

# INTEGRIERBARE DG-POTENTIALE KONKURRIERENDER SYSTEMLÖSUNGEN IM MODERNEN NIEDERSpannungsNETZ

Rainer Schlager, Michael Chochole

TU Wien Inst. für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, Gußhausstr.25 1050 Wien,  
0158801370112., schlager@ea.tuwien.ac.at, www.ea.tuwien.ac.at

**Kurzfassung:** Im derzeit laufenden Projekt SG\_ESSENCES wird eine Bewertung konkurrierender Systemlösungen im Themenfeld Smart Grid hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Kriterien durchgeführt. Im vom Inst. für Energiesysteme und Elektrische Antriebe bearbeitenden technischen Teil der Analysen werden die Möglichkeiten und Potentiale dieser Systemlösungen zur Erhöhung dezentraler Erzeugungsanlagen (PV-Anlagen) untersucht. Um Simulationen über längere Zeitreihen hinweg durchführen zu können und zukünftige mögliche Regelalgorithmen im Smart Grid in den Simulationen mit einbeziehen zu können, wurde ein, basierend auf einer kommerziellen Netzanalysesoftware, erweitertes Simulationstool entwickelt. Erste Analysen einfacher Netzstrukturen erfolgten bereits. Darauf aufbauend werden weitere Analysen unterschiedlicher Systemlösungen mit diesem Simulationstool durchgeführt.

**Keywords:** Netzintegration dezentraler Erzeugungsanlagen, Smart Grid,

## 1 Einleitung

### 1.1 Rahmenbedingungen

Aufgrund klimapolitischer Initiativen und nationaler und europäischer Energiestrategien kommt es voraussichtlich in den nächsten Jahrzehnten zu einem starken Ausbau erneuerbarer Energieträger. In Österreich bildet beispielsweise das Ökostromgesetz 2012 einen entsprechenden gesetzlichen Rahmen und gibt die Ausbauziele erneuerbarer Energieträger wie Wasserkraft, Windkraft, Biomasse und Biogas und Photovoltaik bis 2020 vor. In diesem wird für Photovoltaik im Zeitraum 2010 bis 2020 ein mengenmäßiges Ausbauziel von 1200-MW festgelegt. [1] Dies bedeutet bei Erfüllung der Ziele eine Steigerung der netzgekoppelten Ausbauleistungen von rund 90-MW [2] im Jahr 2010 auf über 1200-MW im Jahr 2020. Ein nennenswerter Anteil dieser Anlagen wird in den Niederspannungsnetzen integriert werden. Der überwiegende Teil dieser Netze ist derzeit mit passiven Elementen aufgebaut und die Leistungsflüsse gehen unidirektional von der überlagerten Mittelspannungsebene hin zu den Verbrauchern. Bei starker Integration dezentraler Erzeugungsanlagen im Allgemeinen und Photovoltaik im Speziellen ist zu bestimmten Zeitpunkten eine Umkehrung der Leistungsflüsse möglich. Diese Einflussfaktoren werden eine entsprechende Anpassung und Modernisierung der Niederspannungsnetze an die neuen Anforderungen nötig machen.

## 1.2 Zentrale Fragestellungen

Im derzeit laufenden Projekt SG\_ESSENCES werden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern des Energieinstituts an der JKU Linz, e7 und der Linz-Strom-Netz AG eine Bewertung konkurrierender Systemlösungen im Themenfeld Smart Grid hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Kriterien durchgeführt. Die übergeordneten Themenschwerpunkte sind:

- Vergleich verschiedener Systemkonfigurationen der Bereitstellung des Energieträgers Strom.
- Vergleich zwischen den Energieträgern, insbesondere der Vergleich zwischen dezentraler, netzgebundener Stromerzeugung und dezentraler aber nicht netzgebundener Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern.

Eine zentrale Fragestellung im technischen Teil der Analysen ist die Ermittlung der Möglichkeiten und Potentiale unterschiedlicher konkurrierender Systemlösungen im Niederspannungsnetz zur Erhöhung der Anzahl der dezentralen Erzeugungsanlagen (PV-Anlagen). Darauf aufbauend werden für diese Systemlösungen die benötigten Netzkomponenten und Infrastruktur identifiziert und für eine anschließende wirtschaftliche Bewertung aufbereitet.

## 1.3 Grenzwerte und wichtige Einflussfaktoren im Niederspannungsnetz

Im Niederspannungsnetz muss die Spannungsqualität eine Reihe von Merkmalen (Frequenz, langsame Spannungsänderungen, schnelle Spannungsänderungen, Flickerstärke,...) erfüllen. Die Beschreibung der wesentlichen Merkmale der Spannung an den Übergabestellen zum Kunden in den öffentlichen Nieder- und Mittelspannungsnetzen ist in den entsprechenden Normen (EN 50160, EN 60038,...) festgehalten.

Für die statische Bewertung der Höhe der integrierbaren dezentralen Erzeugungspotentiale werden für die nachfolgenden Analysen vor allem die Einhaltung der Spannungs- und Belastungskriterien als limitierende Faktoren zugrunde gelegt. Für die Bewertung von Spannungsbandverletzungen an den Übergabeknoten wurde das Toleranzband entsprechend  $(U-U_M) < (0,1 * U_N)$  herangezogen. Als Kriterien für die statische Bewertung der Belastung der Betriebsmittel werden deren thermischen Grenzströme verwendet.

Weitere wichtige Rahmenbedingungen bzw. Gegebenheiten im Niederspannungsnetz sind:

- Unsymmetrische Belastungszustände und -ströme
- Integration und Phasenzuordnung einphasiger Erzeugungsanlagen

Dies sind Faktoren, welche entsprechend den jeweiligen Belastungssituationen zu unsymmetrischen Phasenströmen in den Betriebsmitteln führen und somit im Vieleitersystem neben Mitsystem- auch Gegensystem- und Nullsystemströme hervorrufen.

## 2 Methode

Die technischen Analysen werden für Siedlungen im ländlichen Gebieten durchgeführt. Für diesen Bereich wurden repräsentative Netzstrukturen und Siedlungsstrukturen ausgewählt. Die Analysen der Netzzustände werden mit einem hierfür eigens erweiterten Lastflussstool durchgeführt.

### 2.1 Datenbasis

Als Datenbasis für die Netze dienen repräsentative Niederspannungsnetztopologien, welche gemeinsam mit den Projektpartnern festgelegt wurden. Aufgrund der häufigen Verbreitung im ländlichen Siedlungsbereich werden hierfür Strahlennetztopologien verwendet.

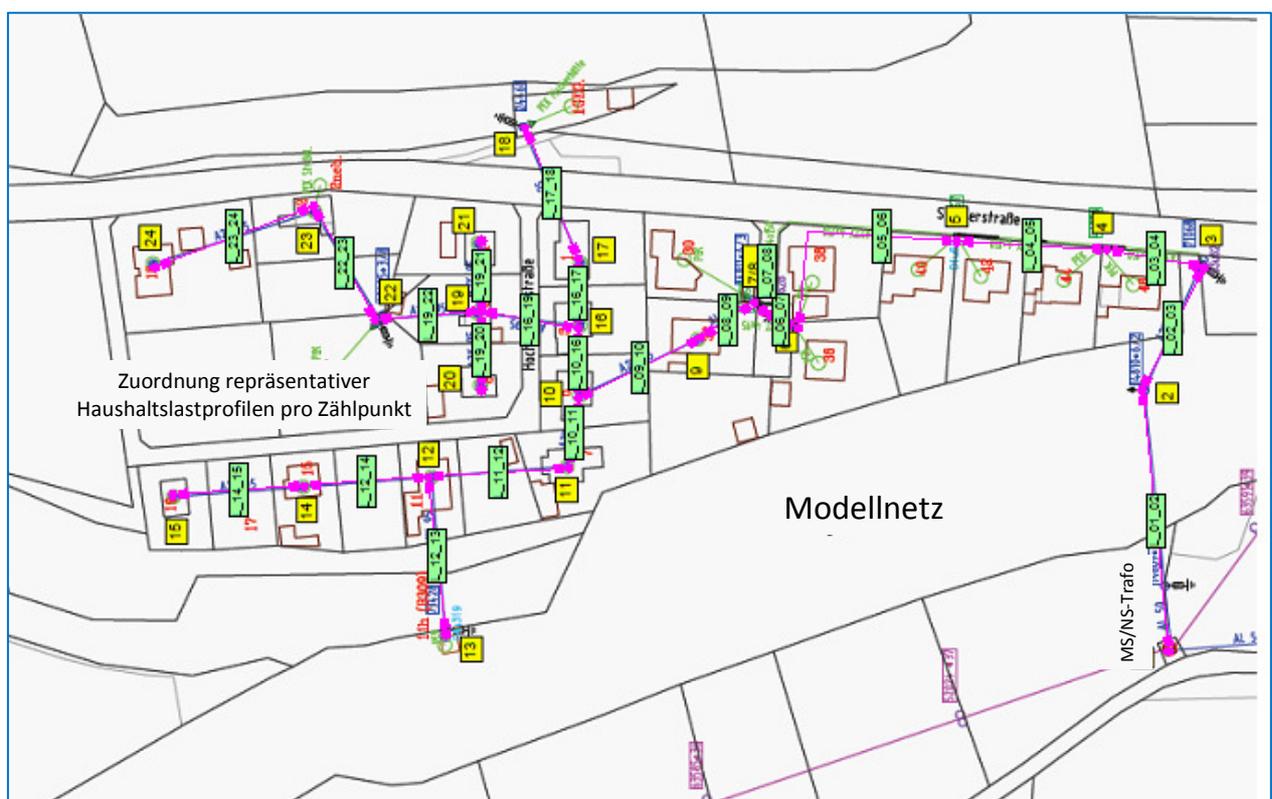


Abbildung 1: Modellnetz: Exemplarische Skizze eines der Modellnetze

Als Datenbasis für das Verbraucherverhalten dienen real gemessene Jahreslastgänge in viertelstündiger Auflösung. Einzelne Haushaltsanschlüsse haben im Niederspannungsnetz ein stochastisches Verhalten und nähern sich erst bei Betrachtung größerer Kollektive den standardisierten Profilen an. Um reale Situationen nachbilden zu können werden den einzelnen Lastabgängen (Hausanschlüssen) real gemessene Profile hinterlegt. In Abbildung 2 dargestellt ist der Jahreslastgang eines Haushalts mit einem elektrischen Jahresverbrauch von 4418-kWh/a.

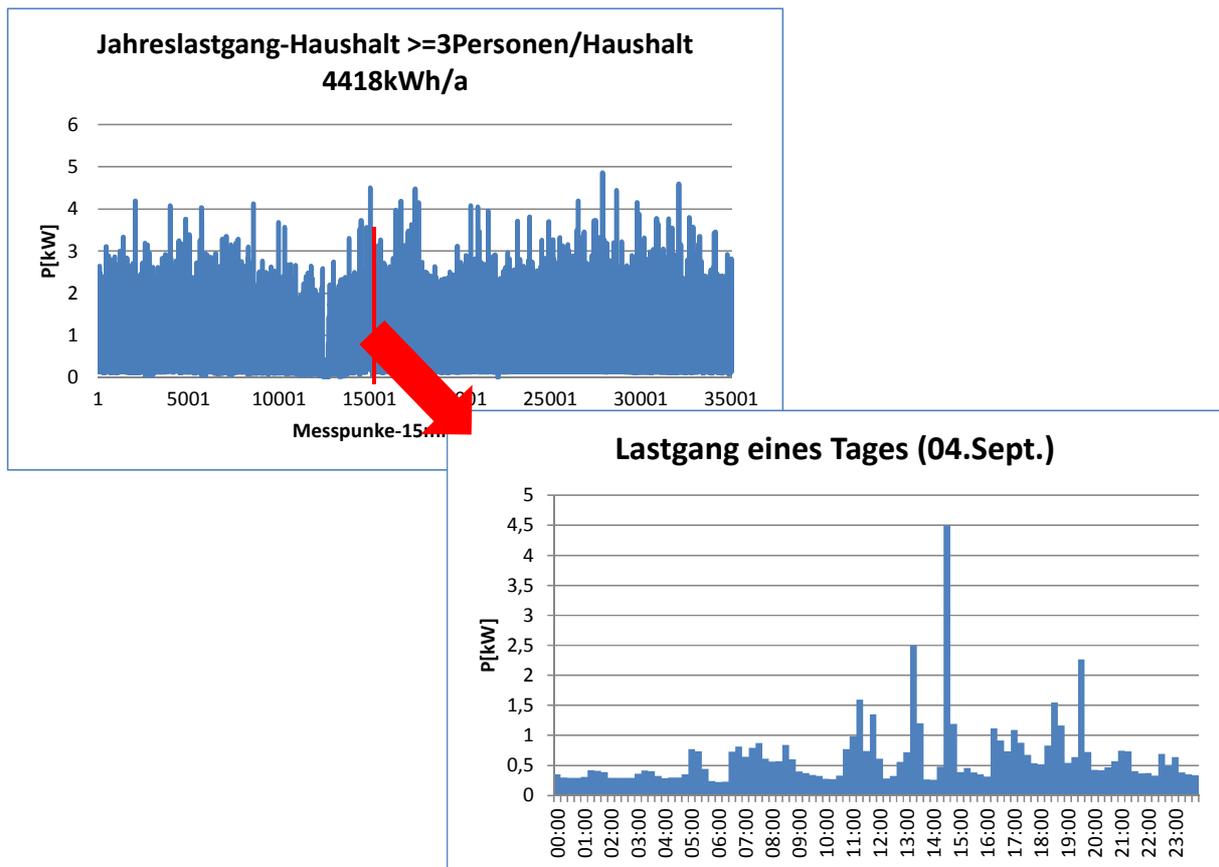


Abbildung 2: Exemplarisch dargestellt - Jahreslastgang eines Haushaltes

Als Datenbasis für erste Abschätzungen der maximal integrierbaren PV-Ausbauleistungen in das Modellnetz, dienen real gemessene Kurvenverläufe. In Abbildung 3 ist ein real an unserer Versuchsanlage gemessener Einspeiseverlauf eines schönen Augusttages dargestellt.

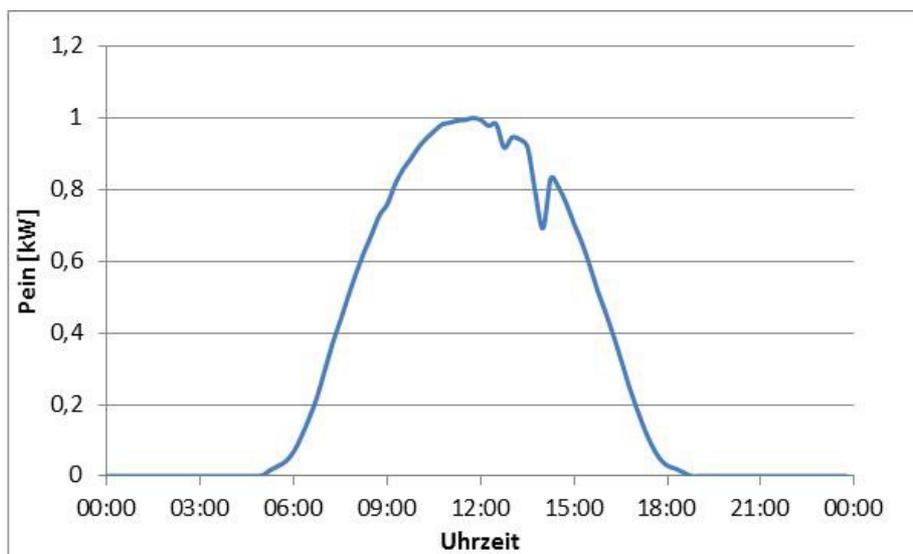


Abbildung 3: Real gemessenes Einspeiseprofil (Schönwetter-Augusttag)

## 2.2 Simulationsmodelle und –ansätze

Den Kern des Simulationsmodells bilden Lastflussberechnungen. Mit diesen werden die entsprechenden Belastungssituationen im Netz ermittelt. Die Lastflussberechnungen werden mit Hilfe des Netzsimulationstools NEPLAN durchgeführt. Um Simulationen über längere Zeitreihen hinweg und zukünftig mögliche Regelalgorithmen im Smart Grid in den Simulationen mit einbeziehen zu können, wird das Simulationsmodell mit Hilfe der NEPLAN Programming Library erweitert. In Abbildung 4 ist eine Schematische Übersichtsskizze des Modells dargestellt.

C++ Programm

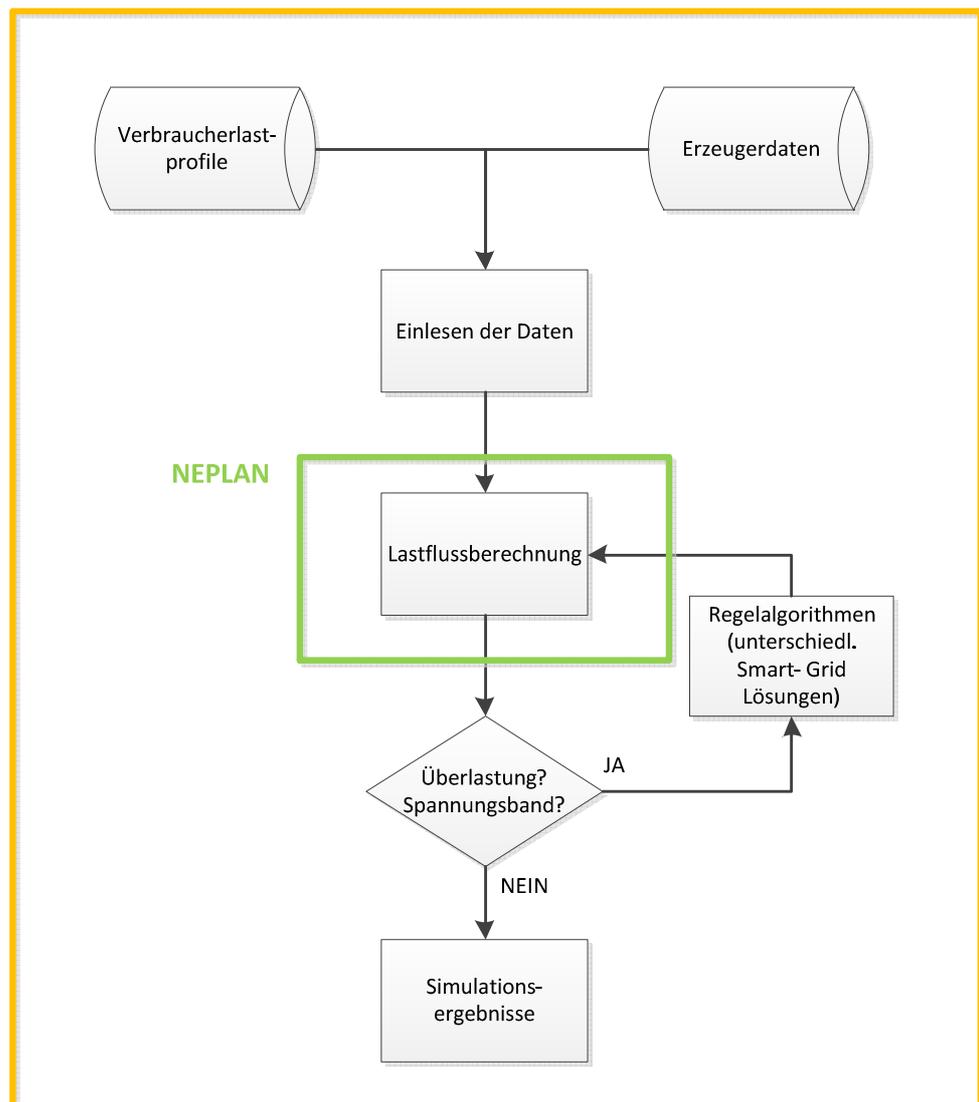


Abbildung 4: Vereinfachte Prinzip-Skizze des erweiterten Simulationsmodells

### **2.3 Konkurrierende Ansätze (Analysefälle)**

Ziel ist es, unterschiedliche konkurrierende Systemlösungen im Niederspannungsnetz einer Analyse hinsichtlich ihrer technischen Möglichkeiten zu unterziehen. Hierfür wird untersucht, welche Potentiale die einzelnen Ansätze besitzen um eine erhöhte Integration an dezentralen Erzeugungsanlagen (PV-Anlagen) zu ermöglichen.

Für die Bewertung konkurrierender Systemlösungen innerhalb des Energieträgers Strom sind folgende Grundscenarien entworfen worden.

- Potentiale und Möglichkeiten bei derzeitigem Ausbauzustand des Netzes
- Nötige Netzausbauszenarien für einen erhöhten Anteil an dezentraler Energieerzeugung
- Potentiale und Möglichkeiten einzelner technischer Smart Grid Ansätze
  - Regelbarer MS/NS Trafo - „Smart Trafo“
  - Drosselbare Wechselrichter (bei „kritischen“ Netzzuständen)
  - Blindleistungsbeeinflussung der Einspeisung

## **3 Erste Ergebnisse und Ausblick**

### **3.1 Erste Ergebnisse der Simulationen des Grundmodells**

Für die ersten Analysen wurde für das Modellnetz, dargestellt in Abbildung 1, eine Modellsiedlung durch Zuordnung repräsentativer Haushaltsprofile konstruiert. Die Haushaltsprofile und Einspeiseprofile der Photovoltaikanlagen sind als symmetrische Verbraucher und Erzeuger angenommen.

Die Analyse der Netzzustände ohne Integration dezentraler Erzeuger (PV) bildet ein Grundscenario anhand dessen weitere Fälle und deren Netzzustände verglichen und bewertet werden können. In Abbildung 5 ist der jährliche Verlauf der Knotenspannungen dieses Basisfalls dargestellt. Die Knotenspannungen sämtlicher Abgabeknoten befinden sich zu jedem Zeitpunkt innerhalb der Toleranzgrenze.

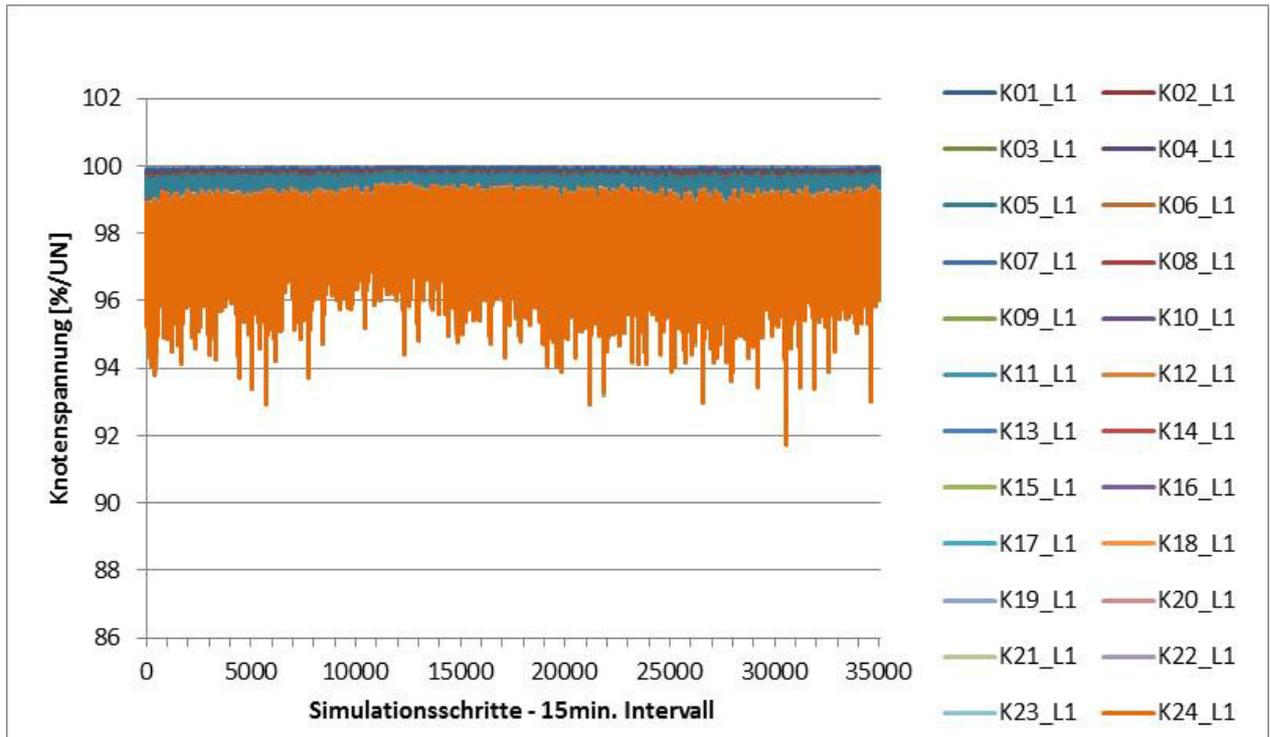


Abbildung 5: Netz ohne PV-Einspeisung: Jahresverlauf der Knotenspannungen

In Abbildung 6 ist der jährlichen Verlauf der Belastungszustände der einzelnen Leitungselemente im Basisfall dargestellt. Die Belastungen der Elemente bewegen sich in einem Bereich von Null bis etwas über 25% der thermischen Grenzströme.

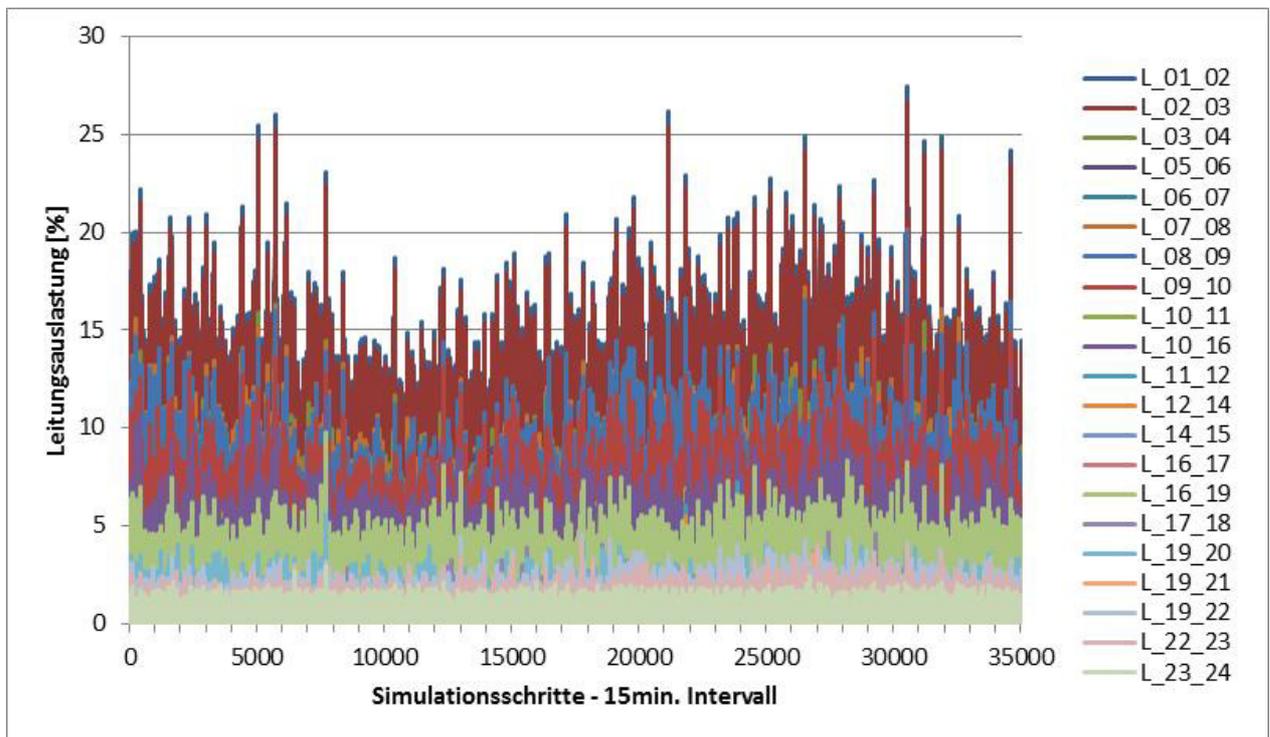
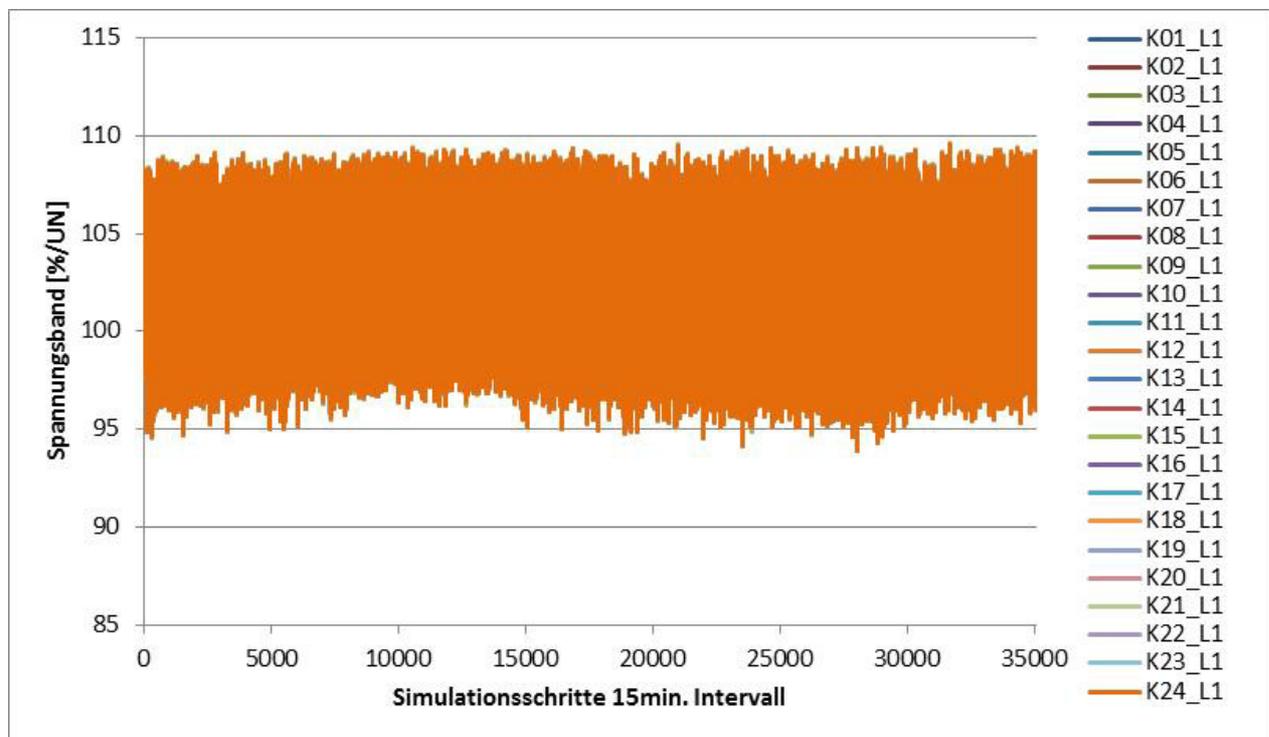


Abbildung 6: Netz ohne PV-Einspeisung: Jahresverlauf der Leitungsbelastungen

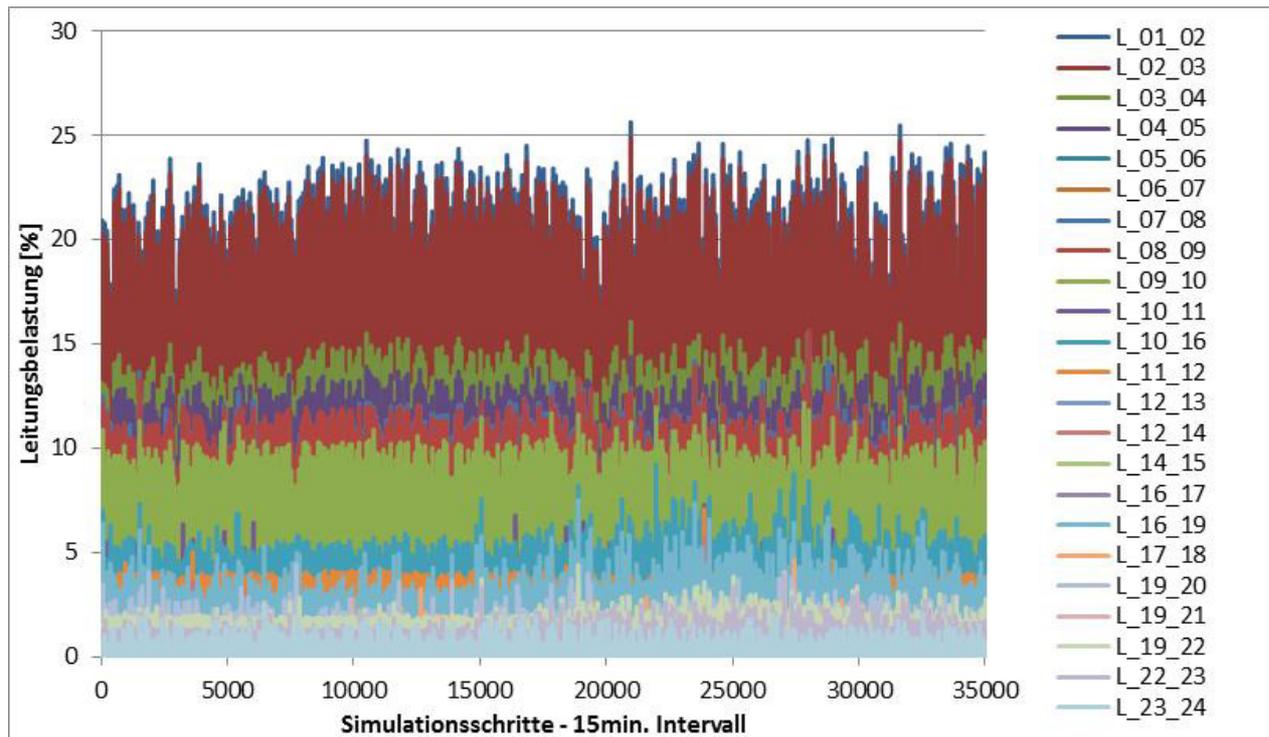
Die Analysen des Grundfalls dieser Modellsiedlung zeigen, dass es zu keinen Spannungsband Verletzungen und Betriebsmittelüberlastungen kommt.

Für die erste Ermittlung der integrierbaren PV-Leistungen des Modellnetzes im Grundausbauzustand, wurde der obige Basisfall mit dezentralen PV-Erzeugungsanlagen erweitert. Hierfür wurde jedem Zählpunkt (Haushalt) eine skalierbare Ausbauleistung der PV-Anlage zugeordnet. Um die max. Ausbauleistung zu erhalten, wurde jedem Tag ein „Schönwetterprofil“ hinterlegt. Hierdurch wird jedem Tag ein hohes Einspeiseprofil bei Schönwetter „unterstellt“. Dadurch erhält man aus Sicht der Netzbelastung einen täglichen „hohen-Belastungs“-Fall bei starker PV-Einspeisung. Dies ermöglicht es Aussagen bezüglich der ins Netz integrierbaren Ausbauleistungen zu erhalten bzw. die Grenzen, ab denen es zu Spannungsband Überschreitungen oder thermischen Überlastungen im Netz kommt, zu ermitteln.



**Abbildung 7: Netz mit Einspeisung (2,25-kW-peak/Zählpunkt.): Jahresverlauf der Knotenspannungen**

In Abbildung 7 ist der Spannungsverlauf über das gesamte Jahr betrachtet dargestellt. Der Spannungsverlauf am Knoten K24 (Netzausläufer) besitzt die größten Spannungsänderungen und gibt somit die Grenzen der integrierbaren Leistungen vor. In dem dargestellten Fall wurde jedem Zählpunkt eine maximale Einspeiseleistung zur Mittagszeit von 2,25-kW zugewiesen.



**Abbildung 8: Netz mit Einspeisung (2,25-kW-peak/Zählpunkt.): Jahresverlauf der Leitungsbelastung**

Die Belastungszustände der Betriebsmittel bewegen sich in diesem Belastungsfall in einem Bereich von höchstens 26%.

### 3.2 Zusammenfassung

Als Datenbasis für die Analysen stehen mehrere repräsentative Modellnetzstrukturen im Niederspannungsbereich, eine breite Datenbasis an real gemessenen Haushaltslastprofilen und Erzeugungsprofilen zu Verfügung. Um die Möglichkeiten unterschiedlicher Smart Grid Strategien nachbilden zu können, wurde ein erweitertes Lastflusstool entworfen. Erste Analysen des Basisfalls (Netz im Grundausbauzustand, symmetrische Verbraucher und Erzeuger) zeigen, dass in typischen ländlichen Netzstrukturen bei Erhöhung der dezentralen Erzeugungsleistungen (PV-Anlagen), Probleme mit der Einhaltung der Spannungsgrenzen gegenüber den thermischen Überlastungen dominieren. Aufbauend auf diesen Basisfall werden mit Hilfe des erweiterten Lastflusstools Analysen unterschiedlicher Ausbaustufen und intelligenter Smart Grid Ansätze durchgeführt.

### 3.3 Output der technischen Analysen und Ausblick

Basierend auf den obigen Datengrundlagen und entwickelten Simulationsmodellen wird eine Reihe an Systemlösungen untersucht. Für die einzelnen Systemlösungen werden die ins Niederspannungsnetz integrierbaren, dezentralen Erzeugungspotentiale (PV-Anlagen) ermittelt.

Als Output soll ein klar strukturierter Lösungskatalog mit Möglichkeiten und Potentialen der einzelnen Systemlösungen zu Verfügung stehen.

## 4 Literaturverzeichnis

- [1] B. F. d. R. Österreich, „www.e-control.at,“ [Online]. Available: [http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/oeko-energie/dokumente/pdfs/%C3%96SG%202012\\_Kundmachung\\_BGBLA\\_2011\\_I\\_75\\_29.07.2011.pdf](http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/oeko-energie/dokumente/pdfs/%C3%96SG%202012_Kundmachung_BGBLA_2011_I_75_29.07.2011.pdf). [Zugriff am 23 01 2012].
- [2] M. E. R. E. H. F. e. a. Peter Biermayer et al., „Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2010,“ bmvit, 26/2011.