

Netzbelastung ausgewählter Verteilungen und Abgänge eines Krankenhauses als Grundlage zur Auslegung und Planung von Notstromsystemen

Sebastian Seifried^{1*}, Tobias Lechner¹, Johanna Timmermann²,
Claudia Bernecker-Castro², Andreas Altmann³, Jens Kühne³, Michael Finkel¹,
Rolf Witzmann²

¹Technische Hochschule Augsburg, An der Hochschule 1, 86161 Augsburg (DE),
Tel.: +49 821 5586-3639, sebastian.seifried@tha.de, www.tha.de

²Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München (DE), Tel.: +49 89 28901,
www.tum.de

³Universitätsklinikum Leipzig, Liebigstraße 20, 04103 Leipzig (DE), Tel.: +49 341 97109
www.uniklinikum-leipzig.de,

Kurzfassung: Durch den Wandel in der elektrischen Energieerzeugung von zentralen Großkraftwerken hin zu vielen verteilten dezentralen Erzeugungsanlagen wie z.B. Wind, PV-Anlagen, ist vermehrt große Erzeugungspotential in den Verteilnetzen vorhanden. Während eines Stromausfalls bleibt dieses Erzeugungspotential nach heutigem Stand in vielen Fällen ungenutzt, da die meisten Notstromsysteme auf Dieselgeneratoren zurückgreifen. In den Forschungsprojekten LINDA und LINDA 2.0 wurden Konzepte entwickelt, dieses Potential für eine Notstromversorgung mittels Inselnetzen für Kritische Infrastrukturen zugänglich zu machen. Um im Voraus abschätzen zu können, ob mit einer inselnetzbildenden Einheit, wie beispielsweise einem Batteriespeicher, die Verbraucher einer Kritischen Infrastruktur betrieben werden können, muss vorher deren Energiebedarf, Leistungsverlauf und Zuschaltverhalten grob bekannt sein. Im Projekt LINDA 2.0 werden unterschiedliche Kritische Infrastrukturen hinsichtlich deren Energiebedarf und deren Zuschaltverhalten analysiert und eine Datenbasis hierfür geschaffen. In dieser Veröffentlichung werden speziell die elektrischen Eigenschaften einiger Verbraucher und Abteilungen eines Krankenhauses beschrieben.

Keywords: Kritische Infrastrukturen, Krankenhaus, Inselnetz

1 Motivation

Inselnetzbildende Einheiten werden zur Notstromversorgung Kritischer Infrastrukturen verwendet und stellen bei einem Ausfall des überlagerten Netzes ein Ersatznetz zum Betrieb von essentiellen Verbrauchern zur Verfügung. Als inselnetzbildende Einheit kann ein Dieselgenerator, ein Wasserkraftwerk, eine Biomasseanlage, ein Batteriespeicher in Verbindung mit einer Photovoltaik- oder Windenergieanlage oder auch andere schwarzstartfähige Kraftwerkstypen verwendet werden. Die verschiedenen inselnetzbildenden Einheiten unterscheiden sich hinsichtlich ihrem Primärenergievorrat, ihrer Spitzenleistung, ihrer Lastschaltperformance, sowie deren maximalen Ausgangsströmen. Als Beispiel ist in Abbildung 1 a) die Zuschaltung eines Kompressors an einer 275-kVA-Netzersatzanlage (NEA) mit Dieselgenerator und in Abbildung 1 b) die Zuschaltung desselben Kompressors an einem netzbildenden Wechselrichter mit Batteriespeicher gegenübergestellt.

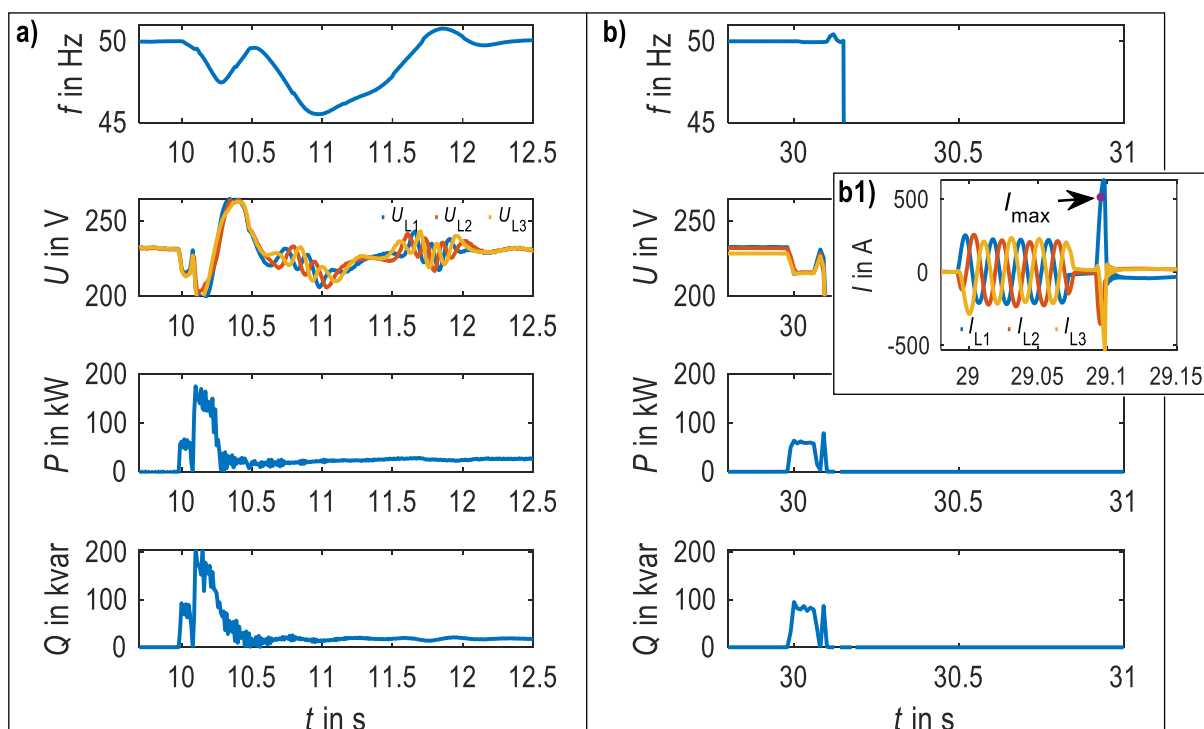


Abbildung 1: Zuschaltung eines Kompressors mit Stern-Dreieck-Anlauf a) 275 kVA-NEA; b) 250 kVA-Netzbildender Wechselrichter mit gemessenem Stromverlauf in b1)

Die 275-kVA-NEA kann die Zuschaltung des Kompressors ausregeln und anschließend betreiben. Hingegen löst die Umschaltung von Stern- auf Dreieckschaltung beim netzbildenden Wechselrichter den Überstromschutz aus (I_{\max} in b1) von Abbildung 1) und führt zu einem Abschalten des Wechselrichters. Dies zeigt die Notwendigkeit, dass nicht nur der Energiebedarf und die maximale Leistungsänderung für die Neuplanung von Notstromsystemen berücksichtigt werden muss, sondern auch die Maximalströme der Verbraucher bzw. Abgänge während der Zuschaltung berücksichtigt werden müssen.

2 Methodik

Anhand des Energiebedarfs kann abgeschätzt werden, ob der Energievorrat für die auslegungsrelevante Dauer einer Notstromversorgung ausreichend ist, oder ob auf einen

anderen Primärenergieträger zurückgegriffen werden muss. Der Leistungsverlauf am Netzverknüpfungspunkt und das Zuschaltverhalten einzelner Geräte gibt Aufschluss darüber, ob die Integration des untersuchten Abgangs zu einer Schutzauslösung führt. Dabei werden gesamte Niederspannungshauptverteilungen von Gebäuden sowie ausgewählte maßgebliche Einzelverbraucher oder Abteilungen analysiert. Da diese im Hinblick auf eine Notstromversorgung mit spürbaren Lastsprüngen zugeschaltet sowie im Betrieb mit spürbaren Lastschwankungen betrieben werden würden.

Während des regulären Betriebs eines Krankenhauses werden verschiedene Niederspannungshauptverteilungen und Abteilungen, die essentiell für die Versorgung von Patienten sind mit einem Leistungsmessgerät der Klasse A vermessen. Das Messgerät verfügt über eine Störschreiber-Funktion, die es ermöglicht 10-ms-RMS- und Oszilloskopbilder aufzuzeichnen, mit denen das Zuschaltverhalten der in der entsprechenden Abteilung vorhandenen Verbraucher zu analysieren. Es wird nicht im Detail auf einzelne Geräte eingegangen, sondern primär der Verlauf von Wirk- und Blindleistung sowie den Maximalströmen während des Betriebs betrachtet. Die Kenntnis dieser Größen und Verläufe sind ausschlaggebend für die Planung und den Betrieb einer Inselnetznotversorgung nach dem LINDA Prinzip.

3 Bisherige Umsetzung und Voraussetzungen für die Integration in ein überlagertes Inselnetz

Die wichtigsten Verbraucher eines Krankenhauses werden von der Sicherheitsverteilung (SV) gespeist. Die SV wird während eines Netzausfalls durch eine Netzersatzanlage (NEA) gespeist. Zahlreiche Verbraucher der SV haben zusätzlich eine unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (USV) um die Zeit bis die NEA die SV speist zu überbrücken. Alle Verbraucher ohne Notstromversorgung werden über die Allgemeinversorgung (AV) gespeist. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt. Bei Ausfall des überlagerten Netzes wird die SV vom Netz getrennt (Öffnen von S1) und durch eine Netzersatzanlage (NEA) versorgt (Schließen von S2). Die Trennung vom ausgefallenen, überlagerten Netz und anschließende Zuschaltung der Netzersatzanlage auf die SV erfolgt in der Regel automatisiert.

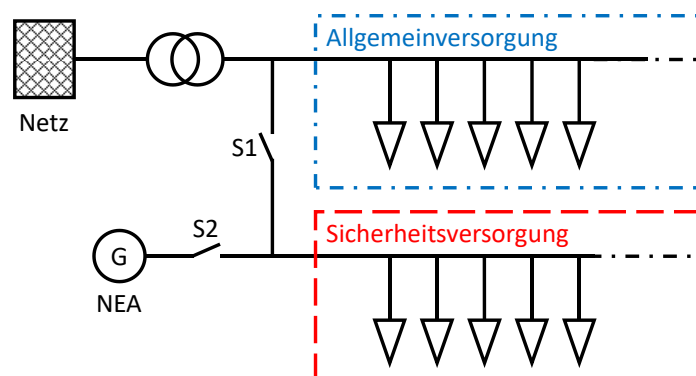


Abbildung 2: Schematischer Aufbau einer Verteilung eines Krankenhauses

Für die bisherige Notstromversorgung von Krankenhäusern wird überwiegend auf einzelne Niederspannungs-Dieselgeneratoren zurückgegriffen. Je nach Größe des Krankenhauses können auch mehrere Sicherheitsversorgungen und NEA vorhanden sein.

Konventionelle Stromversorgungen mit NEA ermöglichen oft nur den Betrieb von ca. 50 % der Verbraucher eines Krankenhauses. Bei der Ersatzversorgung durch ein Inselnetz nach dem Vorbild der Konzepte aus LINDA [1] und LINDA 2.0 [2] wird ein Netz am Netzverknüpfungspunkt zum überlagerten Netz zur Verfügung gestellt und ermöglicht eine Vollversorgung, solange der Leistungs- und Energiebedarf gedeckt werden kann. Daher ist mit veränderten Anforderungen hinsichtlich Leistungsbedarf und Laständerungsverhalten zu rechnen.

Für das untersuchte Krankenhaus ist zukünftig eine zusätzliche Ersatzversorgung durch ein Inselnetz in Planung, welches das bestehende Notstromsystem ergänzen soll. Dabei wird nach Ablauf einer bestimmten Ausfallzeit des Netzes die Notstromversorgung basierend auf einzelnen NEA durch ein Inselnetz mit einem benachbarten BHKW ergänzt, um den Dieselvorrat im Krankenhaus zu reduzieren, die Dauer der Notstromversorgung zu verlängern und zusätzlich alle Verbraucher der AV betreiben zu können.

4 Ergebnisse ausgewählter Geräte und Abgänge

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse für einzeln vermessene Abgänge sowie zwei ausgewählte Niederspannungshauptverteilungen von gesamten Abteilungen vorgestellt. In Tabelle 1 ist ein Überblick über die maximalen stationären Laständerungen, die maximal gemessenen Stromwerte sowie die maximalen Werte des gemessenen Leistungsfaktors gegeben. Um eine Vorstellung der angeschlossenen Verbraucher an den jeweiligen Abgängen und Abteilung zu bekommen folgt eine Kurzbeschreibung jedes Messpunkts.

4.1 Kurzbeschreibung der Abteilungen

Urologie: In der Urologie werden Uroskope (Durchleuchtungs-Röntgen-Geräte) sowie ein Lithotripter (Stoßwellengerät) eingesetzt. Die vermessene Verteilung versorgt zudem auch die normalen (SV-würdigen) Steckdosen und Beleuchtungen, Türen, etc. Es handelt sich hier nicht um eine Verteilung für Großgeräte.

Informationsschwerpunkt (ISP): Die Aufgabe eines ISP besteht in der Regel darin, die erforderliche Hardware und Elektronik zu beherbergen, um die verschiedenen Komponenten der Gebäudeautomation zu steuern und zu überwachen. Das können beispielsweise Steuerungssysteme, Sensoren, Aktoren und Kommunikationseinrichtungen sein. Der ISP fungiert als zentraler Punkt, an dem diese Komponenten zusammenkommen und miteinander kommunizieren können. Die genauen Aufgaben können je nach den spezifischen Anforderungen und dem Einsatzzweck in der Gebäudeautomation variieren. Mit Hilfe der Gebäudeautomation überwachte Systeme sind zum Beispiel Heizungsanlagen, Kälteversorgung, Lüftungsgeräte, Sanitäranlagen, Elektrik oder medizinische Gasversorgungen.

Dampferzeugung: Dampf wird in Krankenhäusern zur Reinigung und zur Sterilisation von Operations-Besteck, Endoskope, medizinische Behältnisse, etc. eingesetzt. Diese Abteilung ist in jedem Krankenhaus zu erwarten. Der Dampf wird im betrachteten Krankenhaus mit Heizöl erzeugt, was bedeutet, dass lediglich die Infrastruktur zur Dampferzeugung an diesem Abgang während der durchgeführten Messung betrieben wurde. Für einen Ausfall des Dampfkessels oder Wartungsarbeiten ist zusätzlich eine elektrische Dampferzeugung

vorhanden. Hierdurch ist mit einer Erhöhung des elektrischen Energiebedarfs um den Faktor 3-5 zu rechnen.

Sterilisation: In der Dampfsterilisation werden medizinische Geräte und Operations-Besteck sterilisiert. Zu den elektrischen Verbrauchern einer Sterilisation, bei welcher der Dampf von Extern bereitgestellt wird, zählen Taktbandanlagen, Dampfsterilisatoren, Schuhwaschmaschinen und andere Geräte.

MRT: An diesem Abgang ist ein Magnetresonanztomograph angeschlossen.

Zentrum für Frauen und Kindermedizin (ZFK): Das ZFK weist die meisten Verbraucher eines Krankenhauses, außer der Sterilisationsanlage auf. Es gibt unter anderem eine Durchleuchtungsanlage, ein MRT und eine Röntgenanlage, sowie die Gebäudetechnik für Kälteverteilung, Heizungsanlage, Sanitär etc. Das ZFK ist eine Klinik mit mehreren Abteilungen und umfasst fast alle für den Klinikbetrieb relevanten Anlagen und Einrichtungen.

Gefäßmedizinisches Zentrum (GMZ): Im GMZ befinden sich Angiographieanlagen (diese arbeiten im Notstrombetrieb mit gedrosselter Leistung), ein MRT für den Operationssaal (OP), ein Angiographie Roboter (OP), ein mobiles Computertomographiegerät sowie ein Röntgengerät. Die Besonderheit ist, dass sehr viele Großgeräte an die SV angeschlossen sind und die Spitzenleistung bei ungünstiger Gleichzeitigkeit im Betrieb sehr hoch ist. Der Messpunkt liegt an der Einspeisung der Sicherheitsversorgung und beinhaltet alle Verbraucher, die auch durch eine NEA versorgt werden würde.

4.2 Vorgehen der Messdatenauswertung

Für die einzelnen Abteilungen wird der Tagesenergiebedarf für jeden Tag berechnet. Das Messgerät zeichnet die verbrauchte Energie mit einer Auflösung von einer Sekunde auf. Diese wird anschließend für jeden einzelnen Tag berechnet. Die maximal gemessene Wirkleistung (P_{max}) während der Auswertung am entsprechenden Messpunkt wird aus den 1-Sekunden-Messwerten ermittelt.

Abbildung 3 zeigt das Vorgehen zur Identifikation von stationären Wirkleistungsänderungen anhand der gemessenen Leistungsverläufe. Um die maximalen stationären Wirkleistungsänderungen in positiver Richtung (ΔP_{pos}) bzw. negativer Richtung (ΔP_{neg}) jedes Messpunkts zu ermitteln, wird der gemessene Wirkleistungsverlauf (Abbildung 3 a)) abgeleitet (Abbildung 3 b)) und anschließend der gleitende Mittelwert über sechs Sekunden (Abbildung 3 c)) ermittelt. Wird der gleitende Mittelwert (Abbildung 3 c)) größer oder kleiner 0,5, wird dieser als Lastsprung markiert (Abbildung 3 d)). Ein Wert von eins bedeutet, dass eine stationäre Leistungsänderung erkannt wurde.

Die gleitende Mittelwertbildung wird an dieser Stelle verwendet, um stationäre Änderungen zu identifizieren und einzelne Spitzen auszuklammern.

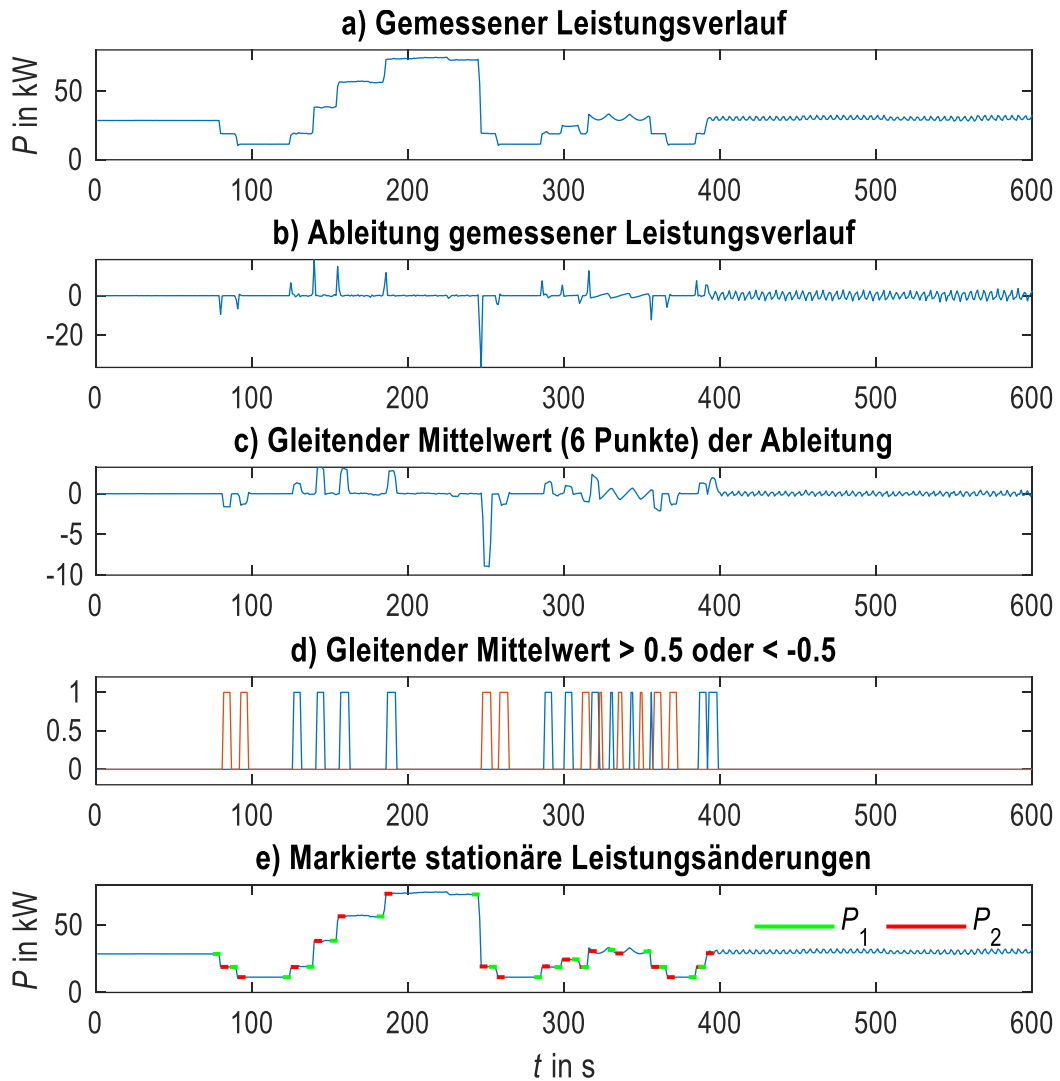


Abbildung 3: Signalverarbeitung zur Identifikation stationärer Wirkleistungsänderungen

Für die Berechnung von ΔP_{pos} und ΔP_{neg} wird die Differenz aus $\Delta P = P_2 - P_1$ verwendet. In der Auswertung in Tabelle 1 sind die Maxima der identifizierten Werte für ΔP_{pos} bzw. ΔP_{neg} angegeben. Für die Ermittlung der maximal gemessenen Ströme (\hat{I}_{max}) werden die aufgezeichneten Oszilloskopbilder verwendet. Wurde kein Oszilloskopbild durch die Störschreiber-Funktion des Messgeräts aufgenommen, wird die maximal identifizierte Stromspitze mit dem Faktor $\sqrt{2}$ angegeben.

4.3 Ergebnisse der Messdatenauswertung und Tageslastgänge der Einspeisung des ZFK und der SV des GMZ

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die elektrischen Eigenschaften der in 4.1 aufgeführten Abteilungen.

Tabelle 1: Elektrische Eigenschaften verschiedener Abteilungen und Abgänge im Überblick

	Urologie	ISP	Dampf- erzeugung	Sterili- sation	MRT	ZFK	GMZ
Energie- bedarf in kWh/Tag	9 - 13	29 - 42	~157	370 - 1010	200 - 340	8550 - 9510	710 - 1110
P_{\max} in kW	10	1.7	27	125	75	575	86
ΔP_{pos} in kW	k. A.	k. A.	13	40	30	50	33
ΔP_{neg} in kW	k. A.	k. A.	18	43	55	38	27
\hat{I}_{\max} in A	306	8	142	345	240	1450	400
Leistungs- faktor	0.6 - 1.0	0.47 - 0.51	0.0 - 1.0	0.6 - 1.0	0.86 - 0.99	0.95 - 1.0	0.85 - 0.96

Die Eintragungen keine Angabe (k. A.) geben an, dass die Auswertung der stationären Leistungsänderungen kein Ergebnis liefern. Hierbei sind die Leistungsänderung entweder zu klein oder es sind einmalige, sehr kurze Einschaltspitzen vorhanden, die mit dem in 4.2 beschriebenen Vorgehen nicht erkannt werden. Für den Leistungsfaktor der einzelnen Abteilungen ist jeweils ein Wertebereich angegeben. Die kleineren Werte treten durchgängig während kleinen Bezugsleistungen auf. Auffallend ist die maximal gemessene Stromamplitude von 306 A der Urologie, da diese Abteilung während des Tagesverlaufs im Vergleich zu den anderen analysierten Messpunkten einen kleinen Leistungsbezug aufweist. Die genaue Ursache hierfür ist nicht bekannt.

Abbildung 4 zeigt zwei beispielhafte Tageslastgänge des GMZ und des ZFK. Deutlich zu erkennen ist der Betrieb während der Tagesstunden an den höheren Bezugsleistungen. Die Ursache der einzelnen Spitzenleistungen beim GMZ resultieren aus dem in 4.1 beschriebenen gleichzeitigen Betrieb von Großgeräten.

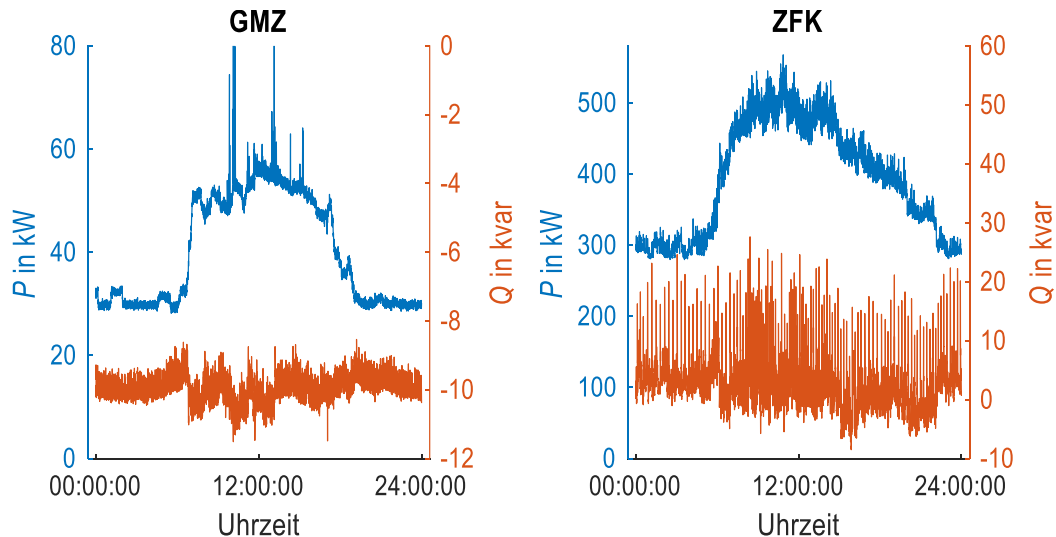


Abbildung 4: a) gemessener Wirk- und Blindleistungsverlauf der SV des GMZ; b) gemessener Wirk- und Blindleistungsverlauf der AV und SV des ZFK

Wie in Abschnitt 3 beschrieben, soll das bestehende Notstromkonzept um ein externes, überlagertes Inselnetz erweitert werden, um eine Vollversorgung des Krankenhauses zu ermöglichen. Die elektrischen Eigenschaften und gemessenen Wirk- und Blindleistungsverläufe geben Aufschluss über die Anforderungen an die inselnetzbildende Einheit des überlagerten Inselnetzes. Um die Notstromsysteme mit in das beschriebene externe Inselnetz zu integrieren ist die Synchronisation und ggf. ein Parallelbetrieb der Erzeugungseinheiten notwendig. Daher werden im nächsten Abschnitt die Möglichkeiten zum Parallelbetrieb und zur Synchronisation von einzelnen Inselnetzen beschrieben.

5 Konzepte zur Synchronisation von Inselnetzen und Rückführung zum Verbundbetrieb

Zwei Inselnetze können auf verschiedene Arten synchronisiert werden. Die gleichen Möglichkeiten gelten auch für die Rücksynchronisation eines Inselnetzes an das überlagerte Verbundnetz. Prinzipiell können zwei Netze durch Abschaltung oder Synchronisation zusammengeschaltet werden. Diese zwei Möglichkeiten und Voraussetzungen sowie Vor- und Nachteile werden nachfolgend kurz erläutert.

5.1 Abschaltung der inselnetzbildenden Einheit und Zuschaltung der Verbraucher auf das zweite Inselnetz oder das Verbundnetz

Die einfachste Möglichkeit zur Synchronisation eines Inselnetzes ist die Abschaltung der inselnetzbildenden Einheit von einem der beiden Netze und die anschließende Umschaltung der Verbraucher auf das zweite Inselnetz. Die Voraussetzung für die Integration der Verbraucher des abgeschalteten Inselnetzes in das andere ist, dass dieses den dabei auftretenden Lastsprung ausregeln und den Energiebedarf beider Netze decken kann. Der Vorteil dabei ist, dass der Parallelbetrieb der beiden inselnetzbildenden Einheiten in der Regelung bzw. Steuerung nicht zusätzlich berücksichtigt werden muss. Nachteilig ist, dass die Verbraucher des zweiten Inselnetzes für die Dauer der Umschaltung nicht weiterbetrieben werden können.

5.2 Synchronisation zweier Inselnetze und Parallelbetrieb von inselnetzbildenden Einheiten

Wird ein Inselnetz mit einem zweiten Inselnetz zusammengeführt und die inselnetzbildenden Einheiten anschließend parallel betrieben, muss für eine Aufteilung der Wirk- und Blindleistung zwischen den inselnetzbildenden Einheiten gesorgt werden. Dies kann auf folgende Arten erfolgen:

- Sollwertvorgabe für die einzelnen inselnetzbildenden Einheiten durch eine überlagerte Regelung [3]
- Hinterlegen von Droop-Charakteristiken zum Ausgleich der Wirk- und Blindleistung
- Betrieb einer inselnetzbildenden Einheit im isochronen Betrieb und aller weiteren Erzeugungsanlagen mit einer Leistungsregelung

Dabei muss beachtet werden, dass es zu keinen instabilen oder grenzstabilen Betriebspunkten durch die Zeitkonstanten der einzelnen Regelungen von den einzelnen inselnetzbildenden Einheiten kommt [4]. Die Synchronisation zweier inselnetzbildenden Einheiten und die Umsetzbarkeit des Parallelbetriebs mit dem LINDA Prinzip wurde bereits in [1] gezeigt.

5.3 Rücksynchronisation des Inselnetzes an das Verbundnetz durch kurzzeitigen Parallelbetrieb

Vor der Zuschaltung an das überlagerte Netz findet eine Netzsynchronisation statt. Notwendig hierfür sind eine Synchronisationseinrichtung und ein Kuppelschalter. Nach der Rücksynchronisation kann die inselnetzbildende Einheit vom Netz getrennt werden. Dies kann durch schlagartige Öffnung des Generatorschalters oder stufenweise Leistungsreduktion der inselnetzbildenden Einheit und anschließende Öffnung des Generatorschalters erfolgen. Abbildung 5 zeigt die Transformormessung während der Rücksynchronisierung und Netzübergabe der SV-Versorgung von der NEA an das überlagerte Verbundnetz.

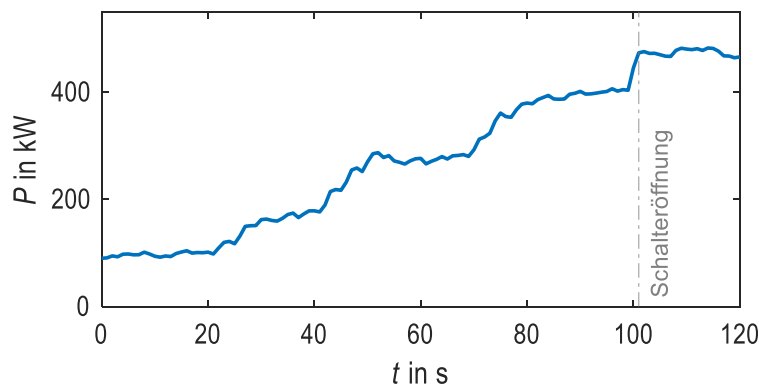


Abbildung 5: Trafomessung des überlagerten Netzes während der Netzübergabe durch Leistungsreduktion einer notstromversorgten SV

Ab $t \approx 20$ s findet eine Leistungsreduktion der NEA über ca. 80 s statt, bevor sie sich bei $t = 101$ s vom Netz trennt. Vorteil bei Leistungsreduktion NEA nach der Rücksynchronisation ist, dass das überlagerte Netz nicht stoßweise belastet wird. Dieses Vorgehen zur Synchronisation wirkt sich auch vorteilhaft bei einer Integration in ein überlagertes Inselnetz aus.

6 Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse für die Neuplanung der Notstromversorgung des untersuchten Krankenhauses. An dieser Stelle muss aber berücksichtigt werden, dass die Messungen, auch wenn diese über mehrere Tage durchgeführt wurden, nur eine Momentaufnahme darstellen. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass sich die Daten auf ein spezifisches Krankenhaus beziehen und sich das Verhalten anderer Krankenhäuser bzw. Abteilungen deutlich unterscheiden kann. Somit können die hier vorgestellten Ergebnisse nicht ohne Weiteres auf andere Krankenhäuser übertragen werden. Zusätzlich zu den elektrischen Eigenschaften des Krankenhauses wurde ein Überblick über bisherige Notstromversorgungen und eine kurze Beschreibung der notwendigen Voraussetzungen zur Integration bestehender Notstromversorgungen in Inselnetze gegeben. In weiterführenden Untersuchungen wird auf Basis der erhobenen Daten eine Lastmodellierung durchgeführt, um bewerten zu können, ob eine inselnetzbildende Einheit für eine solche Kritische Infrastruktur geeignet ist. Hierfür ist die Kenntnis der Leistungsschaltperformance einer inselnetzbildenden Einheit vergleichbar zu [5] essenziell.

In weiteren Untersuchungen wird die Netzersatzversorgung einer Sicherheitsversorgung messtechnisch begleitet, um weitere Erkenntnisse für den Einsatz einzelner NEA in den Notstromversorgungen zu bekommen. Dies gibt Aufschluss darüber, welche Anforderungen an eine inselnetzbildende Einheit resultieren, wenn nicht wie hier beschrieben, die Integration in ein überlagertes Inselnetz erfolgt, sondern bisherige NEA durch andere Erzeugungseinheiten ersetzt werden.

7 Literatur

- [1] C. Steinhart *et al.*, „Abschlussbericht zum Verbundvorhaben LINDA: Lokale Inselnetzversorgung und beschleunigter Netzwiederaufbau mit dezentralen Erzeugungsanlagen bei großflächigen Stromausfällen“, 2019.
- [2] T. Lechner *et al.*, „Lokale (teil-)automatisierte Inselnetz- und Notversorgung mit dezentralen Erzeugungsanlagen bei großflächigen Stromausfällen (LINDA 2.0): Poster“ in *Innovationen im Verteilnetz*, München, 2021.
- [3] J. Timmermann *et al.*, „Automated Emergency Power Supply for Drinking Water Supply by a Hydro Power Plant in Islanded Grid Operation“ in *27th International Conference on Electricity Distribution*, Rom, 2023.
- [4] A. J. Schwab, Hg., *Elektroenergiesysteme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020.
- [5] C. J. Steinhart *et al.*, „Gasmotoren als Führungskraftwerk im Inselnetzbetrieb“, *Magazin für die Energiewirtschaft*, 3-4, S. 38–42, 2018.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages