverhalten analysiert. Für jede Gerätekategorie wird das theoretische DSM-Potenzial beschrieben. In Kombination mit den Betriebszeiten der Anwendungen kann daraus das praktisch nutzbare Lastverschiebungspotenzial bestimmt werden.

## 2 Modellsiedlung

Ziel des Projekts ist es, eine allgemeine Aussage über den Nutzen von DSM zur Entlastung bzw. besseren Ausnutzung der Kapazitäten im Niederspannungsnetzbereich zu treffen. Daher müssen typische Fälle der in Österreich vorkommenden Netzstrukturen und Netzbelastbarkeiten aufweisen. Im Hinblick auf das DSM-Potenzial ist vor allem zwischen ländlichem und städtischem Gebiet zu unterscheiden. [6]

Die Generierung eines synthetischen Verteilnetzes bietet den Vorteil, dass unterschiedliche Netzsituationen in einem einzigen Betrachtungsgebiet abgebildet werden können. Weiters ist die Zusammenstellung der eigentlichen Siedlung frei wählbar, sodass auch diesbezüglich eine „typische“ Situation modelliert werden kann. Dadurch ist eine Verallgemeinerung der Modellergebnisse möglich.

Ausgangspunkt für die Zusammenstellung „aDSM Modellsiedlung“ stellt die Gebäude- und Wohnungszählung der Statistik Austria dar, welche folgende Information über die Wohnverhältnisse in Österreich liefert [2]:

- Anzahl an Gebäude nach Gebäudekategorie
- Anzahl an Haushalten nach Gebäudekategorie und Haushaltsgröße
- Anzahl an Personen nach Gebäudekategorie und Haushaltsgröße

Aus den oben genannten Ausgangsdaten wurden die Werte für „Haushalte pro Gebäude“, „Personen pro Haushalt“ und „Personen pro Gebäude“ für jede Gebäudekategorie berechnet. Weiters wurde das Verhältnis zwischen den Kategorien bestimmt.

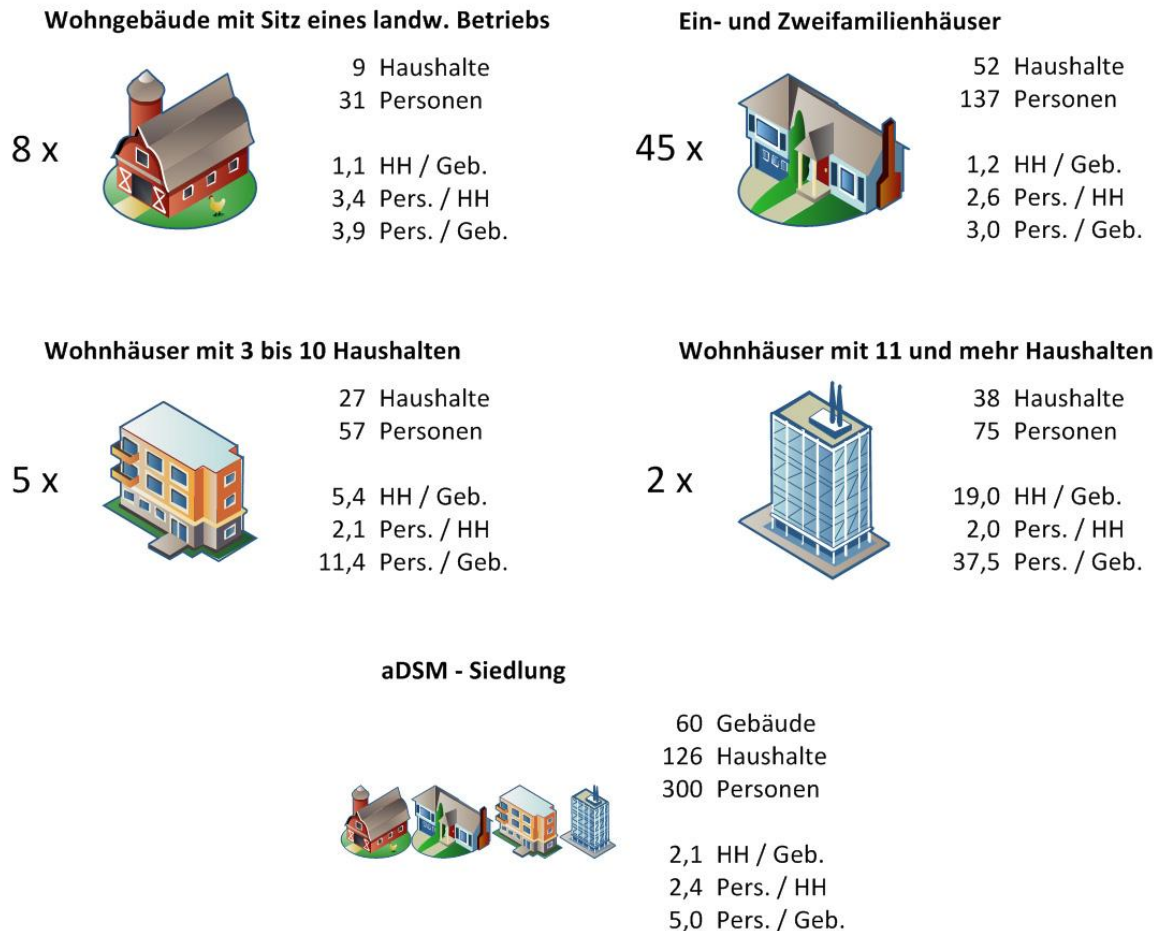


Abbildung 1: Österreich abgebildet auf eine Siedlung mit 300 Einwohnern

Durch Festlegen der Einwohnerzahl des Modellgebiets ergeben sich somit alle weiteren Kenndaten der Siedlung. Mit 300 Einwohnern ergibt sich eine Gesamtlast, welche typischen Größen von Ortsnetztransformatoren entspricht. Abbildung 1 zeigt die Zusammenstellung der Modellsiedlung. Die 300 Einwohner verteilen sich auf 126 Haushalte in 60 Gebäuden.

### 3 Netzstruktur der Modellsiedlung

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist die elektrische Vernetzung der zuvor beschriebenen 60 Gebäude festzulegen. Hierbei soll auf praktische Erfahrungswerte zurückgegriffen werden um typische Abstände der Gebäude in den unterschiedlichen Siedlungsgebieten darzustellen.

„Die Struktur der Netze ist wesentlich von dem Parameter *Lastdichte* abhängig, der die Summe aller Lasten – bezogen auf die Fläche – angibt. Bei niedrigen Lastdichten, wie sie z.B. in ländlichen Gegenden auftreten können, werden Strahlennetze bevorzugt. Diese Netzform besteht aus einer Reihe verzweigter Leitungen, die aus einer gemeinsamen Netzstation versorgt werden. Nachteilig an dieser Netzform ist, dass beim Einschalten großer Lasten die Netzspannung absinkt und dann nicht mehr ausreichend hoch ist. Weiterhin führen bereits einfache Ausfälle zu Versorgungsunterbrechungen bei vielen Verbrauchern.“ [3]

Eine alternative Netzform stellt die offen betriebene Ringleitung dar (siehe Abbildung 2 unteren beiden Abgänge). Diese Topologie wird in Gebieten mit höheren Lastdichten (z.B. städtischer Raum) vorzufinden. Hierbei kommen bevorzugt Kabel als Übertragungsmittel zum Einsatz. Sie werden entlang der Straßen verlegt und bilden einen Ring. Im normalen Netzbetrieb bleibt in der Mitte eine Trennstelle offen. Dadurch verhält sich die Ringleitung wie ein Strahlennetz. Im Fehlerfall kann diese Trennstelle am Ende des Halbringes geschlossen werden und mit zusätzlich im Ring angebrachten Trennstellen nur der fehlerbehaftete Teilabschnitt herausgenommen werden. Alle anderen Verbraucher können weiter versorgt werden. [3]

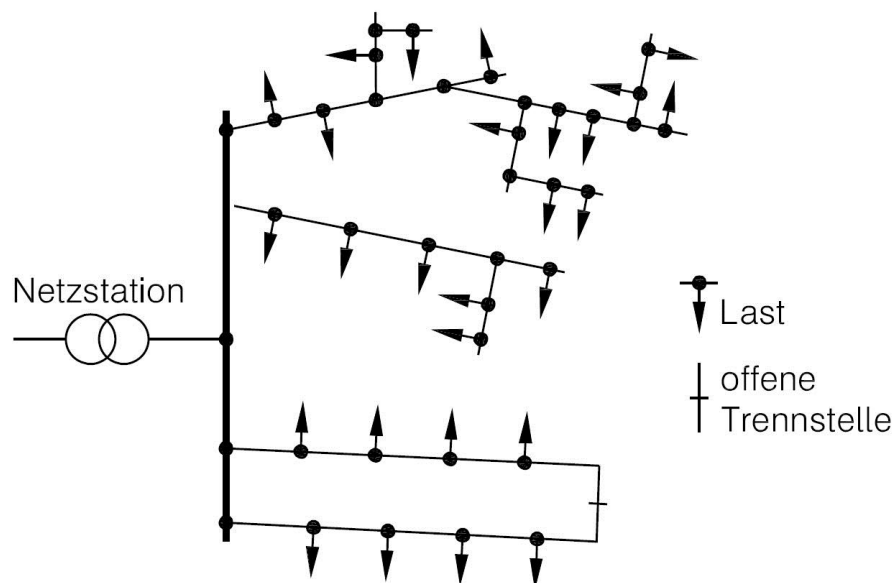
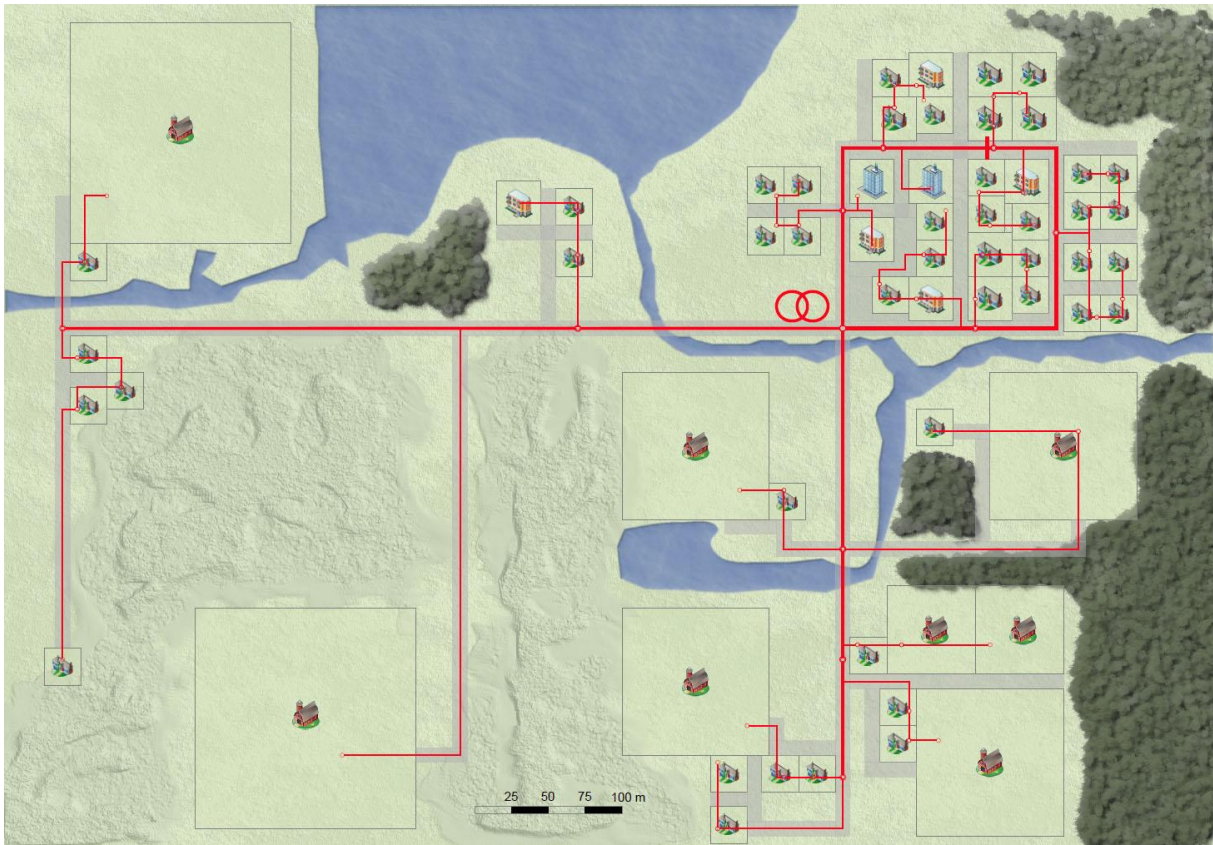


Abbildung 2: Netztopologie - Strahlennetz (oberen Abgänge) sowie offen betriebene Ringleitung (unteren Abgänge) [3]

Die Grundstruktur des Modellnetzes ist in Abbildung 2 dargestellt. Die aDSM Siedlung bildet die österreichischen Gebäude- und Wohnverhältnisse auf eine Modellsiedlung ab. Daher sollen auch die verschiedenen vorzufindenden Netzverhältnisse modelliert werden. In der Praxis wird sich eine Netzstation eher in einem Gebiet mit höherer oder niedrigerer Lastdichte befinden. Dementsprechend wird für alle Niederspannungsabgänge gleichermaßen entweder das Strahlennetzkonzept (oberes Teilbild) oder das Konzept der offen betriebenen Ringleitung (unteres Teilbild) zum Einsatz kommen. Das aDSM-Modellnetz weist das in Abbildung 2 dargestellte Mischkonzept der beiden Varianten auf. Der offene Ring repräsentiert somit den städtischen Bereich des Verteilnetzes während das Strahlennetz mit den z.T. langen Ausläufern verschiedene ländliche Verteilnetzbereiche darstellt.

Basierend auf den praktischen Erfahrungswerten wurden typische Kabellängen für die verschiedenen Netzgebiete und Gebäudetypen angenommen. Unter Berücksichtigung der Kabeldaten der Standardtypen wurde das elektrische Niederspannungsverteilstromnetz vollständig im Programm NEPLAN abgebildet. Als Anschlussleistung wurden typische Werte für Haushalte entsprechend der jeweiligen Gebäudekategorie hinterlegt.

Abbildung 3 zeigt eine maßstäbliche Zeichnung der Modellsiedlung. Diese dient einerseits, um ein Bild der Gebäudeverteilung zu schaffen. Andererseits ist dies ein Nachweis, dass die angenommenen Leitungslängen zu einer plausiblen räumlichen Anordnung der Gebäude führen. Im städtischen Bereich konnte eine Gebäudeanordnung gefunden werden welche die Vorgaben durch die Leitungslängen des offenen Rings erfüllt. Straßen und Gebäude konnten mit den angenommenen Größen gezeichnet werden, ohne dass es dabei zu Überlappungen der Flächen gekommen wäre. Die Kabellänge von den Knoten des Rings hin zu den Grundstücken war für alle Gebäude ausreichend, führte gleichzeitig aber auch zu keiner unrealistischen Schleifenbildung.



*Abbildung 3: Maßstabsgetreuer Plan der Modellsiedlung*

Im ländlichen Bereich ist im rechten unteren Bereich von Abbildung 3 eine „dörfliche Anordnung“ vorzufinden. Hier tritt eine Mischung aus relativ dicht bebauten Ein- und Zweifamilienhäusern und kleineren landwirtschaftlichen Betrieben auf. Im linken Bereich wird der Fall von weiter entfernten landwirtschaftlichen Betrieben berücksichtigt. Diese werden auch in Bezug auf AP4 relevant. Dort wird die lokale Verteilung der Photovoltaik-Einspeisung beschrieben. Für den Verteilnetzbetrieb stellen hierbei die weit entfernten Gebäude mit großer Dachfläche und damit potenziell hoher Photovoltaikleistung die kritischsten Fälle dar.

Mit der angefertigten maßstäblichen Darstellung der Gebäudeanordnung in Abbildung 3 wird einerseits gezeigt, dass die getroffenen Annahmen über Leitungslängen, Gebäudeverteilung und Grundstücksgrößen in sich zusammenpassen. Andererseits wird bildlich dargestellt, wie Österreich heruntergebrochen auf eine Siedlung mit 300 Einwohnern aussehen könnte.

## 4 Geräteausstattung und Gerätenutzung im Haushalt

In diesem Kapitel wird nun der Blick in die Haushalte selbst geworfen. Ziel ist es für die unterschiedlichen Haushalte die Anzahl an Geräte je Gerätekategorie zu bestimmen. In weiterer Folge die durchschnittliche Einsatzzeit und somit der mittlere Jahresenergieverbrauch je Gerätekategorie berechnet. Die Haushalte wurden in 8 Kategorien eingeteilt. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der beiden Gebäudetypen „Einzelhaus“ sowie „verdichteter Wohnbau“ sowie der Anzahl an Personen je Haushalt. Tabelle 1 zeigt in den ersten beiden Spalten die heruntergebrochene Verteilung der österreichischen Wohnverhältnisse auf die Modellsiedlung mit 300 Einwohnern bzw. 126 Haushalte. Die Geräteausstattung der Haushalte basiert auf statistischen Auswertungen [2], [7] sowie einer durchgeführten Umfrage [1]. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Geräteanzahl je Kategorie für österreichische Haushalte [1], [2], [7]

Haushalts-Typ	Anzahl Haushalte	Geräteanzahl je Haushalt							Heizen		Warmwasser		
		Kühl-schränke	Gefrier-schränke	Wasch-maschine	Wäsche-trockner	Geschirr-spüler	Fernseher	Computer	Wärme-pumpe	Heiz-körper	Umwälz-pumpe	Elektro-Boiler	Durchlauf-erhitzer
Haus 1	13	1,06	0,60	0,91	0,12	0,50	1,62	0,48	0,00	0,13	0,69	0,29	0,08
Haus 2	17	1,58	0,97	0,94	0,36	0,81	2,00	0,85	0,05	0,03	0,86	0,22	0,03
Haus 3	12	1,83	1,11	0,92	0,42	0,81	2,82	1,62	0,05	0,14	0,72	0,43	0,04
Haus 4+	19	1,87	1,20	0,91	0,44	0,87	2,62	2,13	0,09	0,05	0,85	0,30	0,03
Wohnung 1	29	1,09	0,26	0,83	0,09	0,50	1,12	0,70	0,00	0,13	0,20	0,46	0,08
Wohnung 2	19	1,25	0,54	0,86	0,12	0,69	1,55	1,16	0,00	0,08	0,39	0,41	0,03
Wohnung 3	9	1,23	0,48	0,91	0,20	0,78	1,88	1,76	0,00	0,00	0,38	0,44	0,00
Wohnung 4+	8	1,35	0,56	0,87	0,26	0,77	2,06	2,06	0,00	0,00	0,21	0,67	0,07
Gesamt	126	1,39	0,69	0,89	0,24	0,69	1,86	1,23	0,03	0,08	0,53	0,39	0,05

Jedem der 126 Haushalte in der Modellsiedlung wird nun eine konkrete Geräteausstattung zugeordnet. Mit den bekannten Jahresstromverbräuchen je Gerätetyp sowie dem Lastprofil des Kollektivs werden die Einsatzwahrscheinlichkeiten abgeleitet.

Die mittleren Geräteausstattungen werden nun auf die einzelnen Haushalte umgelegt. Dazu wird das in [5] beschriebene Tool verwendet. Die Werte aus Tabelle 1 werden benutzt, um Wahrscheinlichkeiten für die Anzahl an Geräten zu berechnen. Basierend auf einem Zufallsprinzip wird entsprechend dieser Wahrscheinlichkeiten die Ausstattung für die Haushalte (aufgeschlüsselt auf die acht unterschiedlichen Haushaltskategorien) definiert.

Der durchschnittliche Jahresstromverbrauch je Gerät wurde im entsprechend der Umfrage [1] sowie den Angaben der Statistik Austria [7] bestimmt. Durch den gegebenen Verbrauch und den hinterlegten Gerätekenndaten [5] ist somit die mittlere jährliche Einsatzzeit bekannt.

Mit Hilfe dieser Einsatzwahrscheinlichkeiten und der Geräteausstattung der Haushalte werden nun synthetische Lastprofile erstellt. Als Ergebnis des Tools [5] steht für jedes einzelne Gerät in den 126 aDSM-Haushalten ein synthetischer Jahreslastgang zur Verfügung. Der Zeitraster hierfür beträgt 1 min. Aufgrund der zugrundeliegenden Stochastik spiegeln diese synthetischen Profile die Verbrauchscharakteristik real gemessener Lastgänge von Einzelhaushalten wider. [5]

## 5 DSM – Potenzial im Haushalt

Die Verbraucher im Haushalt können grob in zwei Gruppen geteilt werden. Die erste Gruppe besitzt einen „Leistungsbedarf“ im Betriebsfall. Hierzu zählen vor allem die Sektoren „Beleuchtung“, „Unterhaltungselektronik“ und „private Büro-Ausstattung“. Diese Geräte

können in ihrem Einsatzzeitpunkt nicht verschoben werden. Es sind hier die Potenziale in der zeitweisen Verringerung der Leistungsaufnahme zu suchen. Im Gegensatz dazu besitzt die zweite Gruppe einen bestimmten „Energiebedarf“. Dies ist vor allem in den Sektoren „Waschen und Trocknen“, „Kühlen und Gefrieren“, „elektrische Warmwasseraufbereitung“ und „Heizung“ der Fall. Diese Gruppe ist dadurch charakterisiert, dass der Energiebedarf des Betriebs nicht beeinflusst werden kann. Allerdings besteht die Möglichkeit, den Einsatzzeitpunkt in gewissen Bereichen zu verschieben.

Tabelle 2 zeigt die Grenzen der Lastbeeinflussung. Die Variante „Basic“ beinhaltet nur jene Gerätekategorien, mit einer thermischen Zeitkonstante welche groß genug ist, sodass der Nutzer in seinem Verhalten nicht beeinflusst wird. Die Variante „Full“ beschreibt das vollständige Potenzial im Haushalt.

In den Arbeiten [8] und [4] werden die maximalen Abschalt Dauern der Gerätegruppen „Heizung“, „Warmwasser“, „Kühlschränke“, „Gefrierschränke“ angegeben. Von einem normalen Betriebszustand ausgehend sind dies jene Dauern in welchen das jeweilige Gerät vom Netz genommen darf, ohne dass dadurch ein unzulässiger Betriebszustand erreicht wird. Die Zeitangaben leiten sich im Wesentlichen von den thermischen Zeitkonstanten der Geräte sowie den zu erfüllenden Vorgaben ab. Abgeleitet aus den Arbeiten [4], [8] sowie eigenen Messungen wurde das Verhältnis aus mittlerer Leistungsaufnahme im Betrieb zur maximalen Leistung erhoben.

Tabelle 2: Grenzen der Lastbeeinflussung [4], [8]

Parameter	Variante "Basic"				Variante "Full"						
	Heizung	Warmwasser	Kühlschränke	Gefrierschränke	Waschmaschine	Wäschetrockner	Geschirrspüler	Fernseher	Computer	Beleuchtung	
Abschaltdauer [h]	18 h	11 h	2,5 h	6 h							
Verhältnis $P_{\text{mittel}} / P_{\text{Nenn}}$	0,25	0,083	0,25	0,25							
Einschaltverzögerung [h]					5 h	5 h	5 h				
Leistungsreduktion [%]								- 20%	- 30%	- 9%	
Standby Reduktion	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	

Die Einschaltverzögerung beschreibt die maximale Dauer zwischen dem unbeeinflussten Start des Programmablaufs bis zur tatsächlichen Ausführung. Basierend auf der Arbeit [8] wurde für die Sektoren „Waschmaschine“, „Wäschetrockner“, „Geschirrspüler“ jeweils von einer maximalen Einschaltverzögerung von 5h ausgegangen.

In Ausnahmesituationen steht über die Gerätegruppen „Fernseher“, „Computer“ und „Beleuchtung“ Anwendungen zur Verfügung, welche temporär in ihrer Wirkleistungsaufnahme beeinflusst werden können. In der Arbeit [4] wurden diese Einsparungspotenziale erhoben, welche im Wesentlichen auf der Helligkeitsreduktion von Beleuchtungsmittel und auch Monitoren beruht. Weiters ist in der Arbeit [4] der Standby Verbrauch je Gerätegruppe beschrieben. Dieser Verbrauch kann im Bedarfsfall ebenfalls durch eine DSM-Steuerung beeinflusst werden.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die österreichischen Bevölkerungs- und Wohnsituation wurde auf eine synthetische Modellsiedlung mit 300 Einwohnern heruntergebrochen. Die Größe der Siedlung entspricht einem vollständigen Niederspannungsnetzgebiet einer Ortsnetzstation. Sowohl aus Sicht der Gebäudeverteilung als auch aus Sicht der Netzstruktur beinhaltet diese Modellsiedlung gleichzeitig städtisch geprägte Bereiche sowie ländliche Gebiete.

Entsprechend einer durchgeführten Umfrage wurde für jeden der 126 Haushalte in der Modellsiedlung eine exakte Festlegung bezüglich der vorhandenen Geräteausstattung vorgenommen. [1], [2] Der Ausstattungsgrad wurde differenziert nach Gerätekategorie sowie Wohnverhältnisse modelliert.

Neben der Anzahl der Geräte ist der Jahresstromverbrauch je Gerätetyp und das Lastprofil des Kollektivs bekannt. [4] Mit Hilfe des in [5] beschriebenen Tools wurden nun für jedes Gerät in den 126 Haushalten synthetische Lastprofile erstellt. Bei dieser Methode wurde über Stochastik das Benutzerverhalten berücksichtigt.

Durch die Kenntnis der Ein- und Ausschaltzeiten der Geräte kann das DSM-Potenzial beschrieben werden. Mit der Festlegung einer maximalen Verschiebungszeit je Gerätekategorie sowie den thermischen Zeitkonstanten von Heiz-, Kühl und Gefriergeräten definieren sich die Regeln für den Einsatz von DSM im Haushalt. In weiterer Folge werden im Projekt diese Potenziale zur Erfüllung unterschiedlicher Zielfunktionen verwendet.

Das Projekt „aDSM“ wird aus den Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt.



### Literatur

- [1] TU Wien, ESEA - EA, „ADRES Concept,“ FFG, 2011.
- [2] Statistik Austria, „Gebäude- und Wohnungszählung 2001,“ Verlag Österreich GmbH, 1070 Wien, 2004.
- [3] K. Heuck, K.-D. Dettman und D. Schulz, Elektrische Energieversorgung, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010.
- [4] C. Groiß, „Power Demand Side Management - Potentiale und technische Realisierbarkeit im Haushalt,“ 2008.
- [5] F. Zeilinger und A. Einfalt, „Modell für hochauflösende synthetische Haushaltslastprofile,“ in 12. Symposium Energieinnovation, Graz, 2012.
- [6] S. Ghaemi, „Efficiency potential in private sector in ADRES,“ Dissertation, TU Wien - ESEA, 2011.
- [7] Statistik Austria, „Strom- und Gastagebuch 2008,“ Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien, 2009.
- [8] E. Schmutzger, M. Aigner, L. Fickert und M.-O. Anaca, „Leistungseinsparpotentiale elektrischer Haushaltsgeräte durch den koordinierten Einsatz smarter Technologien,“ in 7. Internationale Energiewirtschaftstagung, Wien, 2011.