



©fotopro

Regionales Blackoutmanagement mit dezentraler Versorgungsstrategie

Masterarbeit von
Christoph Temmel, BSc

Betreuer:
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Herwig Renner**
Dipl.-Ing. **Mike Alexander Lagler**, BSc
Dipl.-Ing. **Stefan Polster**, BSc

November 2020

Technische Universität Graz
Institut für Elektrische Anlagen und Netze
Inffeldgasse 18/I
8010 Graz
Österreich

Institutsleiter:

Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr.techn. **Robert Schürhuber**

Betreuer:

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Herwig Renner**

Dipl.-Ing. **Mike Alexander Lagler**, BSc

Dipl.-Ing. **Stefan Polster**, BSc

Begutachter:

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Herwig Renner**

Masterarbeit von

Christoph Temmel, BSc

November 2020

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, 04.November 2020

Christoph Temmel

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 04.November 2020

Christoph Temmel

Abstract

A supraregional and prolonged power supply and infrastructure failure is defined as a blackout. The topic of this work is, how a small, rural community can prepare itself for such a scenario in a meaningful and, above all, cost-effective way.

Different concepts and possibilities of how the water supply, sewage disposal and supply of the residents can be ensured are shown. Furthermore, the existing photovoltaic systems are examined, and it is shown how they can be integrated into the concept of an emergency power supply in order to be able to save generator power and fuel. Simulations were carried out in DIgSILENT PowerFactory in order to analyze the start-up behavior of motors in combination with various start-up concepts and generators.

With the help of a step-by-step concept, individual expansion steps are explained in more detail and cost estimates are carried out. An evaluation of the individual calculations and concepts should provide a good overview of possible steps and investments.

Kurzfassung

Als Blackout wird ein überregionaler und länger andauernder Energieversorgungs- und Infrastrukturausfall definiert. Thema dieser Arbeit ist, wie sich eine kleine, ländliche Gemeinde auf solch ein Szenario sinnvoll und vor allem kosteneffizient vorbereiten kann.

Es werden verschiedene Konzepte und Möglichkeiten aufgezeigt, wie die Wasserversorgung, Abwasserentsorgung sowie Versorgung der Einwohner sichergestellt werden kann. Weiters erfolgt eine Betrachtung von vorhandenen Photovoltaikanlagen, wie diese in das Konzept einer Notstromversorgung integriert werden können, um so Generatorleistung bzw. Treibstoff einzusparen. Simulationen wurden in DIgSILENT PowerFactory durchgeführt, um das Hochlaufverhalten von Motoren in Kombination mit verschiedenen Startkonzepten und Generatoren zu analysieren.

Mit Hilfe eines aufeinander aufbauenden Stufenkonzeptes werden einzelne Ausbauschritte näher erläutert und Kostenschätzungen durchgeführt. Eine Bewertung der einzelnen Berechnungen und Konzepte soll einen guten Überblick über mögliche Schritte sowie Investitionen ermöglichen.

Abkürzungsverzeichnis

$\cos \varphi$	Leistungsfaktor
Hz	Hertz
J_{Gen}	Trägheitsmoment
kV	Kilovolt
kVA	Kilovoltampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
kWp	Kilowatt peak
MW	Megawatt
p	Polpaarzahl
PS	Pferdestärken
p.u.	per unit
PV	Photovoltaik (-Anlage)
S_{Nenn}	Nennscheinleistung
T_a	Ankerzeitkonstante
T'_d	Transiente Kurzschlusszeitkonstante
T''_d	Subtransiente Zeitkonstante
T_{d0}'	Transiente Leerlaufzeitkonstante
U_{Nenn}	Nennspannung
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
X_0	Nullreaktanzen
X_2	Gegenreaktanzen
X_d	Stationäre Reaktanz in d – Richtung (ungesättigt)
X'_d	Transiente Reaktanz in d – Richtung (gesättigt)
X''_d	Subtransiente Reaktanz in d – Richtung (gesättigt)
X_q	Stationäre Reaktanz in q – Richtung (ungesättigt)
X''_q	Subtransiente Reaktanz in q – Richtung (gesättigt)

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Blackout – Wie und warum kann es dazu kommen?	2
2.1	Wie real ist ein Blackout?.....	2
2.2	Phasen eines Blackouts.....	3
2.3	Markante Blackouts in der Vergangenheit.....	4
2.3.1	Blackout in Italien 2003.....	4
2.3.2	Netzauftrennung im europäischen Verbundnetz 2006	4
2.3.3	Blackouts im Jahr 2019.....	6
3	Umgang mit den Konsequenzen eines Blackouts.....	7
3.1	Selbstwirksamkeit – Der einzelne Bewohner	7
3.1.1	Beispiel - Stadt Feldbach	7
3.2	Themen auf Gemeindeebene – Aufgaben der Politik.....	9
3.2.1	Kommunikation	9
3.2.1.1	Beispiel – Stadt Feldbach	9
3.2.2	Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung.....	10
3.2.3	Gesundheitsnotversorgung.....	10
3.2.4	Krisenmanagement.....	11
3.2.5	Weitere Punkte auf Gemeindeebene	11
3.3	Konkrete Auswirkungen auf eine ländliche Wohngemeinde.....	12
4	Wohngemeinde Eichkögl - Einführung	14
5	Wasserversorgung in der Gemeinde Eichkögl.....	15
5.1	Überblick.....	15
5.2	Aufbau in der Gemeinde	16
5.3	Wasserverbrauch.....	20
5.4	Notbetrieb bei Netzausfall.....	24
5.4.1	Ausschließliche Nutzung der Pumpen Mitterfladnitz im Blackoutfall.....	25
5.4.2	Ausschließliche Nutzung der Pumpen Eichkögl im Blackoutfall	26
5.5	Dimensionierung und Simulation einer Notversorgung für die Wasserversorgung.....	27
5.5.1	Simulationsaufbau	27
5.5.2	Lastflussberechnung – Notversorgung.....	30
5.5.3	Transiente Betrachtung – Notversorgung.....	32

5.5.3.1	Bewertung	36
5.5.3.2	Nutzung von alternativen Startmethoden	37
5.5.4	Lastflussberechnung – komplette Versorgung	39
5.5.5	Transiente Betrachtung – komplette Versorgung	40
5.5.5.1	Bewertung	44
6	Abwasserentsorgung in der Gemeinde Eichkögl.....	45
6.1	Aufbau in der Gemeinde	45
6.2	Pumpstationen im Gemeindegebiet	46
6.2.1	Nachrüstung der Pumpstationen.....	47
6.2.2	Simulationen Notversorgung.....	48
6.2.2.1	Nutzung von alternativen Startmethoden	53
6.3	Pumpstation Fladnitz	54
6.4	Kläranlage Fladnitz im Raabtal	55
6.4.1	Geschichte.....	55
6.4.2	Aufbau	56
6.4.3	Notbetrieb	59
6.4.4	Simulationen der erweiterten Notversorgung	61
6.4.4.1	Lastflussberechnung.....	62
6.4.4.2	Transiente Betrachtung	62
6.4.4.3	Bewertung	65
6.4.4.4	Nutzung von alternativen Startmethoden	65
7	Photovoltaikanlage am „fidelium“.....	67
7.1	Nutzung zur Notstromversorgung	69
8	Stufenkonzept für die Wiederversorgung.....	72
8.1	Stufe 1 – Notversorgung.....	72
8.2	Stufe 2 – Erweiterte Notversorgung	75
8.3	Stufe 3 – Strominseln.....	77
9	Wirtschaftliche Betrachtung	80
10	Vergleich mit zentraler Versorgungsstrategie.....	82
11	Zusammenfassung	83
12	Literaturverzeichnis.....	86

1 Einführung

Blackout - damit wird ein überregionaler und länger andauernder Energieversorgungs- und Infrastrukturausfall definiert. Im gleichnamigen Roman von Marc Elsberg werden die Folgen, Auswirkungen und Konsequenzen, welche durch so ein Ereignis entstehen könnten, übersichtlich dargestellt. Durch die ausgezeichnete technische Recherche werden auch Dinge aufgezeigt, an welche vermutlich erst gedacht wird, wenn der Fall eines Blackouts schon eingetreten ist [1]. Es handelt sich dabei nicht „nur“ um einen „Stromausfall“ - es steckt wesentlich mehr dahinter. Dies soll im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt werden.

Kann es einen „Stromausfall“ in diesem Ausmaß geben? Diese Frage stellen sich auch immer mehr Politiker, welche für den Fall des Falles gerüstet sein möchten, um dem Vorwurf der Untätigkeit zu entgehen. So gab es unter anderem auch in der Region Südoststeiermark bereits einige gut besuchte Fachvorträge und Informationsabende zu diesem Thema [2, 3].

Die Gemeinden und auch Städte können keine Rundum-Versorgung der Bevölkerung bieten. Somit ist auch eine gewisse Eigeninitiative zur Vorsorge vonnöten. Als Beispiel sei hier genannt, dass im Krisenfall keine komplette Versorgung mit Lebensmitteln von der Gemeinde durchgeführt werden kann, und somit auch eigenverantwortlich Vorräte angelegt sein sollten.

In den Vorträgen werden die Möglichkeiten zur Energie-Notversorgung im privaten Bereich sehr einfach erläutert, jedoch werden die Probleme und teils auch Gefahren, die durch den Einsatz von Photovoltaikanlagen und Notstromgeneratoren auf Laien ausgehen, oft nicht ausreichend betrachtet. Das Interesse der Bevölkerung in diese Richtung ist groß, zumal auch die Anzahl der Photovoltaikanlagen in den vergangenen Jahren rasant gestiegen ist.

Was kann oder muss von Seiten der Politik getan werden, um die Bewohner in einem solchen Szenario zu unterstützen? Basis bildet hier die Versorgung mit Informationen, Wärme, Trinkwasser sowie die Entsorgung von Abwasser. Sind diese vier Punkte in Kombination mit der Selbsthilfe durch Nahrungsmittelvorräte erfüllt, herrscht eine gewisse Grundversorgung der Bevölkerung. Es sind auch immer individuelle Betrachtungen notwendig, da die Bedürfnisse stark von der Wohnsituation (Bauernhof im Vergleich zu einem Wohnblock) variieren.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen für die Gemeinde Eichkögl Konzepte erarbeitet werden, wie mit einem plötzlich auftretenden und länger andauernden Stromausfall umgegangen werden kann. Hierzu werden verschiedene Möglichkeiten technisch als auch wirtschaftlich betrachtet, um eine Einschätzung der Kosten sowie auch der Umsetzbarkeit zu ermöglichen.

2 Blackout – Wie und warum kann es dazu kommen?

Das Thema Blackout ist nicht mehr unbekannt, und es gibt schon einige, teils auch wissenschaftliche Analysen hierzu. Diese werden nachfolgend betrachtet, um die bereits bekannten Ergebnisse und Ansätze im weiteren Verlauf dieser Arbeit nutzen zu können.

2.1 Wie real ist ein Blackout?

Um hierfür ein Gefühl zu bekommen, ist es wichtig, die Hintergründe zu analysieren. Es gibt verschiedenste Gründe, die ein solches Ereignis hervorrufen können [4, 5]:

- Naturereignisse (Eis, Schnee, Stürme, Hochwasser, Erdbeben, Klimaextreme)
- Menschliches Versagen (Schaltfehler, Unachtsamkeiten)
- Technisches Versagen (Materialfehler, Ausfall wichtiger Betriebsmittel)
- Planungsfehler (Fehldimensionierungen)
- Divergierende Erzeugungs- und Verbrauchersituationen
- Netzengpässe an Kuppelstellen zwischen Übertragungsnetzen
- Ungenügende Kommunikation der verantwortlichen Stellen untereinander
- Unzureichende Instandhaltung und Pflege der Betriebsmittel (Trassenfreihaltung)
- Fehlerhafte Parametrierungen von Schutzgeräten
- Kriminalität/Terrorismus (Anschläge, Cyber Angriffe, Kriege)
- Pandemie (krankheitsbedingter Ausfall von Betriebspersonal – Coronavirus)

Man kann erkennen, dass es verschiedenste Auslöser eines Blackouts geben kann. In den vergangenen Jahren hat die großteils lastferne und volatile Erzeugung von Energie wesentlich zugenommen (Photovoltaik, Wind). Dies stellt eine zusätzliche Belastung für das Übertragungsnetz dar, welches in manchen Situationen an dessen Grenzen stößt. Aus vergangenen Blackout-Ereignissen, Netzanalysen des Übertragungsnetzes und den 110 kV Modelnetzen lassen sich folgende Faktoren feststellen, welche sich negativ auf die Netzstabilität auswirken [6]:

- Hohe Netzbelastung bei zu geringem Ausbau
- Weiträumige Stromtransite (z.B. Norddeutschland nach Norditalien)
- Verletzung der (n-1) Sicherheitsregel
- Regional geringe Eigenerzeugung (hohe Importe über weite Distanzen)

- Mangelnde Möglichkeiten kurzfristige Engpässe zu bewältigen (Lastabwürfe, Steuerung Lastfluss)

Diese Faktoren, in Kombination mit den oben genannten externen bzw. zusätzlichen Einflüssen, lassen das Risiko eines Blackouts signifikant steigen. Darum gilt es, diesen Entwicklungen entgegen zu wirken, um so die Netzstabilität sowie Anfälligkeit für Blackouts sukzessive zu senken.

2.2 Phasen eines Blackouts

Obwohl die europäische Stromversorgung zu den verlässlichsten der Welt zählt, steigt aufgrund des steigenden Energiebedarfs und einiger anderer Faktoren die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls immer weiter an. Das öffentliche Leben ist, oft leider unbewusst, völlig von der Stromversorgung abhängig, wobei diese Abhängigkeit in den Städten (Wohnblöcke) wesentlich stärker ausgeprägt ist. Generell unterteilt sich ein Blackout in drei Phasen:

Phase 1: Ein Stromausfall (regional bis europaweit) hat einen kompletten Infrastrukturausfall zur Folge. So würde eine vollständige Wiederversorgung aller Kundenanlagen in Österreich ca. 20 bis 30 Stunden in Anspruch nehmen. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass es zu keinen Behinderungen beim Wiederaufbau des Netzes (Beschädigungen an den Anlagen oder Leitungen) kommt [4].

Phase 2: Die Stromversorgung funktioniert wieder. Nun gilt es die Kommunikation wieder hochzufahren, was zu Überlastungen führen kann. Produktion, Logistik, Treibstoff- und Lebensmittelversorgung besitzen ein hoch komplexes Logistiksystem im Hintergrund, welche auf die Kommunikationsmedien angewiesen sind, um funktionieren zu können. Die daraus resultierenden Folgestörungen und viele, womöglich nicht sofort einsatzfähige, Mitarbeiter verlängern den Zeitraum bis wieder Normalität herrscht.

Phase 3: Die Stromversorgung sowie Kommunikation funktionieren wieder. Der Wiederanlauf der Versorgung mit Gütern kann beginnen. Dies ist jedoch die längste Phase, da einige Zeit beansprucht wird bis wieder der Normalzustand bei der Belieferung von z.B. Lebensmittelgeschäften hergestellt ist.

Wie lange jede Phase effektiv dauert, kann schwer abgeschätzt werden, da es zum Glück in der Vergangenheit keine wirklich vergleichbaren Ereignisse dieser Art gab. Schätzungen besagen, dass es bis zu einigen, wenigen Wochen dauern kann, bis wieder völlige Normalität eingekehrt ist [7].

2.3 Markante Blackouts in der Vergangenheit

2.3.1 Blackout in Italien 2003

In den frühen Morgenstunden des 28. September 2003 kam es zu einem großflächigen Stromausfall in Italien, und für kurze Zeit auch in Teilen der Schweiz. Die Transitleitungen Nord-Süd durch die Schweiz waren, aufgrund von systematischen Abweichungen (physikalische Flüsse sind größer als die vereinbarte Stromexportmenge), sehr stark belastet. Im Gegensatz dazu waren die Leitungen von Frankreich nach Italien zu diesem Zeitpunkt, wie auch schon in den Nächten zuvor, physikalisch nicht ausgelastet.

Um 03:01 Uhr fiel eine wichtige Nord-Süd-Transitleitung, die Lukmanier-Leitung, nach einem Lichtbogen zwischen einem Leiterseil und einem Baum aus. Es kam zu einer Verschiebung der Last, welche eine Auslastung der San Bernadino-Leitung (Nord-Süd Transitleitung) mit ca. 110% zur Folge hatte.

Nach erfolglosen Einschaltversuchen aufgrund einer zu großen Phasenwinkeldifferenz der ausgefallenen Lukmanier-Leitung, kontaktierte der verantwortliche Schweizer Netzbetreiber um 03:11 Uhr telefonisch den italienischen Netzbetreiber. Diesem wurde mitgeteilt, vorerst die bestehende ungeplante Importabweichung von ca. 300 MW zu korrigieren, um damit die Auslastung der San Bernardino-Leitung auf ca. 100% zu reduzieren. Die Abweichung konnte erst um 03:21 Uhr, also nach 10 Minuten, korrigiert werden. Um 03:25 Uhr kam es zu einer Schutzauslösung (Ein Leiterseil berührte einen Baum) der San-Bernadino Leitung.

Dies führte zu einem kaskadenartigen Ausfall weiterer Leitungen und um 03:27 Uhr zu einem totalen Stromausfall in Italien da Spannung und Frequenz einbrachen. Zudem kam es zu regionalen Ausfällen in der Schweiz.

Bis der letzte, der Millionen betroffenen Kunden, wieder mit Energie versorgt werden konnte, vergingen über 18 Stunden und es waren unzählige Schalthandlungen nötig, um das Netz sukzessive wieder aufzubauen [8, 9].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es nur einiger kleiner, signifikanter Ereignisse bedarf, um das Stromnetz eines ganzen Landes zum Kollabieren zu bringen. Jedoch gelang es in relativ kurzer Zeit, die Versorgung mit Energie in Italien wiederherzustellen.

2.3.2 Netzauftrennung im europäischen Verbundnetz 2006

Auf Bitte der Meyerwerft im deutschen Papenburg wurde am 04. November 2006 um 22:00 Uhr die 380 kV-Leitung Conneforde-Diele freigeschalten. Aufgrund der Überführung eines Kreuzfahrtschiffes in die Nordsee war eine Abschaltung notwendig, da die Mindestabstände

zwischen Freileitung und Schiffsaufbauten nicht eingehalten werden konnten, und somit eine gefahrlose Durchfahrt nicht möglich war.

Da dies dem deutschen Netzbetreiber schon früher bekannt gegeben wurde, konnten bereits einige Netzberechnungen vorab durchgeführt werden, welche ergaben, dass die (n-1) Sicherheit trotz großer Netzauslastung nicht verletzt wurde. Trotzdem wurden die grenzüberschreitenden Stromtransporte eingeschränkt, um die Stabilität weiter zu erhöhen.

Am 3. November 2006 bat die Meyerwerft telefonisch die Abschaltung um 3 Stunden nach vorne, auf den oben genannten Termin zu verlegen. Dies war im Sinne des Netzbetreibers, da die Lastverhältnisse zu diesem Zeitpunkt günstiger waren. Jedoch erfolgte keine (n-1) Berechnung, ebenso wenig eine Simulationsrechnung. Da die benachbarten Netzbetreiber zu spät über diese Vorverlegung informiert wurden, konnten die Lastflüsse nicht mehr entsprechend reduziert werden. Zudem waren an jenem Tag im deutschen Übertragungsnetz einige Netzelemente wegen Wartungs- und Reparaturarbeiten außer Betrieb.

Nachdem die Leitung abgeschaltet und die Verfügungserlaubnis für das Schiff erteilt wurde, kam es zu einer Umverteilung der Lastflüsse von Ost nach West. Dies hatte zur Folge, dass die Netzsituation als angespannt beurteilt wurde, und eine 380 kV-Leitung überlastet wurde.

Somit wurden, ohne Lastflussberechnungen oder (n-1) Rechnung, Schalthandlungen vorgenommen, welche ein Abschalten jener Leitung sowie weiterer Leitungen von Nord nach Süd quer durch Deutschland, Österreich, Kroatien, Ungarn und weiterer Länder durch den Überlastschutz zur Folge hatte.

Die Folge war, dass das europäische Stromnetz in drei Teilnetze gespalten wurde. Im süd-östlichen Bereich sowie in Westeuropa sank die Frequenz ab, während im nord-östlichen Bereich ein Erzeugungsüberschuss die Frequenz auf 51,4 Hz ansteigen ließ.

Erst um 23:57 Uhr gelang es, die europäischen Teilnetze wieder vollkommen miteinander zu verbinden. Hierzu waren viele Versuche, Lastabschaltungen sowie Absprachen notwendig. Europaweit waren durch diesen Vorfall mehr als 15 Millionen Menschen zeitweise stromlos [10].

Dies ist ein weiteres Beispiel, welches die Sensibilität des europäischen Verbundnetzes verdeutlicht, und zeigt, dass ein kleines Ereignis große Auswirkungen auf die Gesamtstruktur und Stabilität haben kann.

2.3.3 Blackouts im Jahr 2019

- ***Teneriffa am 29. September 2019***

Eine Explosion im Umspannwerk von Granadilla de Abona um 13:10 Uhr führte zu einer Kettenreaktion und daraus folgend einem Stromausfall auf einem Großteil der Insel. Erst gegen 22:25 Uhr, also über neun Stunden später, konnten die letzten, der mehreren hunderttausend betroffenen Einwohner und Touristen, wieder mit Energie versorgt werden.

Die Einsatzkräfte waren aufgrund unzähliger steckengebliebener Lifte gefordert. Eine Notversorgung von Krankenhäusern, Flughäfen und teils auch Hotels konnte mit Generatoren sichergestellt werden. Probleme gab es jedoch beim Handynetz sowie Internet. Diese Ausfälle konnten größtenteils erst gegen Abend behoben werden [11, 12].

Dieser Komplettausfall konnte trotz der schwierigen Umstände in relativ kurzer Zeit behoben werden. Jedoch zeigt dieses Beispiel wieder, wie schnell ein Ereignis das Gesamtsystem zusammenbrechen lässt.

- ***Australien am 25. November 2019***

Ein Sturm sorgte dafür, dass rund 76.000 Menschen von einem Stromausfall betroffen waren. Die Beschädigungen am Netz waren so gravierend, dass am 27. November 2019 noch immer 24.000 Kunden unversorgt waren [13, 14].

Des Weiteren gab es im Jahr 2019 noch unzählige andere Ausfälle in allen Teilen der Welt, über die auf einschlägigen Websites viele Informationen verfügbar sind.

Somit ist ein Blackout kein seltenes Ereignis - es tritt öfter ein als vermutet wird. Jedoch konnten die Konsequenzen in fast allen Fällen innerhalb kurzer Zeit behoben werden. Längere Ausfallszeiten von Wochen, wie sie oft prophezeit werden, sind zum Glück in der Vergangenheit nie aufgetreten.

3 Umgang mit den Konsequenzen eines Blackouts

3.1 Selbstwirksamkeit – Der einzelne Bewohner

Wesentlich ist, dass die Bewohner nicht davon ausgehen können, eine Rundum-Versorgung bei einem Blackout durch die Gemeinde/Stadt zu erhalten. Die organisierte Hilfe sowie Einsatzorganisationen werden selbst sehr gefordert sein, eine Grundversorgung aufzubauen, um auftretende Notfälle abarbeiten zu können.

Schlagwort hierbei sollte Selbstwirksamkeit sein: Was kann ich für mich und meine Familie tun, um für eine solche Situation vorbereitet zu sein? Wer braucht meine Hilfe (Kinder, ältere Menschen, etc.) und wie kann ich diese zur Verfügung stellen?

Wichtige Faktoren in der Vorsorge sind Lebensmittel, Informationsgewinn (Autoradio), notwendige Medikamente sowie die Möglichkeiten der Grundversorgung (Wärme, Wasser, Hygiene).

Vor allem im ländlichen Raum ist es von Vorteil, im Austausch mit den Nachbarn zu stehen, und gegenseitig Hilfe anzubieten. So können die Einsatzorganisationen entlastet werden, wenn Privatpersonen einen Input zum Umgang mit der Situation leisten können [7]. Zur Vorbereitung steht im Internet auch eine umfangreiche Checkliste zur Verfügung, welche alle Bereiche der privaten Vorsorge abdeckt [15].

Ob Seuchen und Plünderungen im Rahmen eines, hoffentlich wenige Tage dauernden, Blackouts bedacht werden müssen, sei dahingestellt.

3.1.1 Beispiel - Stadt Feldbach

Die Stadt Feldbach hat sich unter Bürgermeister Ing. Josef Ober bereits gut auf ein Blackout vorbereitet. So gab es bereits einige Vorträge und Informationsveranstaltungen für die Bevölkerung. Es wurden Beiträge in den Gemeinde- und Tageszeitungen gebracht und im vergangenen Jahr fand ein Blackout – Informationstag statt. Zudem werden viele Informationen online zur Verfügung gestellt [16].

Im Jahr 2017 wurde das Projekt „Regionales Energiezellen- und Krisenvorsorgekonzept am Beispielszenario „Blackout“ – Energiezelle Feldbach“ unter der Leitung von Ing. Karl Puchas, MSc von der Lokalen Energieagentur – LEA GmbH gestartet. Gefördert wurde dieses Projekt von der KIRAS Sicherheitsforschung, welche Teil des Bundesministeriums für Landwirtschaft,

Regionen und Tourismus ist. Ziel dieses Projektes war die Schaffung der robusten und krisensicheren Energiezelle F, welche bei Störungen im Verbundsystem, verursacht durch ein Blackout oder ein Extremwetterereignis, eine ausreichende lokale Not(Strom)Versorgung sicherstellt. Teil dieses Konzeptes sind Kat-Leuchttürme. Dabei handelt es sich um Gebäude und Einrichtungen, welche ausgestattet sind, um die nötigsten Hilfeleistungen zu erbringen bzw. zu organisieren. Diese Leuchttürme in Kombination mit weiterer kritischer Infrastruktur (Feuerwehr, Rotes Kreuz, Polizei, Lagezentrum) und Photovoltaikanlagen (inkl. Batteriespeichern) bilden die sogenannte Energiezelle F, welche das öffentliche Leben möglichst aufrechterhalten soll. Dadurch kann die staatliche Katastrophenhilfe entlastet, sowie der Netzwiederaufbau unterstützt werden. Die Bevölkerung wird dabei aktiv in dieses Konzept eingebunden – jeder kann seine Fähigkeiten bei einem Kat-Leuchtturm in seiner Nähe einbringen [17].

Diese Selbsthilfebasen sind so über das Gemeindegebiet von Feldbach verteilt (siehe Bild 3.1), dass sie jeder Bewohner im Fall des Falles zu Fuß erreichen kann. Jede Basis besitzt bereits eine Funktion (Feuerwehr, Veranstaltungszentrum, Bauhof) und wird dann um die jeweiligen Kontaktmöglichkeiten erweitert bzw. von Mitarbeitern und Freiwilligen besetzt. So werden auch Personen mit besonderen Fähigkeiten (Erste-Hilfe, Techniker, Sozialarbeiter, Arzt, Pflegekraft, Handwerker, Kommunikations- und Medienexperte, Erzieher, Funker, Organisator, etc.) aufgerufen, sich bei ihrer nächstgelegenen Selbsthilfe-Basis zu melden [18].



Bild 3.1: Katastrophen-Leuchttürme im Gemeindegebiet von Feldbach [18]

3.2 Themen auf Gemeindeebene – Aufgaben der Politik

Die Selbstwirksamkeit ist jedoch auch beschränkt. Gewisse Dinge müssen „von oben“ entschieden und ausgeführt werden. Somit müssen sich auch Gemeinden selbst auf ein Blackout vorbereiten, um die nötigen Strukturen und das notwendige Wissen zu besitzen.

3.2.1 Kommunikation

Wesentlich ist es, die Kommunikation aufrecht zu erhalten. Die Bürger haben, vor allem in solchen Krisenzeiten, ein Recht und auch ein verstärktes Bedürfnis nach Informationen. Warum ist das Blackout aufgetreten, was wird dagegen unternommen? Wann wird wieder Normalität einkehren? Durch eine ehrliche Antwort auf diese Fragen können viele Sorgen der Bürger ausgeräumt werden, da vermittelt wird, dass etwas unternommen wird, um die eingetretene Situation zu beheben.

Jedoch gilt es auch, die Kommunikation der Gemeinde-Einsatzleitung zu den einzelnen Akteuren der Krisenbewältigung wie z.B. Einsatzorganisationen (Polizei, Rettungsdienste, Feuerwehr), gemeindeeigene Einrichtungen (Selbsthilfe-Stützpunkte, Gemeindebauhöfe), Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Abfallentsorgung, Infrastrukturbetreiber sowie zu übergeordneten Stellen (Bezirkshauptmannschaft etc.) aufrecht zu erhalten. Grundsätzliche Möglichkeiten hierzu wären [19]:

- Lautsprecherwagen
- Melder – Personen überbringen die Nachrichten (Nachbarschaftshilfe)
- Notradiosender
- Funkgeräte jeglicher Art
- Festnetztelefonie (wenn funktionstüchtig)
- Mobilfunk (sehr wahrscheinlich nicht funktionstüchtig)

3.2.1.1 Beispiel – Stadt Feldbach

Das Mobilfunknetz und Internet werden nach kurzer Zeit zusammenbrechen, die Festnetztelefonie wird vermutlich noch ein wenig länger verfügbar sein [20]. A1 Telekom Austria hat sich jedoch einige Ziele für die Stadt Feldbach gesetzt, welche in den nächsten Jahren geplant sind:

So werden Festnetzanbindungen für neuralgische Punkte sichergestellt, ausgewählte Mobilfunkstationen werden so adaptiert, dass eine externe Stromspeisung möglich ist und eine Aufrüstung der Knotenpunkte (welche die Telefonie überhaupt möglich machen) mit USV Anlagen ist geplant. Dadurch soll die Kommunikation für die Einsatzkräfte sichergestellt

werden, sowie auch eine eingeschränkte Nutzung des Mobilfunks für die Bevölkerung (vor allem für Notrufe) ermöglicht werden [21]. Jedoch ist dies aktuell noch eher ein Plan als eine Tatsache, darum wurden noch andere Möglichkeiten der Kommunikation, welche aktuell auch realisierbar sind, in Betracht gezogen.

Vom Verein der Funkamateure in Feldbach wurde ein Konzept erarbeitet, welches es ermöglicht die Kommunikation zu den oben bereits beschriebenen Selbsthilfebases herzustellen. Im Fall des Blackouts wird eine Relaisstation in Betrieb genommen, welche aufgrund der hierbei vorteilhaften Lage auf einer Anhöhe das gesamte Gebiet abdecken kann. Über diese Station (solarbetrieben, notstromversorgt) kann dann die Kommunikation, auch bei einem kompletten Ausfall der Telefonie abgewickelt werden [22].

3.2.2 Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung

Da die Trinkwasserversorgung überlebenswichtig ist und als kritische Infrastruktur zählt, muss diese im Fall eines Blackouts höchste Priorität erhalten [23]. Somit ist sicherzustellen, dass die Förderung, Aufbereitung und der Transport des Wassers auch ohne öffentliche Stromversorgung funktionieren. Essentiell ist, dass diese Vorbereitungen vor Eintritt des Blackouts durchgeführt und auch regelmäßig auf Funktionstüchtigkeit überprüft werden [19, 24].

Die Wasserversorgung Grenzland Süd-Ost hat im Bereich der Notversorgung in den vergangenen Jahren wesentlich aufgerüstet. So können aktuell im Fall eines Blackouts rund 77% des gesamten Versorgungsgebietes (von Hartberg bis Bad Radkersburg) auch ohne öffentliches Stromnetz versorgt werden. Dazu wurden neben 9 Notstromaggregaten auch 4 Photovoltaikanlagen zur Eigenstromerzeugung installiert. Bis 2025 ist ein weiterer Ausbau der Notversorgung geplant, sodass im Endeffekt 100% der Kunden auch bei einem Blackout mit Trinkwasser versorgt werden können [25].

Dasselbe gilt auch für die Abwasserentsorgung: Es gibt wieder Abhängigkeiten vom öffentlichen Stromnetz (Hebeanlagen, Kläranlagen) welche bei einem Ausfall zu Infrastrukturschäden (Überflutungen von Gebäudeteilen, Kanalausstritten, Ablagerungen, Verstopfungen, etc.) oder sogar zum Kippen der biologischen Stufe der Kläranlagen führen können. Darum ist es notwendig einen Notbetrieb sicher zu stellen, welcher auch vorab konzipiert und regelmäßig getestet wird [19].

3.2.3 Gesundheitsnotversorgung

Wichtig ist es, die Gesundheitsversorgung in der Gemeinde aufrecht zu erhalten. Die hiervon betroffenen Einrichtungen (Rotes Kreuz, Pflegeheime, 24 Stunden Pflege, mobile

Pflegedienste, etc.) liegen nicht im direkten Einflussbereich der Gemeinden, spielen aber eine wichtige Rolle. Somit sind vorab Gespräche zu führen, inwieweit eine Unterstützung durch die Gemeinde notwendig ist, und wie weit die jeweiligen Bereiche mit Notstrom versorgt bzw. ohne öffentliche Stromversorgung einsatzfähig sind [19].

3.2.4 Krisenmanagement

Das Krisenmanagement im Fall eines Blackouts umfasst die Kommunikation zwischen den einzelnen Akteuren, Sparten, den Selbsthilfebases und Behörden. Der Bürgermeister wird automatisch zum behördlichen Einsatzleiter, und hat somit die Organisation und Koordinierung der Einsatz- und Hilfsmaßnahmen inne. Da dies allein für den Bürgermeister nicht schaffbar sein wird, ist die Einrichtung eines Krisenstabes auf Gemeindeebene notwendig.

3.2.5 Weitere Punkte auf Gemeindeebene

Unabdingbar ist es, die Lebensmittelversorgung aufrecht zu erhalten. Trotz der Selbstwirksamkeit, die den Bürgern zumutbar ist, werden nicht alle auf den Blackout Fall bestens vorbereitet sein, bzw. sich nicht entsprechend darauf vorbereiten können. Somit ist es nötig eine Notversorgung und/oder eine Möglichkeit zur Notverpflegung zu planen.

Da viele Haushalte keine holzbefeuerten Küchenherde mehr besitzen, kann das zur Verfügung stellen von gasbetriebenen Notkochstellen in den Selbsthilfebases zu einer Entspannung der Situation beitragen.

Weiters wird es im Fall eines Blackouts vermutlich zu einer Einstellung des Schul- und Kindergartenbetriebs kommen. Hierbei wäre dann ein Konzept von Vorteil, wie die Aufsicht von Kindern welche zu Hause nicht betreut werden können (z.B. Eltern besitzen relevante Position im Krisenmanagement) erfolgen kann.

Viele öffentliche und auch private Gebäude sind an Heizwerke angeschlossen. Bei einem Ausfall des Stromnetzes ist keine Wärmeversorgung aufgrund nicht funktionierender Pumpen möglich. So ist es nötig, eine Notstromversorgung der Heizwerke sicherzustellen.

Selbst die beste Notstromversorgung wird ohne Treibstoff nicht funktionieren – eine Lagerung in ausreichender Menge und Qualität (Umwälzung) ist somit Grundvoraussetzung [19].

3.3 Konkrete Auswirkungen auf eine ländliche Wohngemeinde

Was würde passieren, wenn eine ländliche Wohngemeinde ein Blackout erlebt und längere Zeit nicht mit Energie versorgt wird? Als Beispiel soll hier die, später noch genauer erläuterte, Gemeinde Eichkögl in der Südoststeiermark dienen.

Dies soll nun kein Schwarzmalen der Situation sein, sondern aufzeigen, welche Konsequenzen ein Blackout hätte, wenn man sich davor noch nie Gedanken darüber gemacht hat.

Unmittelbare Konsequenzen wären in diesem konkreten Fall [26]:

- Ausfall der kompletten Wasserversorgung
 - Kein Trinkwasser in den Haushalten
 - Kein Löschwasser aus Hydranten bei Bränden
- Ausfall der Abwasserentsorgung sowie Pumpstationen
 - Rückstauungen im Kanalsystem führen zu Überschwemmungen
 - Überlaufen von Schächten durch den Ausfall der Pumpen
 - Keine Reinigung der Abwässer in der Kläranlage
- Ausfall der Kommunikation
 - Kein Handynet, Internet, Festnetz
 - Notrufe sind nicht mehr möglich
 - Informationen können nicht mehr übermittelt werden
 - Ausfall von Funkstationen
- Ausfall von Tankmöglichkeiten
 - Tankstellen können den Treibstoff nicht abgeben
 - Bei Hoftankstellen funktionieren keine Pumpen
- Ausfall der Wärmeversorgung
 - Keine Fernwärme aufgrund des Ausfalls der Wärmepumpen
 - Ausfall von privaten Zentralheizungen
- Ausfall der Lebensmittelversorgung
 - Geschäfte können nicht mehr öffnen da Kassensysteme nicht funktionieren
 - Keine Möglichkeiten zur Nachbestellung von Waren
 - Ausfall von Kühlanlagen
- Probleme bei der Viehzucht
 - Keine Versorgung der Tiere mit Wasser
 - Ausfall von Belüftungssystemen, Heizungen, Kühlanlagen

Dies würde, auch aufgrund der eingeschränkten Kommunikationskanäle, schnell zu katastrophalen Zuständen in der Gesellschaft führen und große Schäden nach sich ziehen.

Einige dieser Punkte wurden schon in Hinsicht auf ein Blackout bedacht und auch schon mit Möglichkeiten zur Notversorgung ausgestattet. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Analyse des Ist-Standes durchgeführt, um dann weitere Möglichkeiten aufzuzeigen, um für den Fall der Fälle eine adäquate Lösung parat zu haben. Man kann die Auslegung der Notversorgungsanlagen bis ins Unendliche treiben, was nicht sehr sinnvoll ist. Ziel ist es, wirtschaftlich rentable Optionen aufzuzeigen.

4 Wohngemeinde Eichkögl - Einführung

Aufgrund der persönlichen Beziehung und des großen Interesses wurde zur beispielhaften Betrachtung die Wohngemeinde Eichkögl im politischen Bezirk Südoststeiermark gewählt. Wie im nachfolgenden Bild 4.1 ersichtlich, liegt Eichkögl östlich von Graz, zwischen Gleisdorf und Feldbach.

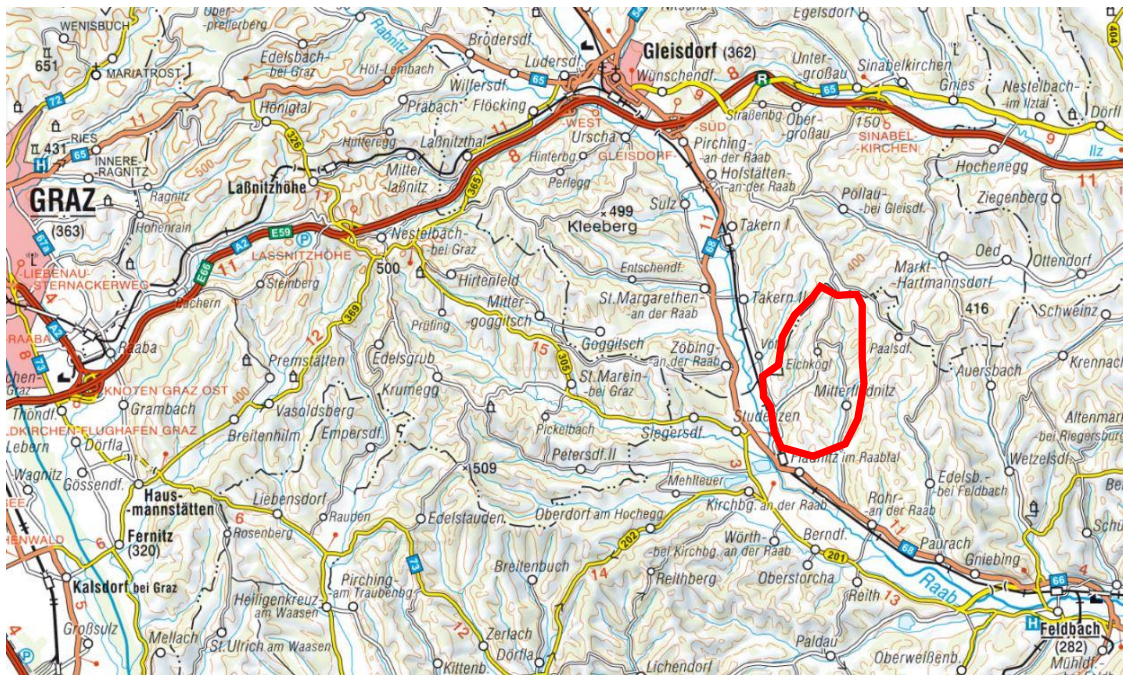


Bild 4.1: Lage der Gemeinde Eichkögl

Auf einer Fläche von 1490 Hektar wohnen 1305 Personen. Insgesamt gibt es 396 Privathaushalte, die großteils an das öffentliche Wasserversorgungs- und Kanalnetz angeschlossen sind [27].

In den vergangenen Jahren konnte ein großer Zuzug beobachtet werden, welchen die Entstehung von einigen Siedlungen mit Einfamilienhäusern zur Folge hatte. Im Ortskern wurden zudem etliche Mietwohnungen errichtet. Ein Großteil der Wohnhäuser liegt verstreut über das Gemeindegebiet, was für die Versorgung bei einem Blackout eine zusätzliche Herausforderung darstellt.

Nach Rücksprache mit Bürgermeister Ing. Heinz Konrad stellt die Gemeinde sämtliche nötigen Informationen für diese Arbeit zur Verfügung und es besteht großes Interesse bezüglich dieser Thematik. So wurden von der Gemeinde die Daten zu den Photovoltaikanlagen, dem Wasser- und Kanalnetz und den bisherigen Überlegungen sowie geplanten Anschaffungen zur Vorsorge zur Verfügung gestellt [28].

5 Wasserversorgung in der Gemeinde Eichkögl

5.1 Überblick

Die Wasserversorgung der Gemeinde Eichkögl erfolgt komplett eigenständig über den Tiefbrunnen Mitterfladnitz. Für Notfälle ist jedoch ein Anschluss an die Wasserversorgung Vulkanland in Studenzen realisiert. Somit wäre bei einem Totalausfall in der Gemeinde die Versorgung über den Wasserverband gesichert.

Das Trinkwasser wird in Mitterfladnitz gefördert und durch Filteranlagen aufbereitet. Ein Teil davon wird in den Hochbehälter Eichkögl gepumpt, von wo aus es in das Wasserversorgungsnetz eingespeist wird. Seit einigen Jahren ist eine Ringleitung realisiert, um eine Versorgung auch beim Ausfall einer Leitung zu gewährleisten. Hierzu wird vom Tiefbrunnen Mitterfladnitz ebenfalls über Pumpen in das Wasserversorgungsnetz eingespeist.

Im nachfolgenden Bild 5.1 ist der schematische Aufbau der Anlage ersichtlich, welcher nun auch näher erklärt werden soll.

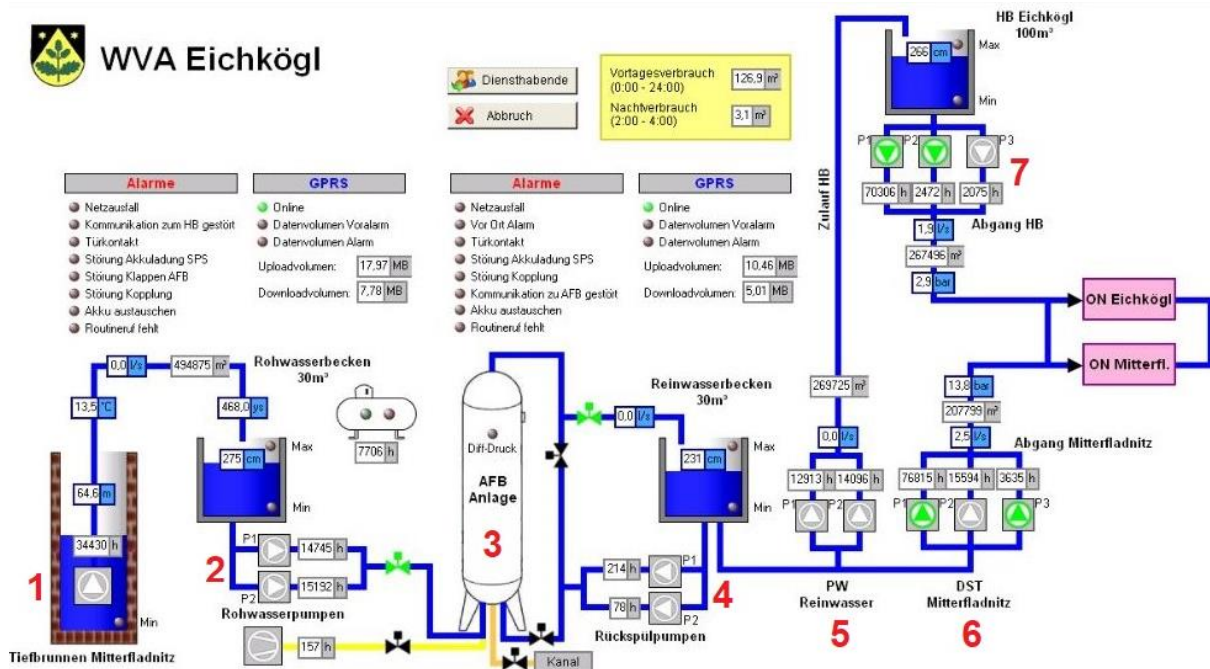


Bild 5.1: Schema - Wasserversorgungsnetz Eichkögl

Erläuterung der rot nummerierten Bestandteile:

- 1) Brunnenpumpe 5,5 kW
- 2) Rohwasserpumpen 2 x 4 kW
- 3) Filteranlage
- 4) Rückspülpumpen 2 x 0,75 kW
- 5) Reinwasserpumpen zum Hochbehälter 2 x 5,5 kW
- 6) Drucksteigerungspumpen Mitterfladnitz 3 kW und 2 x 7,5 kW
- 7) Drucksteigerungspumpen Eichkögl 1,5 kW und 2 x 5,5 kW

Daraus ergibt sich eine Gesamtleistung für die Pumpstation Mitterfladnitz von ca. 44 kW und für den Hochbehälter Eichkögl von ca. 12,5 kW.

5.2 Aufbau in der Gemeinde

Das Rohwasser wird mittels der Brunnenpumpe aus dem Tiefbrunnen Mitterfladnitz gefördert und gelangt darauffolgend in das Rohwasserbecken, welches eine Kapazität von 30 m³ besitzt. Noch im Brunnen werden die Temperatur sowie elektrische Leitfähigkeit gemessen, um die Qualität des Wassers kontinuierlich zu überwachen.

Die beiden Rohwasserpumpen fördern das Wasser durch die Filteranlage, in welcher Unreinheiten sowie vorhandenes Eisen entfernt werden. Danach gelangt das Reinwasser in das Reinwasserbecken, welches ebenfalls eine Kapazität von 30 m³ aufweist. Im nachfolgenden Bild 5.2 ist die Filteranlage, danach sind in Bild 5.3 die Rohwasserpumpen ersichtlich.



Bild 5.2: Filteranlage Mitterfladnitz



Bild 5.3: Rohwasserpumpen Mitterfladnitz

Mit Hilfe der beiden Rückspülpumpen wird die Filteranlage im Schnitt einmal wöchentlich automatisch gereinigt. Dies dient dazu, die Filterstufen von den abgelagerten Stoffen zu

befreien und ein Verstopfen zu vermeiden. Die Versorgung der Rückspülpumpen ist auch im Fall eines Blackouts notwendig, da nur so eine korrekte Funktion der Anlage gewährleistet werden kann. Aufgrund der relativ kleinen Leistung von 0,75 kW stellen diese, im Vergleich zu den übrigen Pumpen, kein Problem dar. Nachfolgendes Bild 5.4 zeigt die Rückspülpumpen.



Bild 5.4: Rückspülpumpen zur Reinigung der Filterstufen

Vom Reinwasserbecken wird das Trinkwasser dann direkt in das Versorgungsnetz eingespeist. Dies erfolgt über drei Drucksteigerungspumpen. Die schwächer ausgelegte Pumpe (3 kW) dient dem Druckerhalt im Netz und läuft durchgehend. Aufgrund der Lage im Tal ist ein relativ hoher Druck von 14,5 bar notwendig, um auch die am höchsten gelegenen Wohnhäuser entsprechend versorgen zu können.

Die beiden stärkeren Pumpen (je 7,5 kW) werden bei Abfallen des Drucks nacheinander zugeschaltet. Dies erfolgt abwechselnd, um eine gleiche Auslastung der beiden Pumpen zu gewährleisten.

Die Zuschaltung einer stärkeren Pumpe ist meist nur zu den Stoßzeiten notwendig. Wird ein Hydrant geöffnet und Wasser entnommen, sind alle drei Pumpen in Betrieb. Die drei Drucksteigerungspumpen sind in Bild 5.5 ersichtlich.



Bild 5.5: Drucksteigerungspumpen Mitterfladnitz (links 3 kW, mittig und rechts 7,5 kW)

Zusätzlich wird das Wasser vom Reinwasserbecken mit Hilfe von zwei Pumpen (je 5,5 kW) in den Hochbehälter Eichkögl gepumpt (siehe Bild 5.6) welcher ein Fassungsvermögen von 100 m³ besitzt.



Bild 5.6: Pumpen zur Füllung des Hochbehälters in Eichkögl

Von dort wird ebenfalls mit drei Pumpen, wie in Bild 5.7 ersichtlich, in das Versorgungsnetz eingespeist. Aufgrund der höheren Lage reichen Pumpen geringerer Leistung aus, da ein Einspeisedruck von lediglich 3,3 bar nötig ist. Somit sorgt eine Pumpe (1,5 kW) für den Druckerhalt, die beiden weiteren Pumpen (je 5,5 kW) werden bei Absinken des Drucks durch größeren Wasserbedarf zugeschaltet.



Bild 5.7: Drucksteigerungspumpen Eichkögl (links und mittig 5,5 kW, rechts 1,5 kW)

5.3 Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch kann über vier Zähler sehr genau bestimmt werden, und wird automatisiert aufgezeichnet. So ist es möglich, den Bedarf von einem ganzen Jahr bis hin zu einzelnen Stunden ermitteln zu können.

In den Sommermonaten nimmt der Verbrauch signifikant zu. Gründe hierfür sind zum Beispiel das Füllen von privaten Swimmingpools und die Bewässerung der Gärten. Dies tritt in den Wintermonaten nicht auf, weshalb auch der Wasserbedarf, bezogen auf einen ganzen Monat, um etwa ein Drittel abnimmt. Im nachfolgenden Diagramm 5.1 ist dieses Verhalten erkennbar.

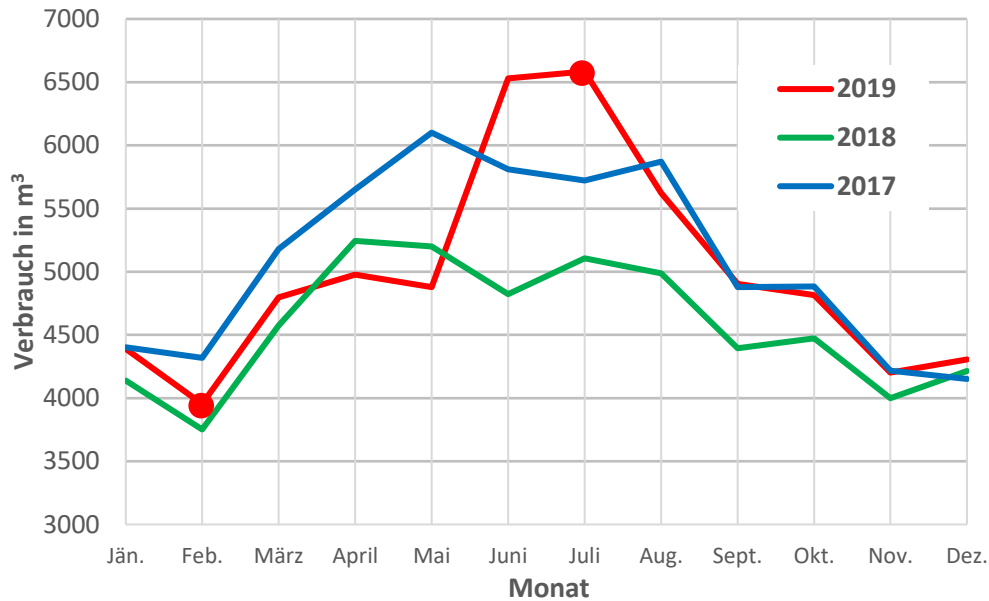


Diagramm 5.1: Wasserbrauch von 2017 bis 2019

Der Wasserverbrauch von 2017 bis 2019 schwankte zwischen 55.000 m³ und 60.000 m³ pro Jahr. Dies lässt sich auf eher trockene bzw. feuchte Jahre/Monate zurückführen.

Die mit roten Punkten markierten Monate Februar sowie Juli 2019 (minimaler und maximaler Monatsverbrauch) im Diagramm 5.1 sollen in weiterer Folge näher betrachtet werden.

In Diagramm 5.2 ist der tägliche Wasserverbrauch im Monat Februar dargestellt. Die Skalierung wurde gleich wie im darauffolgenden Diagramm 5.3 vom Juli 2019 gewählt, um eine gute Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Der Tagesverbrauch ist ebenfalls nicht konstant, sondern regelmäßigen Schwankungen unterworfen. An den Wochenenden steigt der Bedarf wesentlich an, während unter der Woche weniger Wasser benötigt wird. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Gemeindebewohner wochentags weniger zu Hause sind, und somit auch ein geringerer Wasserbedarf besteht.

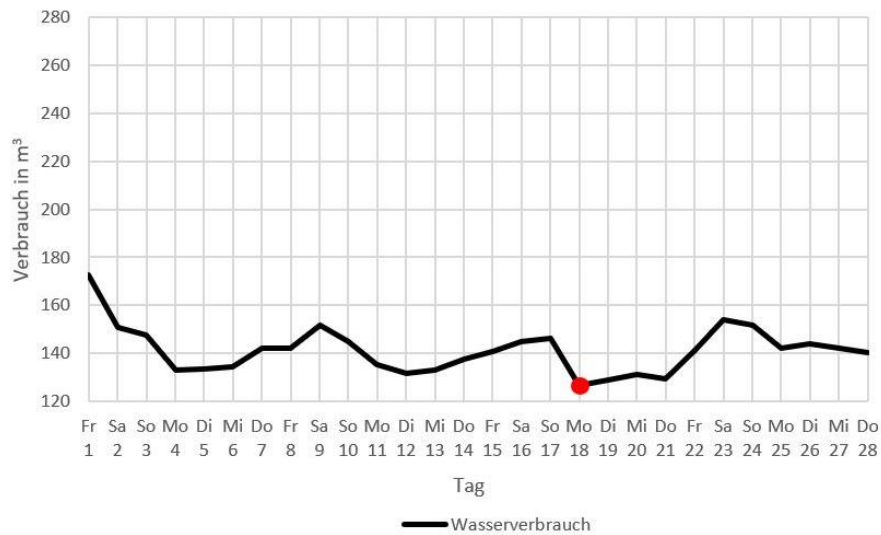


Diagramm 5.2: Wasserverbrauch im Februar 2019

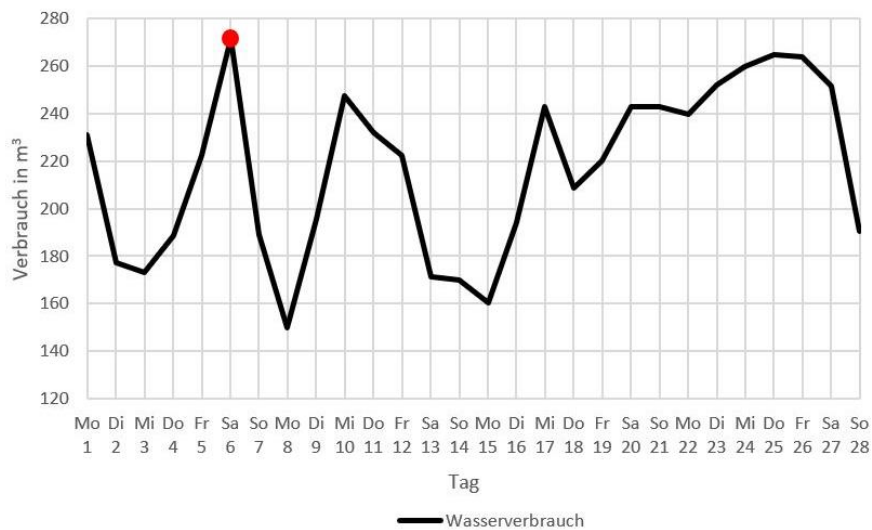


Diagramm 5.3: Wasserverbrauch im Juli 2019

Die in den obigen Diagrammen 5.2 und 5.3 markierten Tage sollen nachfolgend (18. Februar 2019 in Diagramm 5.4 und 06. Juli 2019 in Diagramm 5.5) genauer betrachtet werden. Auch während eines Tages ist der Verbrauch starken Schwankungen unterworfen. Es ist morgens und abends jeweils ein größerer Bedarf erkennbar.

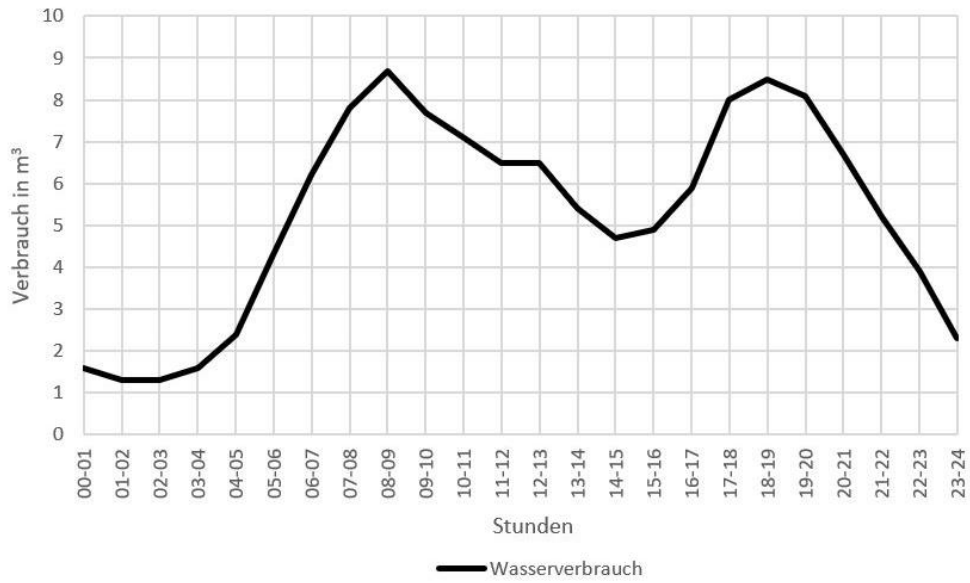


Diagramm 5.4: Wasserverbrauch am 18. Februar 2019

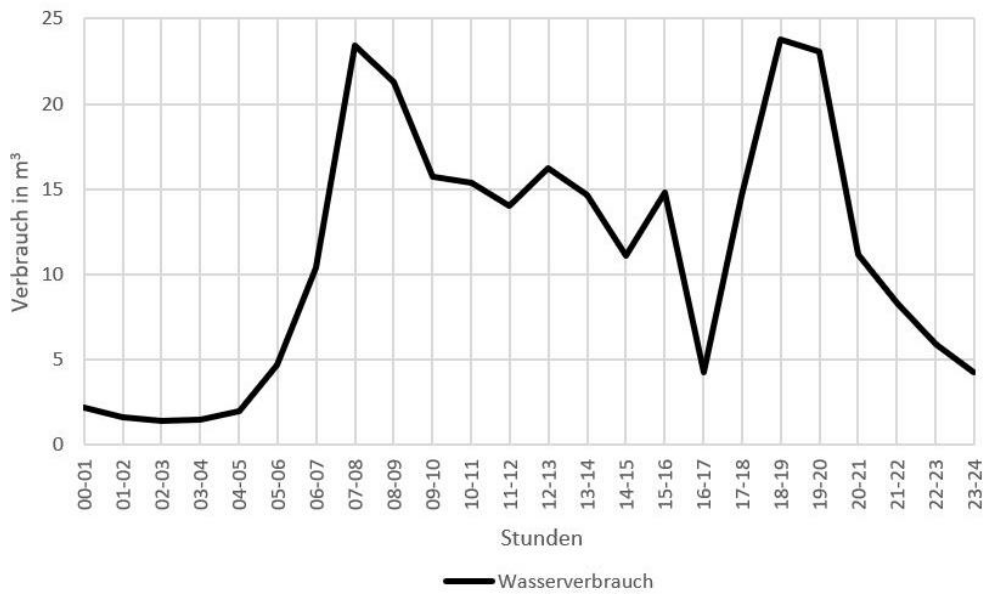


Diagramm 5.5: Wasserverbrauch am 06. Juli 2019

Im Schnitt kann ein täglicher Wasserbedarf der Gemeinde Eichkögl von 165 m³ angenommen werden.

5.4 Notbetrieb bei Netzausfall

Die Stationen Mitterfladnitz sowie Eichkögl sind an das öffentliche Stromnetz angeschlossen und besitzen zudem jeweils eine Photovoltaikanlage. Eine Nutzung der PV Anlagen wird vorrangig nicht betrachtet, da von einem Worst Case Szenario ausgegangen wird, sprich mittels Photovoltaik keine Energie zur Verfügung gestellt werden kann.

Da die Wasserversorgung der Gemeindebürger von hoher Priorität ist, wird die Notversorgung so ausgelegt, dass der komplette Betrieb über Notstromgeneratoren sichergestellt wird.

Pumpstation Mitterfladnitz

Die Pumpstation Mitterfladnitz ist bereits mit einer Notstromspeisung ausgestattet. Es wurde ein Netztrennschalter direkt am Bedienpult der Anlage verbaut.

An der Außenseite des Gebäudes ist eine Einspeisung mittels 5-poligem Drehstromstecker (32 A) realisiert, wie auf Bild 5.8 ersichtlich.



Bild 5.8: Noteinspeisung Pumpstation Mitterfladnitz

Anzumerken ist, dass die Pumpstation *nicht* fernsteuerbar ist. Das online abrufbare Schema (Bild 5.1) dient nur der Information und zeigt die aktuellen Parameter. Es können aber keine Schaltbefehle gegeben werden. Die komplette Anlage läuft im Normalbetrieb selbstständig, sprich Schalthandlungen (Pumpen ein- und ausschalten, Überwachung Druck und Pegelstände) werden automatisiert vorgenommen.

Im Krisenfall ist eine Bedienung nur vor Ort über das Schaltpult in der Pumpstation möglich. Der Grund hierfür ist, dass aus Sicherheitsgründen bei manuellen Schalthandlungen eine befugte Person vor Ort sein muss, um die Anlage zu überwachen.

Von Vorteil ist es auch, dass durch die analogen Messgeräte am Bedienpult die Anlage vollkommen manuell betrieben werden kann. Die automatische Steuerung per SPS wird dazu nicht benötigt und kann deaktiviert werden.

Hochbehälter Eichkögl

Der Hochbehälter Eichkögl besitzt ebenfalls eine Notstromspeisung. Diese ist, im Gegensatz zur Pumpstation Mitterfladnitz, nicht an der Gebäudeaußenseite, sondern direkt neben dem Schaltschrank angebracht, wie in Bild 5.9 ersichtlich.



Bild 5.9: Notstromspeisung Hochbehälter Eichkögl

Der Hochbehälter fasst 100 m³ Trinkwasser, mit welchem das Gemeindegebiet ca. 16 Stunden versorgt werden kann. Dies ist wesentlich von der Jahreszeit bzw. dem Wetter abhängig. Die Füllung erfolgt über die Pumpstation Mitterfladnitz.

Durch die beschriebene Ringleitung im Wasserversorgungsnetz von Eichkögl ergeben sich zwei Möglichkeiten, die Versorgung im Blackoutfall aufrecht zu erhalten, welche nachfolgend näher erläutert werden sollen.

5.4.1 Ausschließliche Nutzung der Pumpen Mitterfladnitz im Blackoutfall

Ein Notbetrieb wäre bei ausschließlicher Nutzung der Pumpstation Mitterfladnitz möglich. Der Hochbehälter Eichkögl wird hierzu nicht benötigt. Somit wäre die komplette Wasserversorgung über einen Notstrom-Einspeisepunkt zu bewältigen. Notwendig wären nachfolgend in der

Tabelle 5.1 aufgelistete Leistungen. Hierbei werden die mindestens notwendigen Pumpen betrachtet, um die Wasserversorgung aufrecht erhalten zu können.

Betriebsmittel	Leistungsbedarf Mitterfladnitz
Brunnenpumpe	5,5 kW
Rohwasserpumpe 1	4,0 kW
Rückspülpumpe 1	0,8 kW
Drucksteigerungspumpe 1	3,0 kW
Drucksteigerungspumpe 2	7,5 kW
Diverses	1,0 kW
Gesamt	~ 22 kW

Tabelle 5.1: Benötigte Leistung bei ausschließlicher Nutzung der Pumpen Mitterfladnitz

5.4.2 Ausschließliche Nutzung der Pumpen Eichkögl im Blackoutfall

Ebenfalls wäre der Betrieb möglich, wenn nur die Drucksteigerungspumpen im Hochbehälter Eichkögl verwendet werden. Die Förderung, Aufbereitung sowie das Pumpen in den Hochbehälter wäre jedoch in Mitterfladnitz notwendig. Dies würde den Bedarf von zwei Notstromgeneratoren bzw. zwei Einspeisungen bedeuten, wie in Tabelle 5.2 ersichtlich.

Betriebsmittel	Leistungsbedarf Mitterfladnitz	Leistungsbedarf Eichkögl
Brunnenpumpe	5,5 kW	-
Rohwasserpumpe 1	4,0 kW	-
Reinwasserpumpe 1	5,5 kW	-
Rückspülpumpe 1	0,8 kW	-
Drucksteigerungspumpe 1	-	1,5 kW
Drucksteigerungspumpe 2	-	5,5 kW
Diverses	1,0 kW	1,0 kW
Gesamt	~ 16 kW	~ 8 kW

Tabelle 5.2: Benötigte Leistung bei ausschließlicher Nutzung der Pumpen Eichkögl

Einige Haushalte in der Gemeinde Eichkögl befinden sich über dem Niveau des Hochbehälters. Somit ist es nicht möglich, das Wasser vom Hochbehälter aus direkt in das Netz fließen zu lassen, da diese Haushalte dadurch unversorgt bleiben würden. Dadurch ist es notwendig, die Drucksteigerungspumpen in Eichkögl ebenfalls zu versorgen.

Da es wirtschaftlich und auch logistisch schwieriger ist zwei, voneinander unabhängige Notstromversorgungen zu betreiben, wird in den nachfolgenden Simulationen die Trinkwasserversorgung rein durch die Pumpstation Mitterfladnitz (Punkt 5.4.1) betrachtet.

5.5 Dimensionierung und Simulation einer Notversorgung für die Wasserversorgung

Die nachfolgenden Simulationen werden mit dem Programm PowerFactory 2020 SP1B (x64) durchgeführt, welches von der Firma DigSILENT zur Verfügung gestellt wurde [29].

Ziel der Simulationen ist die Dimensionierung eines geeigneten Notstromgenerators, um die Pumpstation Mitterfladnitz autonom betreiben zu können. Hierbei soll auf die Einschaltvorgänge der Pumpen sowie auf eine Staffelung nach Notwendigkeit geachtet werden.

5.5.1 Simulationsaufbau

Im ersten Schritt ist es notwendig, die Wasserversorgungsanlage im Simulationsprogramm nachzubilden. Dies wird im nachfolgenden Bild 5.10 dargestellt.

Basis bildet eine Einfachsammelschiene mit einer Spannung von 0,4 kV. An jene werden die zehn vorhandenen Pumpen, die allgemeine Last und der Notstromgenerator angeschlossen.

Die Pumpen links, rot umrahmt, stellen die Pumpen dar, die jedenfalls verfügbar sein müssen (siehe Punkt 5.4.1), sowie eine allgemeine Last von 1 kW, welche die Beleuchtung etc. darstellen soll. Die Pumpen rechts, grün umrahmt, stellen die weiteren Pumpen dar, welche nicht unbedingt zur Notversorgung benötigt werden.

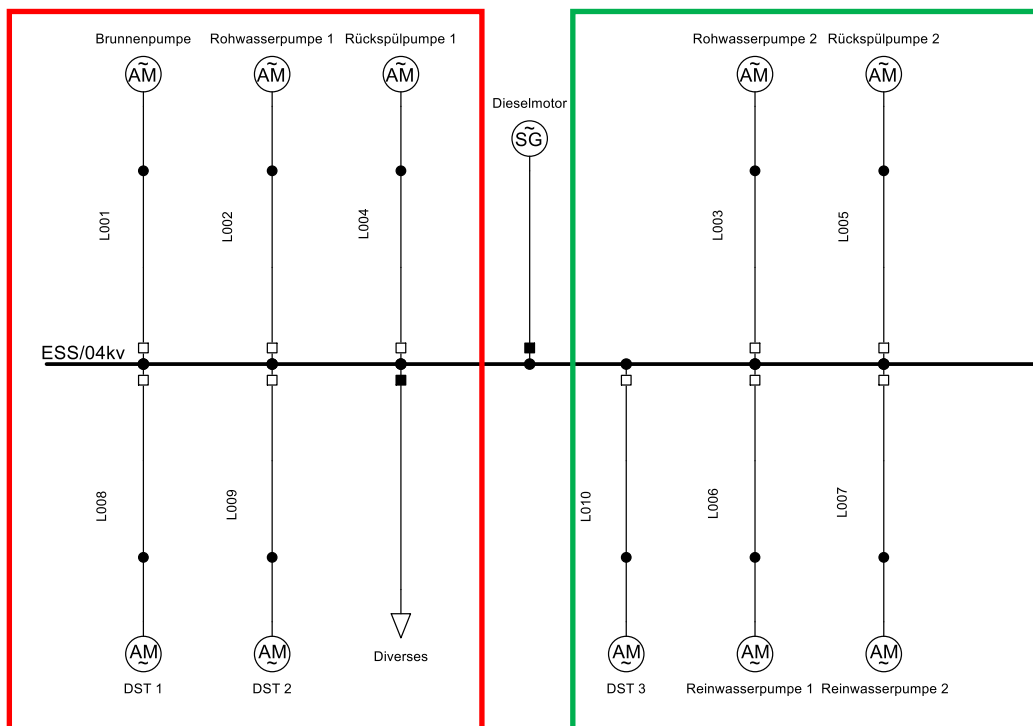


Bild 5.10: Simulationsaufbau in PowerFactory 2020

In Tabelle 5.3 werden die verwendeten Asynchronmotoren beschrieben. Die verwendeten Modelle sind in der Standard-Bibliothek von DigSilent PowerFactory verfügbar und stammen ursprünglich aus einem Katalog der Firma WEG [30].

Pumpen	Leistung	Verwendetes Modell
Brunnenpumpe	5,5 kW	5.5 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MULT
Rohwasserpumpe 1	4,0 kW	4 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MULT
Rohwasserpumpe 2	4,0 kW	4 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MULT
Rückspülpumpe 1	0,8 kW	0.75 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MU
Rückspülpumpe 2	0,8 kW	0.75 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MU
Reinwasserpumpe 1	5,5 kW	5.5 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MULT
Reinwasserpumpe 2	5,5 kW	5.5 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MULT
Drucksteigerungspumpe 1	3,0 kW	3 kW/0.4 kV/4/EXPLOSION PROOF MULT
Drucksteigerungspumpe 2	7,5 kW	7.5 kW/0.4 kV/1/HIGH EFFICIENCY
Drucksteigerungspumpe 3	7,5 kW	7.5 kW/0.4 kV/1/HIGH EFFICIENCY
Diverses (Beleuchtung)	1,0 kW	Allgemeine Last 1 kW
Gesamt:	45 kW	

Tabelle 5.3: Verwendete Asynchronmotoren - Wasserversorgung

Da die Motoren verteilt über die Anlage verbaut sind, wurden wie in Tabelle 5.4 beschrieben, Leitungen verwendet, um möglichst realistische Bedingungen für die Simulationen zu

schaffen. Die verwendeten Modelle stammen ebenfalls aus der DigSILENT PowerFactory Standardbibliothek, die Querschnitte sowie Längen konnten dem Verdrahtungsplan der Anlage entnommen werden [29, 31].

Leitungen	Querschnitt	Länge	Verw. Modell
L001	4 x 4,0 mm ²	130 m	NYCY 4x4/4
L002	4 x 1,5 mm ²	40 m	NYM 4x1.5
L003	4 x 1,5 mm ²	40 m	NYM 4x1.5
L004	4 x 1,5 mm ²	35 m	NYM 4x1.5
L005	4 x 1,5 mm ²	35 m	NYM 4x1.5
L006	4 x 1,5 mm ²	30 m	NYM 4x1.5
L007	4 x 1,5 mm ²	30 m	NYM 4x1.5
L008	4 x 1,5 mm ²	25 m	NYM 4x1.5
L009	4 x 1,5 mm ²	25 m	NYM 4x1.5
L010	4 x 1,5 mm ²	25 m	NYM 4x1.5

Tabelle 5.4: Verwendete Leitungen

Als Notstromgenerator wird das Modell einer Synchronmaschine herangezogen. Dieses wird um ein Kraftwerksmodell ergänzt, welches einen Spannungs- sowie Drehzahlregler beinhaltet.

Die Regler wurden aus der Standardbibliothek von PowerFactory 2020 übernommen und bei den Standard-Einstellungen belassen, da gute Ergebnisse erreicht wurden. Da nicht bekannt ist, welcher Generator genau angeschafft wird bzw. wie die Regelung realisiert ist, wurden beispielhaft der Spannungsregler „avr ESAC8B“ und der Drehzahlregler „PIDGOV_Lastreg“ verwendet. Für nähere Informationen sei auf das Benutzerhandbuch von PowerFactory verwiesen [32]. Die angegebenen Regler und deren Parameter, wie in Tabelle 5.5 ersichtlich, werden auch für alle nachfolgenden Simulationen verwendet.

Spannungsregler avr ESAC8B			Drehzahlregler PIDGOV_Lastreg		
Bez.	Wert	Einheit	Bez.	Wert	Einheit
Tr	0,02	s	freg	1	1/0
KP	0,2	pu	Gmax	1,03	pu
Ka	100	pu	Tb	0,05	s
Ta	0,02	s	Ta	0,04	s
slope	0	-	Kp	13	pu
Ke	0,5	pu	Ki	11	pu
KI	0,05	pu	Kd	1	pu
Te	0,35	s	Dturb	1	pu
E1	3,9	pu	PN	0	MW
Se1	0,1	pu	Droop	0	-
E2	5,2	pu	Treg	1,5	s
Se2	0,5	pu	Lastreg	1	-
KD	0,05	pu	Anteil	0,334	-
TD	0,03	s	Gmin	0	-
f_knee	0	-	Velmin	-3	-
VRMIN	-5	pu	Velmax	0,04	-
VRMAX	5	pu	-	-	-

Tabelle 5.5: Eingestellte Parameter für Spannungs- und Drehzahlregler

Eine genaue Erläuterung der in obiger Tabelle 5.5 genannten Parameter ist den Blockschaltbildern bzw. den Reglereinstellungen zu entnehmen [33, 34].

5.5.2 Lastflussberechnung – Notversorgung

In diesem Fall wird der Worst Case betrachtet: Es befindet sich kein Wasser in den Rohwasser- bzw. Reinwasserbecken und die Photovoltaikanlage liefert keine Energie. Das komplette System wird von Grund auf neu hochgefahren. Die Steuerung erfolgt manuell über das Bedienpult in der Pumpstation.

Zuerst wird eine Lastflussberechnung durchgeführt, um zu überprüfen, ob ein stabiler Betrieb überhaupt möglich ist. Als Referenz wurde die ungefähr benötigte Leistung aus Tabelle 5.1 von 22 kW angenommen. In weiterer Folge wurden verschiedene Generatormodelle simuliert, um einerseits einen möglichst kostengünstigen (kleinste mögliche Generatorleistung) aber andererseits auch möglichst stabilen Betrieb der Notversorgung zu gewährleisten.

Schlussendlich fiel die Wahl auf einen Generator mit der Leistung von 35 kVA. Hierzu wurden die Reaktanzen und Zeitkonstanten eines ebensolchen Generators der Type „LSA 42.3 S4“,

vertrieben von der Firma Leroy-Somer, herangezogen [35]. Dieser Generator stellt aber die Mindestanforderung dar, sinnvoll wäre es ein stärkeres Modell zu wählen, um eine Leistungsreserve zu erhalten. Die genauen Werte sind Tabelle 5.6 zu entnehmen.

Parameter	Wert	Parameter	Wert
U_{Nenn}	400 V	X''_q	9,2 %
S_{Nenn}	35 kVA	X_0	0,54 %
$\cos \varphi$	0,8	X_2	7,89 %
ρ	2	T_a	8 ms
X_d	229 %	T'_d	50 ms
X'_d	13 %	T''_d	5 ms
X''_d	6,5 %	$T_{d0'}$	880 ms
X_q	117 %	J_{Gen}	0,3096 kgm ²

Tabelle 5.6: Daten des Generators "LSA 42.3 S4" von Leroy-Somer [35]

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Lastflussberechnung in Bild 5.11 dargestellt. Erkennbar ist, dass der Generator bei stationärem Betrieb der fünf angeschlossenen Pumpen und der zusätzlichen Last von 1 kW ungefähr zu 77% ausgelastet ist. Dies entspricht auch den von Leroy-Somer angegebenen, zulässigen Daten im Datenblatt.

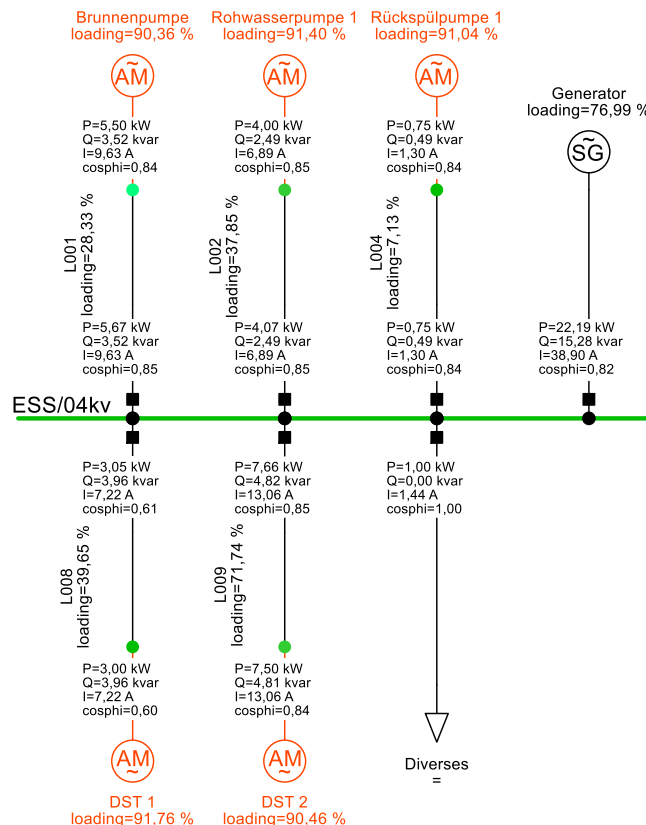


Bild 5.11: Lastflussberechnung Notversorgung

5.5.3 Transiente Betrachtung – Notversorgung

Für diese Simulation werden erneut die in Tabelle 5.1 genannten Pumpen betrachtet.

Da es nicht sinnvoll und nötig ist alle Pumpen zeitgleich zu starten, erfolgt dies, wie in Tabelle 5.7 ersichtlich, gestaffelt im Abstand von zehn Sekunden. Die „diverse“ Last von 1 kW ist ab Start der Simulation wirksam. In weiterer Folge wird nach 5 Sekunden der Start der ersten Pumpe durchgeführt.

Abkürzung	Betriebsmittel	Leistung	Zeit
DIV	Diverses	1,0 kW	0 s
BP	Brunnenpumpe	5,5 kW	5 s
RWP 1	Rohwasserpumpe 1	4,0 kW	15 s
DST 1	Drucksteigerungspumpe 1	3,0 kW	25 s
DST 2	Drucksteigerungspumpe 2	7,5 kW	35 s
RSP 1	Rückspülpumpe 1	0,8 kW	45 s

Tabelle 5.7: Zeitlich gestaffelter Hochlauf der Pumpen im Notbetrieb

Das Hochlaufverhalten wird durch den, zusätzlich (mit Ausnahme der Rückspülpumpe 1) verbauten, Stern-Dreieck Anlauf (zeitgesteuerte Umschaltung nach 0,5 s) verbessert.

Das Ergebnis der transienten Berechnung ist im Bild 5.12 ersichtlich – die Auslastung des Generators beträgt bei dieser Berechnung 81,4%, da die Einschaltvorgänge berücksichtigt werden.

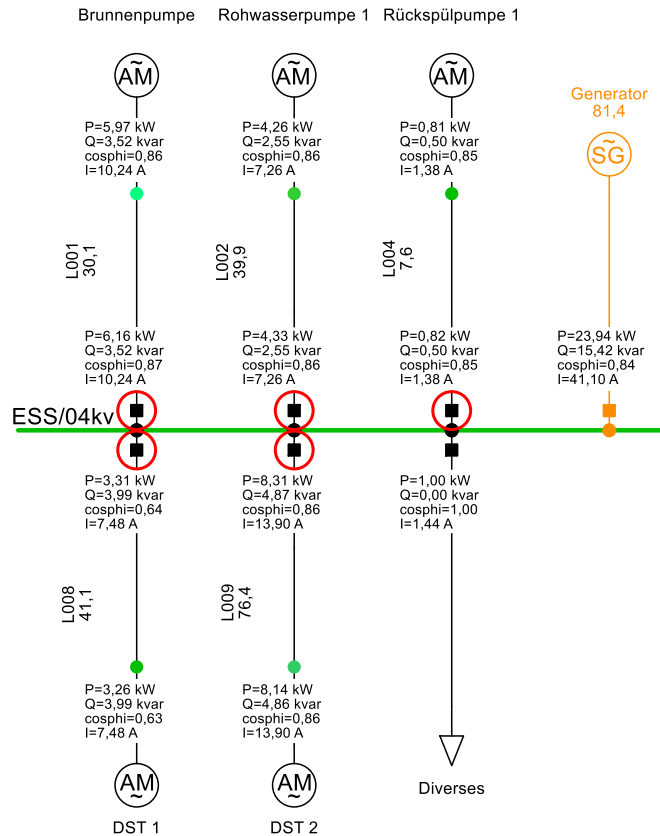


Bild 5.12: Transiente Simulation (EMT) Notversorgung

Es kommt trotz der unvorteilhaften Tatsache, dass die größte Pumpe (DST 2) mit einer Leistung von 7,5 kW erst nach 35 Sekunden zugeschaltet wird (wo bereits einige Pumpen laufen) zu einem korrekten Hochlauf des Systems.

Die Spannung bricht, wie in Diagramm 5.6 ersichtlich, maximal auf 0,828 p.u. ein, was auch keine Auslösung des Unterspannungsschutzes bedeutet. Vorausgesetzt wird natürlich, dass dieser korrekt nach den Richtlinien „TOR Erzeuger Typ A“ eingestellt ist [36]. Die Spannungseinbrüche (bezeichnet mit Abkürzungen, Erläuterung siehe Tabelle 5.7) bestehen aus einer großen und darauffolgenden kleineren Senkung. Dies lässt sich durch die Umschaltung des Stern-Dreieck Anlaufs erklären.

Würden alle Pumpen zeitgleich eingeschaltet, gäbe es einen Spannungseinbruch auf ca. 0,52 p.u., was Stabilitätsprobleme sowie Abschaltungen nach sich ziehen wird.

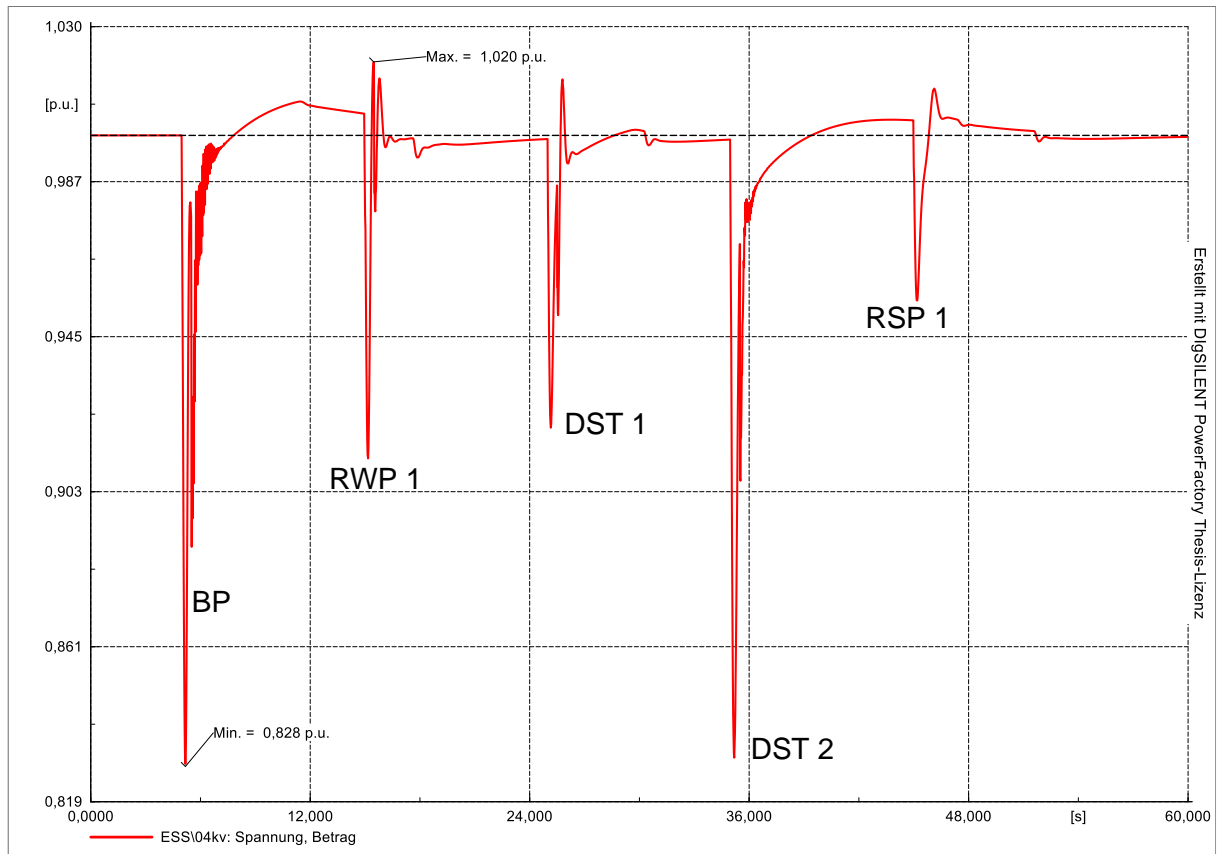


Diagramm 5.6: Spannungsverlauf an der Sammelschiene - Notversorgung

Als Beispiel soll der Einschaltstrom der Drucksteigerungspumpe 2 in Diagramm 5.7 betrachtet werden, um die Wichtigkeit des Stern-Dreieck Anlaufs hervorzuheben.

Wird ein Direktanlauf der Pumpe mit einer Leistung von 7,5 kW durchgeführt, beträgt der Anlaufstrom im ersten Moment ungefähr 6,5 p.u., was eine enorme Belastung für den Notstromgenerator und die Stabilität des Inselnetzes darstellt. Im Vergleich dazu werden die Stromspitzen durch den Stern-Dreieck Anlauf auf 2,5 bzw. 3,7 p.u. reduziert.

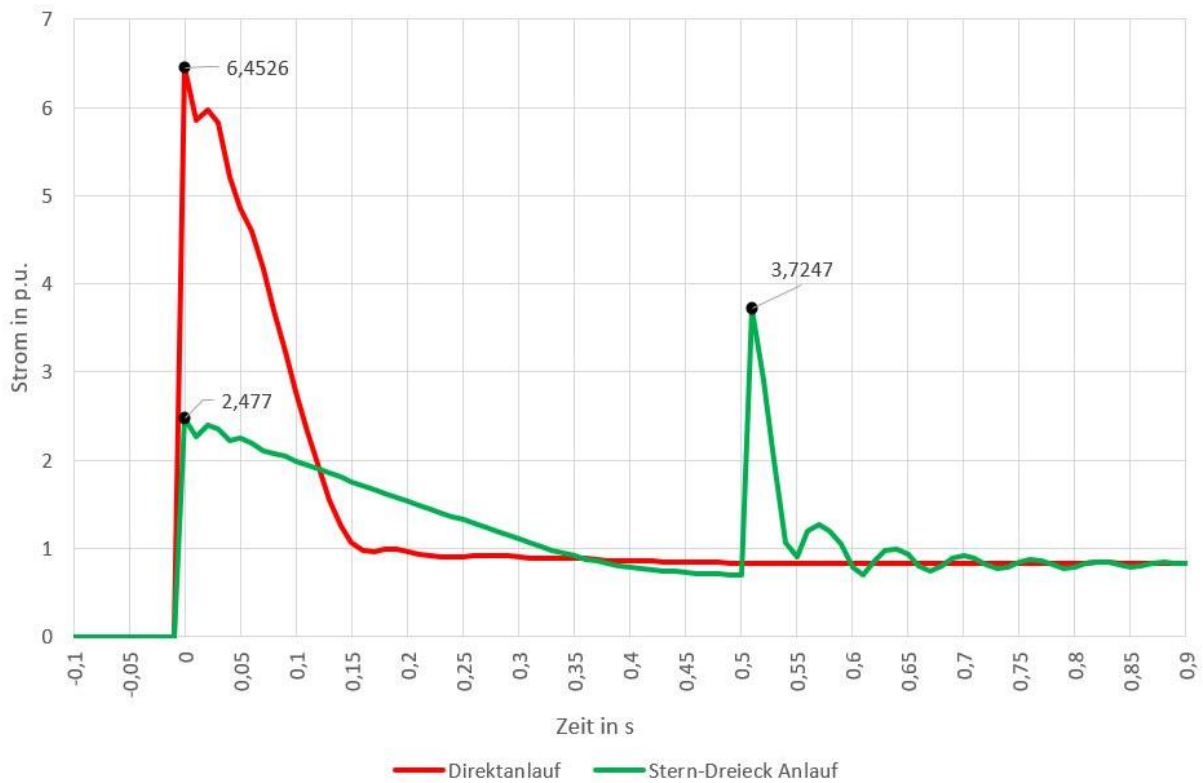


Diagramm 5.7: Einschaltstrom Drucksteigerungspumpe 2

Weiters soll die Frequenz beim Einschaltvorgang beobachtet werden (siehe Diagramm 5.8). Beim Zuschalten der Brunnenpumpe nach 5 Sekunden bricht die Frequenz kurzzeitig auf 38,15 Hz ein. Der Frequenzregler regelt sofort nach, und führt die Frequenz zu ihrem Normalwert zurück. Dies passiert bei allen Schaltvorgängen bis die komplette Notversorgung in Betrieb ist.

Nach ca. 60 Sekunden ist der Regelvorgang beendet und die Frequenz beträgt 50 Hz.

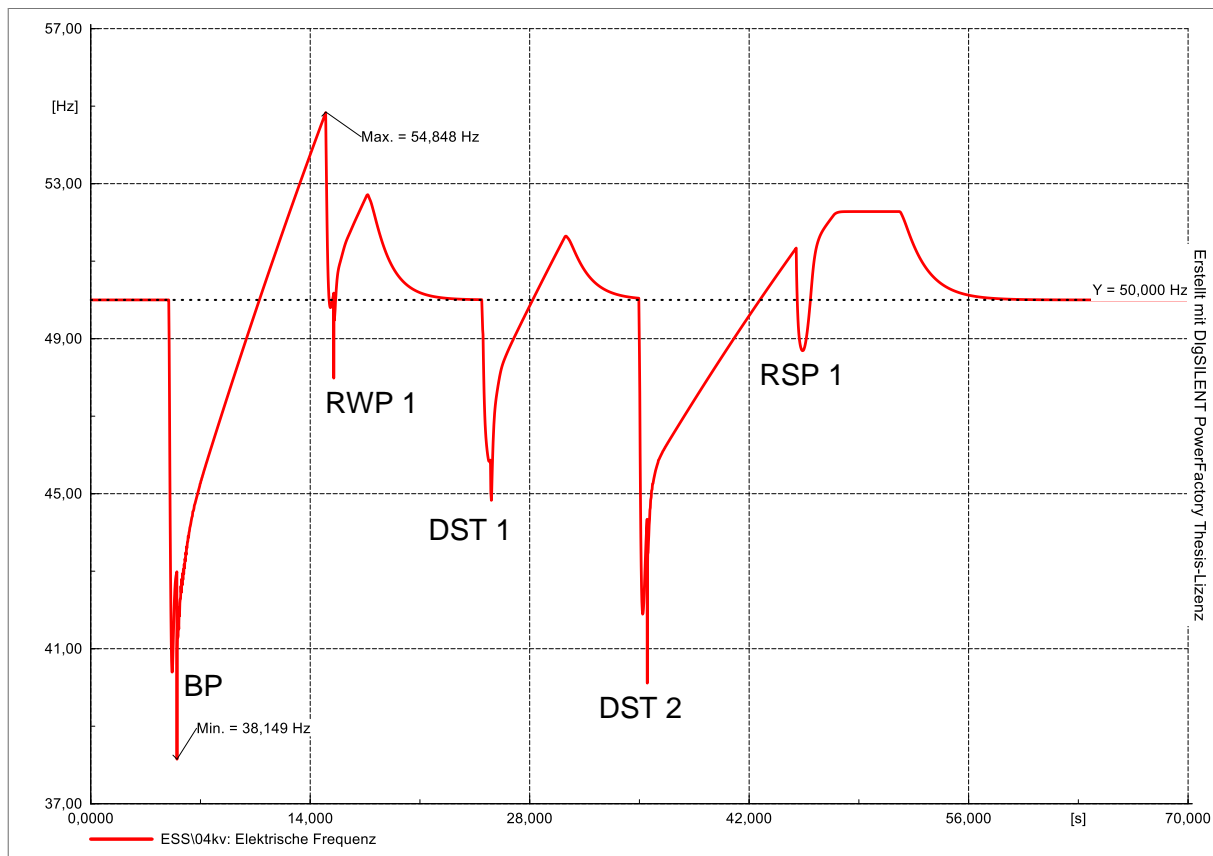


Diagramm 5.8: Frequenzverlauf Notversorgung Wasser

Problem: Noteinspeisung Mitterfladnitz

Die Noteinspeisung ist mit einem 32 A Stecker realisiert, wie in Bild 5.8 dargestellt. Die maximal zulässige Leistung, die über diesen Einspeisepunkt eingebracht werden darf, ist rund 22 kW. In der Lastflussrechnung wurde eine Wirkleistung von ~ 22 kW ermittelt, in der transienten Simulation von rund 24 kW. Somit ist diese Verbindung bereits bei vollem Notbetrieb ausgelastet bzw. überlastet.

Angenommen wurde, dass alle Pumpen dauernd und zeitgleich laufen, was in der Realität so nur sehr selten der Fall ist. Somit kann eine Notversorgung korrekt und im Rahmen der technischen Richtlinien durchgeführt werden.

5.5.3.1 Bewertung

Die Rücksprache mit dem Hersteller der Brunnenpumpe, Grundfos, ergab dass es keine genaue, zahlenbasierte Definition der Spannungs- bzw. Frequenzgrenzen beim Anlauf gibt. Die Grenzen wurden lediglich als „gering“ angegeben [37]. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Brunnenpumpe mit dem simulierten Generator trotz Stern-Dreieck Anlauf *nicht* starten wird. Es sind alternative Startmethoden, wie zum Beispiel ein Softstarter oder ein Frequenzumrichter zu verwenden.

Selbst eine signifikante Steigerung der Generatorleistung brachte nicht den gewünschten Erfolg. So kam es bei der Simulation mit einem 40 kW Generator zu einem Spannungseinbruch auf 0,87 p.u. bzw. einem Frequenzeinbruch auf 43,1 Hz. Bei einem Generator mit einer Leistung von 60 kW sank die Spannung beim Einschalten nach wie vor auf 0,91 p.u. bzw. die Frequenz auf 44,6 Hz, was ebenfalls keinen Hochlauf der Pumpe zur Folge hat.

Da für die anderen Pumpen keine Daten bezüglich der Hochlaufgrenzen verfügbar sind, wurde angenommen, dass hierfür dieselben Grenzen wie für die Brunnenpumpe gelten, und die Verwendung von alternativen Startmethoden notwendig ist. Dies lässt sich aber nur im Feldversuch bestätigen, da es durchaus möglich ist, dass Pumpen entgegen der Annahme hochlaufen.

5.5.3.2 Nutzung von alternativen Startmethoden

Durch den Einsatz von Softstartern oder Frequenzumrichtern kann der Spannungs- und Frequenzeinbruch und somit auch die Beanspruchung des Notstromgenerators beim Einschalten der Pumpen wesentlich verringert werden.

Im Programm PowerFactory wurde ein sanfter Hochlauf der einzelnen Pumpen über eine Dauer von 10 Sekunden (siehe Tabelle 5.8) durch Veränderung des Läuferwiderstands nachgebildet. Es ist beim Einschalten ein zusätzlicher Läuferwiderstand von 27 p.u. aktiv, welcher näherungsweise exponentiell auf 0 verringert wird.

Zeit in s	Zusätzlicher Läuferwiderstand in p.u.
0	27
0,5	9
1	7
1,5	5
2	3
3	2
4	1
5	0,8
6	0,4
7	0,2
8	0,1
9	0,05
10	0

Tabelle 5.8 Staffelung des zusätzlichen Läuferwiderstandes

Durch das Einbringen von zusätzlichen Widerständen in den Läuferkreis wird die Drehmomentkennlinie der Asynchronmaschine verschoben. So steht beim Zuschalten ein höheres Anlaufdrehmoment zur Verfügung. Wie auch nachfolgend die Verläufe von Spannung, Frequenz und Strom zeigen, entspricht dieses Hochlaufverfahren näherungsweise der Verwendung eines Frequenzumrichters.

Eine genaue Simulation ist nur mit den jeweiligen Einstellungsparametern der Betriebsmittel möglich, welche bei der Auslegung eines Notstromgenerators individuell betrachtet werden müssen.

In nachfolgendem Diagramm 5.9 sind die relevanten Größen beim Hochlauf, nämlich Generatorstrom, Spannung und Frequenz dargestellt.

Im Vergleich mit Diagramm 5.7 wird ersichtlich, dass keine relevanten Stromspitzen auftreten, welche eine Belastung für den Notstromgenerator darstellen. Der maximale Spannungseinbruch wird von 0,828 p.u. (Diagramm 5.6) auf 0,968 p.u. reduziert, was eine signifikante Verbesserung darstellt. Ebenso wird der Frequenzeinbruch sowie das darauffolgende Überschwingen, wie in Diagramm 5.8 dargestellt, vermieden, sodass die minimale Frequenz lediglich 49,23 Hz beträgt.

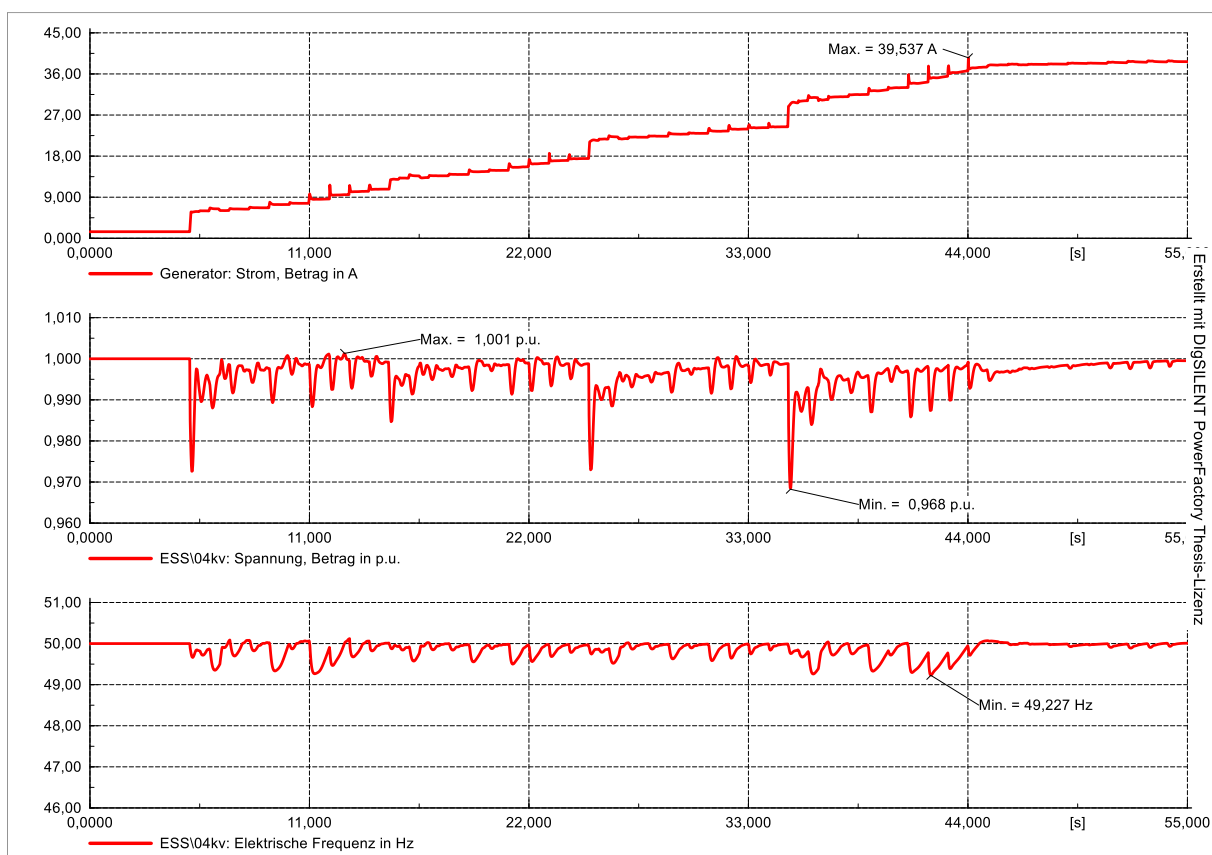


Diagramm 5.9: Strom, Spannung und Frequenz bei sanftem Hochlauf der Wasser-Notversorgung

Es wäre somit anzustreben auch im Fall eines Blackouts eine alternative Startmethode für die Pumpen zur Verfügung zu haben, um die auftretenden transienten Vorgänge beim Einschalten der Pumpen zu vermeiden, was eine Entlastung des Generators bedeutet.

Die Auslastung des Generators sinkt durch die alternative Startmethode ebenfalls um 5 % auf 76,5 % ab. Die größere Entlastung stellt jedoch der Wegfall der transienten Vorgänge beim Einschalten dar.

5.5.4 Lastflussberechnung – komplette Versorgung

Zusätzlich zur Notversorgung erfolgt eine Betrachtung, wie die Pumpstation Mitterfladnitz *komplett* versorgt werden könnte.

Dazu werden alle zehn Pumpen, wie in Bild 5.10 dargestellt, betrachtet. Dieses Szenario stellt eine außergewöhnliche Situation dar, in der große Mengen Trinkwasser benötigt werden. Dies könnte zum Beispiel bei einem Brand im Ortsgebiet der Fall sein.

Zu beachten gilt, dass die Notstromspeisung für diesen Leistungsbedarf nicht ausgelegt ist! Es müsste eine leistungsstärkere Steckverbindung sowie ein Kabel mit entsprechendem Querschnitt installiert werden!

Die Gesamtleistung der installierten Pumpen beträgt ca. 44 kW. Hinzu kommt eine allgemeine Last von 1 kW, die, wie in Tabelle 5.3 ersichtlich, angenommen wird.

Erneut erfolgt die Auswahl eines minimal notwendigen Generators: In diesem Fall wäre der Typ „LSA 42.3 L9“ von Leroy-Somer mit einer Leistung von 60 kVA passend. Die Daten wurden entsprechend dem Datenblatt in PowerFactory übernommen und werden in Tabelle 5.9 aufgeschlüsselt [35].

Parameter	Wert	Parameter	Wert
U_{Nenn}	400 V	X''_q	10,5 %
S_{Nenn}	60 kVA	X_0	0,61 %
$\cos \varphi$	0,8	X_2	8,93 %
p	2	T_a	8 ms
X_d	283 %	T'_d	50 ms
X'_d	14,7 %	T''_d	5 ms
X''_d	7,3 %	T_{d0}'	962 ms
X_q	144 %	J_{Gen}	0,4066 kgm ²

Tabelle 5.9 Daten des Generators „LSA 42.3 L9“ von Leroy-Somer [35]

Die Lastflussberechnung in Bild 5.13 zeigt, dass der Generator bei stationärem Betrieb zu 91,6 % ausgelastet ist.

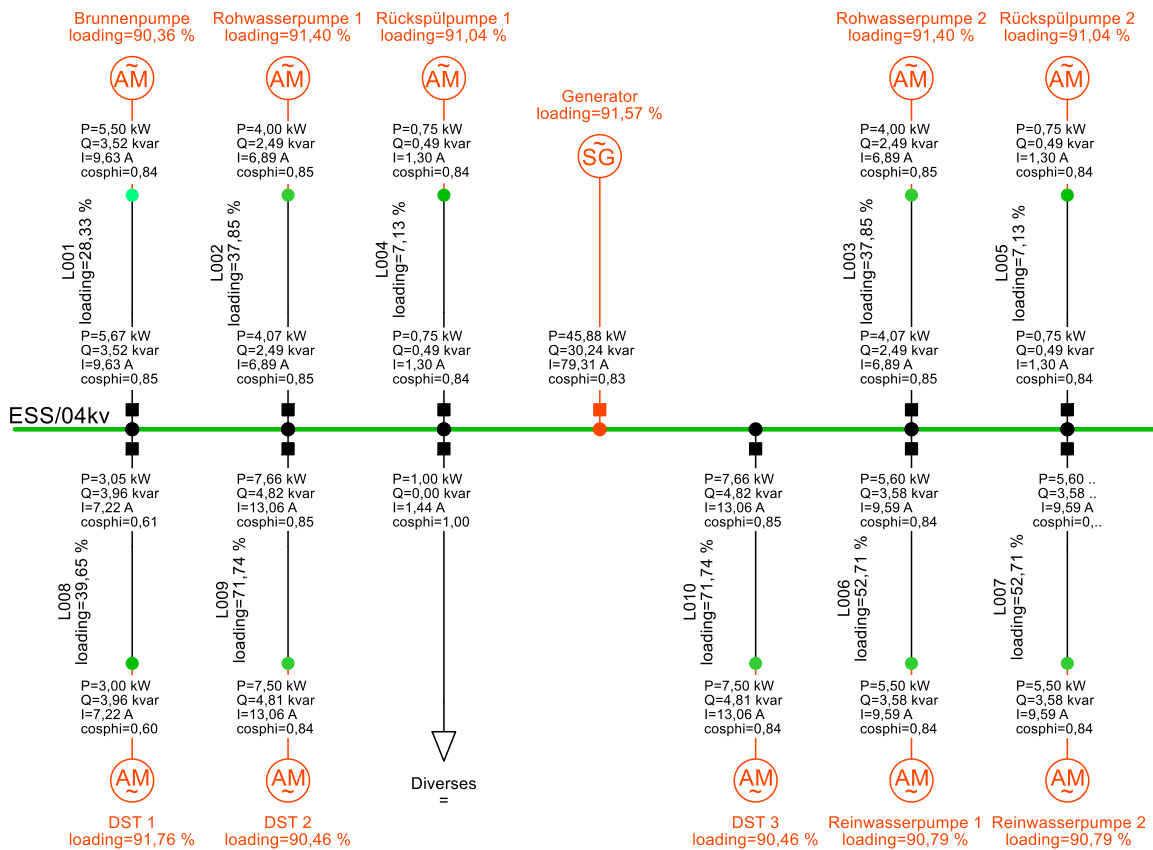


Bild 5.13: Lastflussberechnung Kompletterversorgung

5.5.5 Transiente Betrachtung – komplette Versorgung

Es werden erneut alle zehn Pumpen, wie in Bild 5.10 dargestellt, versorgt und gestaffelt gestartet.

Da es wiederum nicht sinnvoll ist, alle Pumpen zeitgleich zu starten, erfolgt dies, wie in Tabelle 5.10 ersichtlich, gestaffelt im Abstand von zehn Sekunden. Die „diverse“ Last von 1 kW ist ab Start aktiv, danach werden die Pumpen zugeschaltet.

Abkürzung	Betriebsmittel	Leistung	Zeit
DIV	Diverses	1,0 kW	0 s
BP	Brunnenpumpe	5,5 kW	5 s
RWP 1	Rohwasserpumpe 1	4,0 kW	15 s
RWP 2	Rohwasserpumpe 2	4,0 kW	25 s
DST 1	Drucksteigerungspumpe 1	3,0 kW	35 s
DST 2	Drucksteigerungspumpe 2	7,5 kW	45 s
DST 3	Drucksteigerungspumpe 3	7,5 kW	55 s
RWP 1	Reinwasserpumpe 1	5,5 kW	65 s
RWP 2	Reinwasserpumpe 2	5,5 kW	75 s
RSP 1	Rückspülpumpe 1	0,75 kW	85 s
RSP 2	Rückspülpumpe 2	0,75 kW	95 s

Tabelle 5.10: Zeitlich gestaffelter Hochlauf der Pumpen bei kompletter Versorgung

Das Hochlaufverhalten wird durch den, zusätzlich (mit Ausnahme der beiden Rückspülpumpen) verbauten, Stern-Dreieck Anlauf (zeitgesteuerte Umschaltung nach 0,5 s) verbessert.

Das Ergebnis der transienten Berechnung ist im Bild 5.14 ersichtlich – die Auslastung des Generators beträgt bei dieser Berechnung 96,2 % unter Berücksichtigung der Einschaltvorgänge.

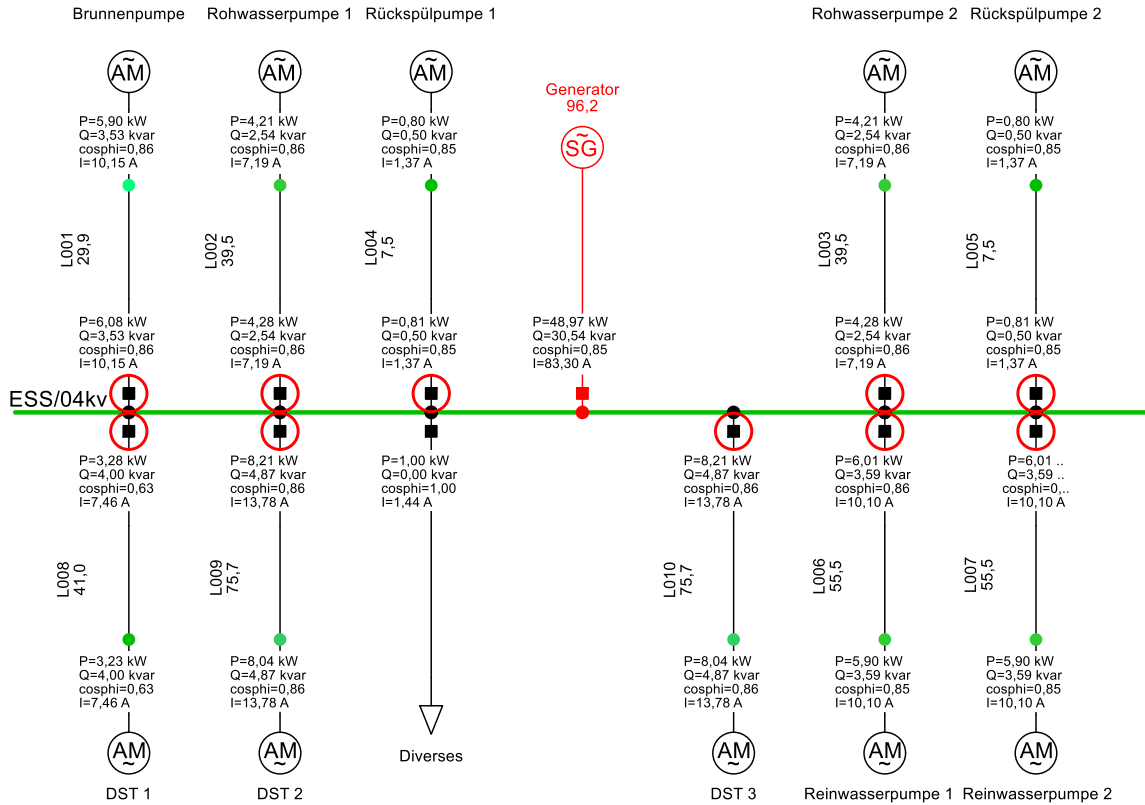


Bild 5.14: Transiente Simulation (EMT) Komplettversorgung

In Diagramm 5.10 wird der Spannungsverlauf beim Einschalten an der Sammelschiene dargestellt. Es kommt, wie auch bei der Notversorgung zu einem wesentlichen Spannungseinbruch beim Zuschalten der Drucksteigerungpumpe 2. Dieser fällt mit 0,89 p.u. jedoch geringer aus. Grund hierfür ist der leistungsstärkere Generator welcher langsamer auf die transienten Änderungen reagiert, sowie die größere Schwungmasse, (Reinwasserpumpen) welche bereits im System rotiert.

Nach 100 Sekunden kann ein stabiler Betriebszustand erreicht werden, in dem alle Pumpen mit ihrer Nennlast betrieben werden. Dieser Betriebszustand kommt in der Praxis nicht vor bzw. ist so auch nicht möglich. Damit soll jedoch eine Worst Case Betrachtung durchgeführt werden.

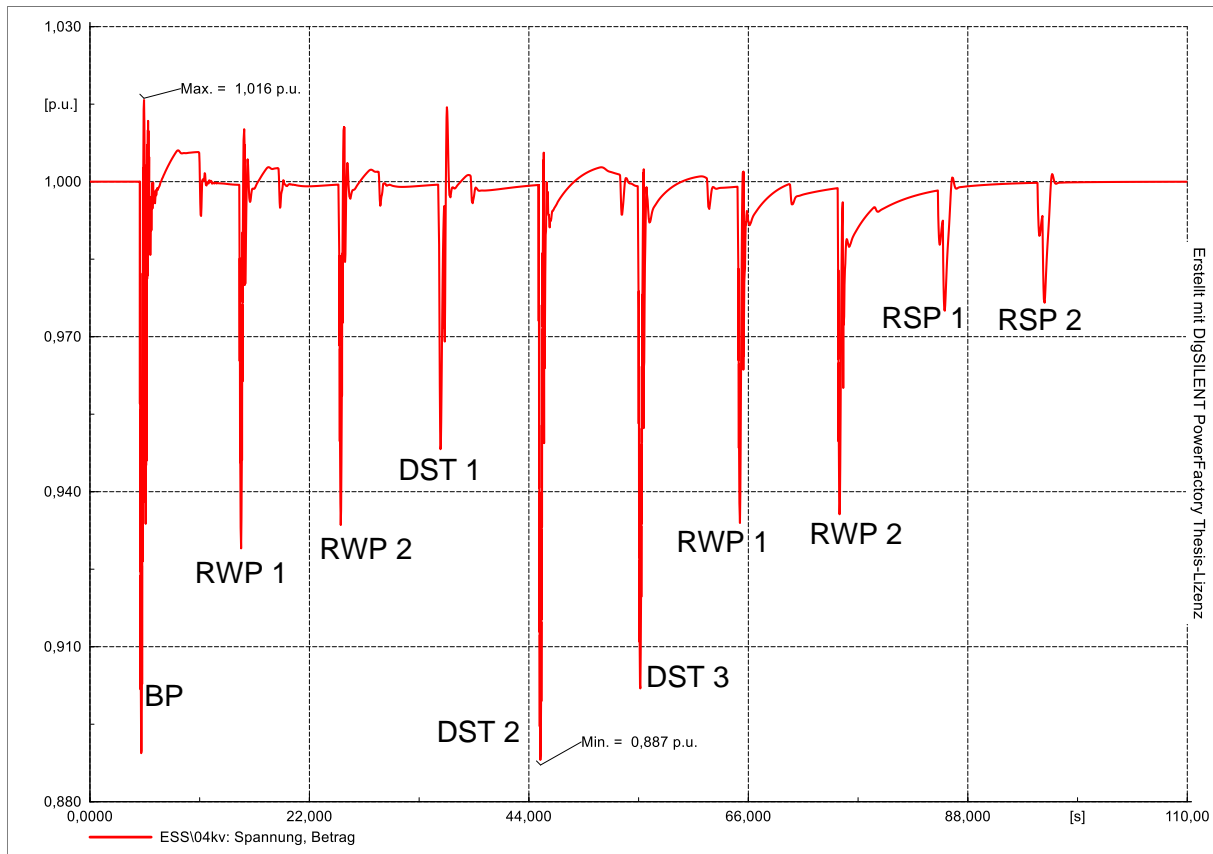


Diagramm 5.10: Spannungsverlauf an der Sammelschiene - Komplettversorgung

Betrachtet man, wie in Diagramm 5.11 dargestellt, den Frequenzverlauf beim Einschalten, erkennt man den größten Einbruch auf 42,15 Hz beim Einschalten der Brunnenpumpe. Der Frequenzregler wirkt entgegen und es kommt zu einem maximalen Überschwingen auf 53,54 Hz.

Beim Zuschalten der leistungsstärkeren Drucksteigerungspumpe 2 (DST 2) ist der Frequenzeinbruch geringer, da sich schon rotierende Masse im Inselnetz befindet. Somit erfolgt hier eine schnellere Ausregelung.

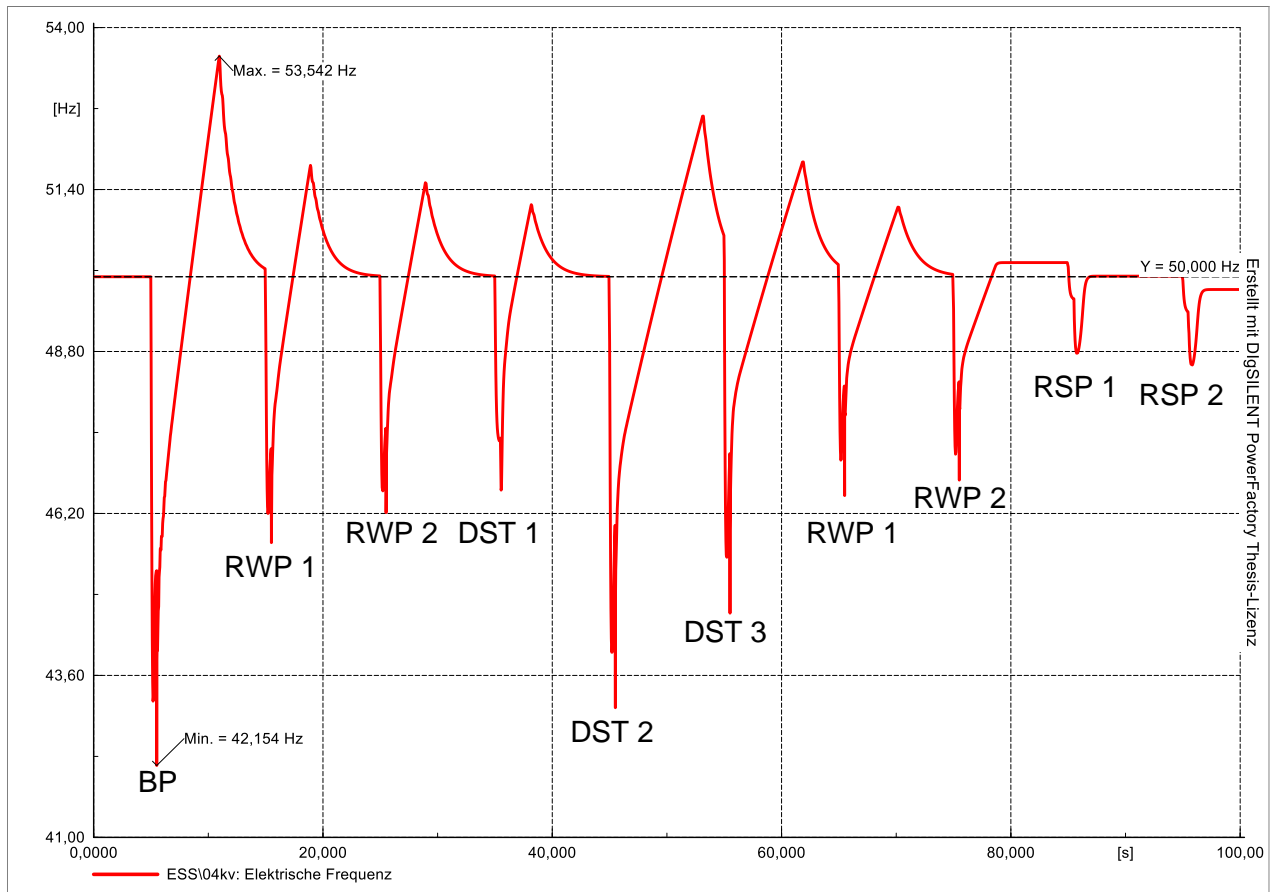


Diagramm 5.11: Frequenzverlauf Komplettversorgung Wasser

5.5.5.1 Bewertung

Die Bewertung dieser Simulation ist ident mit jener unter Punkt 5.5.3.1. Erneut kommt es zu keinem Hochlauf der Brunnenpumpe aufgrund der Spannungs- und Frequenzeinbrüche. Die Nutzung eines Softstarters oder Frequenzumrichters ist notwendig.

6 Abwasserentsorgung in der Gemeinde Eichkögl

Eichkögl

6.1 Aufbau in der Gemeinde

Das Kanalnetz in der Gemeinde Eichkögl besteht schon sehr lange, jedoch hatten aufgrund der verstreuten Lage nicht alle Haushalte die Möglichkeit eines Anschlusses. Die Kanalisation wurde in den letzten Jahren ausgebaut und erweitert, sodass die Abwasserentsorgung nun auch entlegene Gebiete bedient. Durch die für das Kanalnetz vorteilhafte, hügelige Lage der Gemeinde, sind nur wenige Pumpstationen nötig, da meist das natürliche Gefälle genutzt werden kann.

Das gesamte Gemeindegebiet wird durch zwei große Kanalstränge, wie in Bild 6.1 ersichtlich, aufgeschlossen.

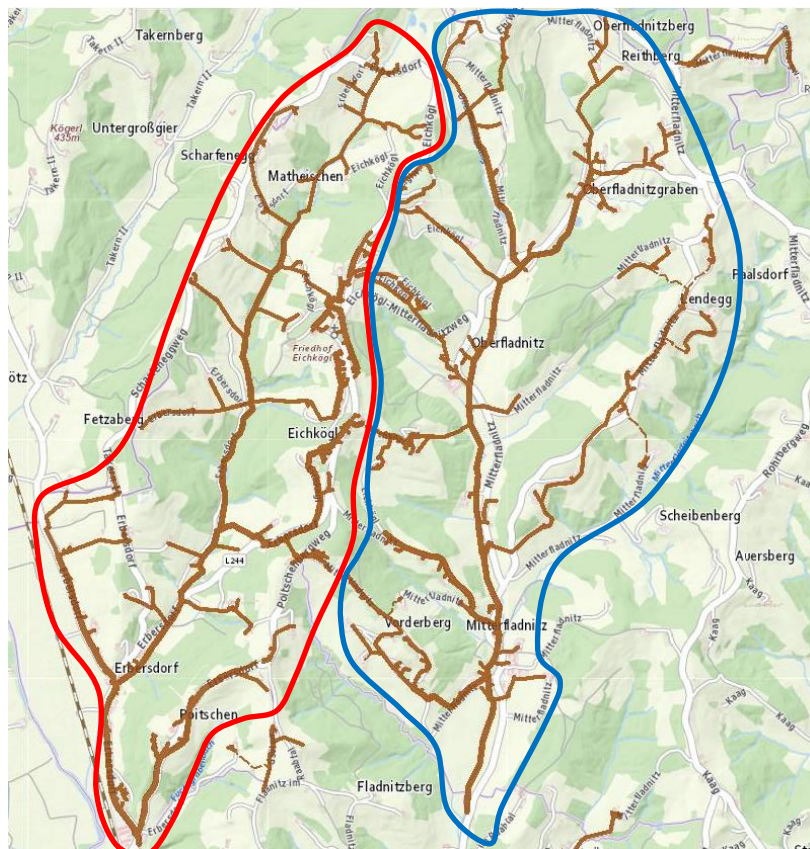


Bild 6.1 Übersicht der Kanalstränge [38]

Ein Kanalstrang (im Bild 6.1 blau markiert) umfasst das gesamte Gebiet von Mitterfladnitz, Lendegg, Paalsdorf, Oberfladnitz sowie große Teile von Eichkögl. Die gesamten Neubau-

Siedlungen auf den Weigl Baugründen sowie die Bauten hinter der Festhalle sind alle an den Kanalstrang Mitterfladnitz angeschlossen. Dieser nutzt das natürliche Gefälle des Mitterfladnitz Baches in Richtung Fladnitz und mündet so ohne jegliche Pumpen direkt in die Kläranlage Fladnitz im Raabtal.

Der zweite Kanalstrang (im Bild 6.1 rot markiert) umfasst einen Großteil von Eichkögl und das komplette Gebiet von Scharfenegg und Erbersdorf. Ein kleinerer Strang, welcher Poitschen abdeckt, mündet in jenen. Bis in das Ortsgebiet von Fladnitz im Raabtal (nähe Sportplatz) wird ebenfalls das natürliche Gefälle genutzt. Erst dort ist der Einsatz einer Pumpe (im weiteren Verlauf als Pumpstation Fladnitz bezeichnet) notwendig, welche das Abwasser in die Kläranlage Fladnitz im Raabtal weiterpumpt.

6.2 Pumpstationen im Gemeindegebiet

Durch die hügelige Lage sind vereinzelt auch Pumpstationen notwendig, die größtenteils einzelne Wohnhäuser bedienen. An die größte Pumpstation sind 3 Wohnhäuser angeschlossen.

Der Aufbau ist bei jeder Station identisch. Abhängig von der Anzahl der angeschlossenen Wohnhäuser variiert die Kapazität des Schachtes bzw. die Leistung der Pumpen. Als Beispiel wird nachfolgend die Pumpstation in Eichkögl 40 betrachtet, da diese eine der neuesten im Gemeindegebiet ist. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die restlichen Stationen einen gleichen bzw. noch älteren Aufbau besitzen. Nachfolgend wird der Aufbau der Pumpstation (Bild 6.2) dargestellt.



Bild 6.2: Pumpstation Eichkögl Hausnummer 40 - Schaltungsaufbau im Inneren

Entgegen der allgemeinen Erwartungen besitzen die Schaltschränke keinen Netztrennschalter und keine vorbereitete Möglichkeit zur Notstromeinspeisung. Somit ist es aktuell nicht möglich, durch einen Traktor und Zapfwellengenerator die Pumpen mit Notstrom zu versorgen.

Um diese Einspeisung zu ermöglichen muss ein Netztrennschalter und eine entsprechende Einspeisung vorab installiert werden, oder es wird im Bedarfsfall durch elektrotechnisches Fachpersonal eine provisorische Einspeisung installiert. Hierzu muss ein Drehstromstecker zur Versorgung der Steuerung und Pumpen angeschlossen werden.

Im Gemeindegebiet gibt es zwölf Pumpstationen. Der Einbau von Notstromeinspeisungen würde somit einige Zeit beanspruchen, welche im Blackout Fall anderweitig genutzt werden könnte. Somit ist eine Vorbereitung der Pumpstationen definitiv zu empfehlen, um die Notversorgung im Fall des Falles schnell und unkompliziert gewährleisten zu können.

6.2.1 Nachrüstung der Pumpstationen

Nachfolgend werden die Kosten, welche durch die Nachrüstung der Pumpstationen entstehen, aufgeschlüsselt.

Position	Artikel	Preis
Umschalter Netz-0-Not	Schrack IN882106	85,00 €
CEE Stecker 16 A	Schneider Electric 1865183-62	40,00 €
Kabel, Kleinmaterial	-	20,00 €
Arbeitszeit	Elektrotechniker ca. 2,0 h	140,00 €
	Gesamt pro Station:	285,00 €
	Gesamt für 12 Stationen:	3420,00 €

Tabelle 6.1: Kosten für Nachrüstung der Pumpstationen [39–41]

Das wichtigste Bauteil der Nachrüstung ist der Umschalter von Netz- auf Notbetrieb. Hierfür wurde beispielhaft ein Standard Umschalter der Firma Schrack, ausgelegt für bis zu 25 A, angenommen [39]. Ein Stecker zum Anschluss des Zapfwellengenerators ist zusätzlich notwendig. Es wurde ein CEE Stecker 16 A der Firma Schneider Electric gewählt, der im Inneren des Schaltschranks montiert werden kann [40]. Zusätzlich wird für die Montage Kleinmaterial wie Kabel, Schrauben usw. benötigt. Hierfür wurde eine Pauschale von 20 € pro Pumpstation angenommen.

Die Arbeitszeit eines Elektrotechnikers für die Umrüstung pro Pumpstation wurde mit 2,0 h geschätzt. Als Basis für die Kosten wurde eine Erhebung der Arbeiterkammer Wien herangezogen, welche einen Stundenlohn von ungefähr 70 € ergab [41].

Somit ergeben sich Kosten in Höhe von ca. 3500 € für die Umrüstung der Pumpstationen, um diese im Fall eines Blackouts mit Notstrom versorgen zu können.

6.2.2 Simulationen Notversorgung

Um die Notversorgung der Pumpstationen dimensionieren zu können, wurde eine Pumpe mit einer Leistung von 4 kW, welche in der leistungsstärksten Pumpstation verbaut ist, angenommen [42]. Zusätzlich wurde eine allgemeine Last von 500 W für die Beleuchtung und Steuerung erstellt.

Im Programm Power Factory wurden, wie in Tabelle 6.2 ersichtlich, wiederum Modelle aus der Standardbibliothek verwendet [30].

Pumpen	Leistung	Verwendetes Modell
Pumpstation	4,0 kW	4 kW/0.4 kV/1/EXPLOSION PROOF MULT
Diverses (Beleuchtung)	0,5 kW	Allgemeine Last 0,5 kW
Gesamt:	4,5 kW	

Tabelle 6.2: Verwendete Asynchronmotoren – Pumpstation

Weiters wurde der Zapfwellengenerator „NSG 13“ (10,4 kW) der Firma Schneeberger gewählt [43]. Dabei handelt es sich um das leistungsschwächste Modell, um damit wiederum eine Abschätzung des minimalen Leistungsbedarfs durchführen zu können.

Da die genauen Daten des Generators von der Firma Schneeberger nicht zur Verfügung gestellt werden, werden die Daten des nahezu leistungsgleichen Generators „LSA 40 VS2“ der Firma Leroy-Somer, mit einer Leistung von 12,5 kVA (siehe auch Tabelle 6.3) herangezogen [44].

Parameter	Wert	Parameter	Wert
U_{Nenn}	400 V	X''_q	15,9 %
S_{Nenn}	12,5 kVA	X_0	0,68 %
$\cos \varphi$	0,8	X_2	12,04 %
p	2	T_a	11 ms
X_d	174 %	T'_d	74 ms
X'_d	16,3 %	T''_d	7 ms
X''_d	8,1 %	$T_{d0'}$	790 ms
X_q	88 %	J_{Gen}	0,0819 kgm ²

Tabelle 6.3 Daten des Generators „LSA 40 VS2“ von Leroy-Somer [44]

Wie zu erwarten ergab die Lastflussberechnung, siehe Bild 6.3, dass ein Betrieb ohne Probleme möglich ist. Die Auslastung des Generators beträgt ca. 41 %, somit sind noch ausreichend Leistungsreserven vorhanden.

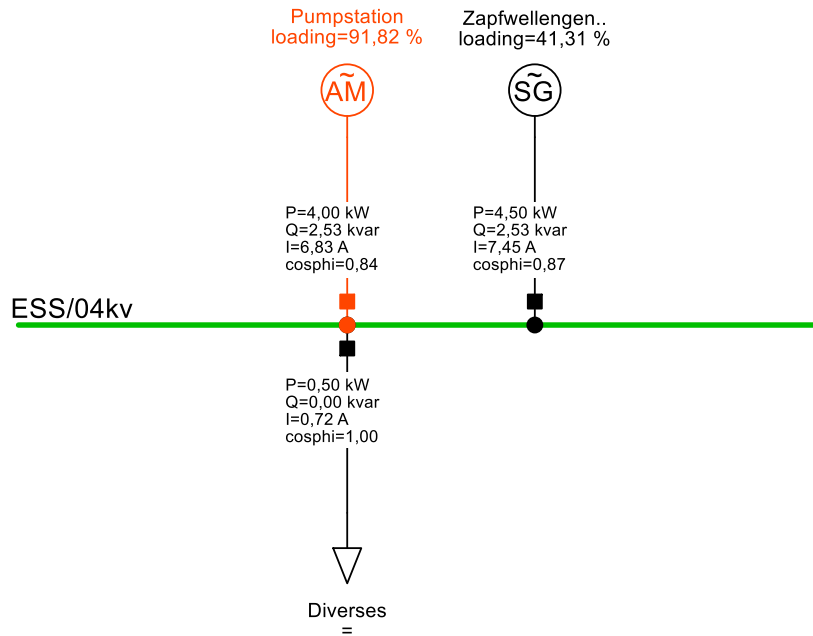


Bild 6.3: Lastflussberechnung Notversorgung Pumpstation

Natürlich kommt es auch hier zu einem Spannungseinbruch beim Zuschalten der Pumpstation, wie in Diagramm 6.1 dargestellt. Der niedrigste Wert mit 0,81 p.u. tritt unmittelbar nach dem Einschalten auf, stellt aber aufgrund der großen Schwungmasse (Traktor + Generator) kein Stabilitätsproblem dar.

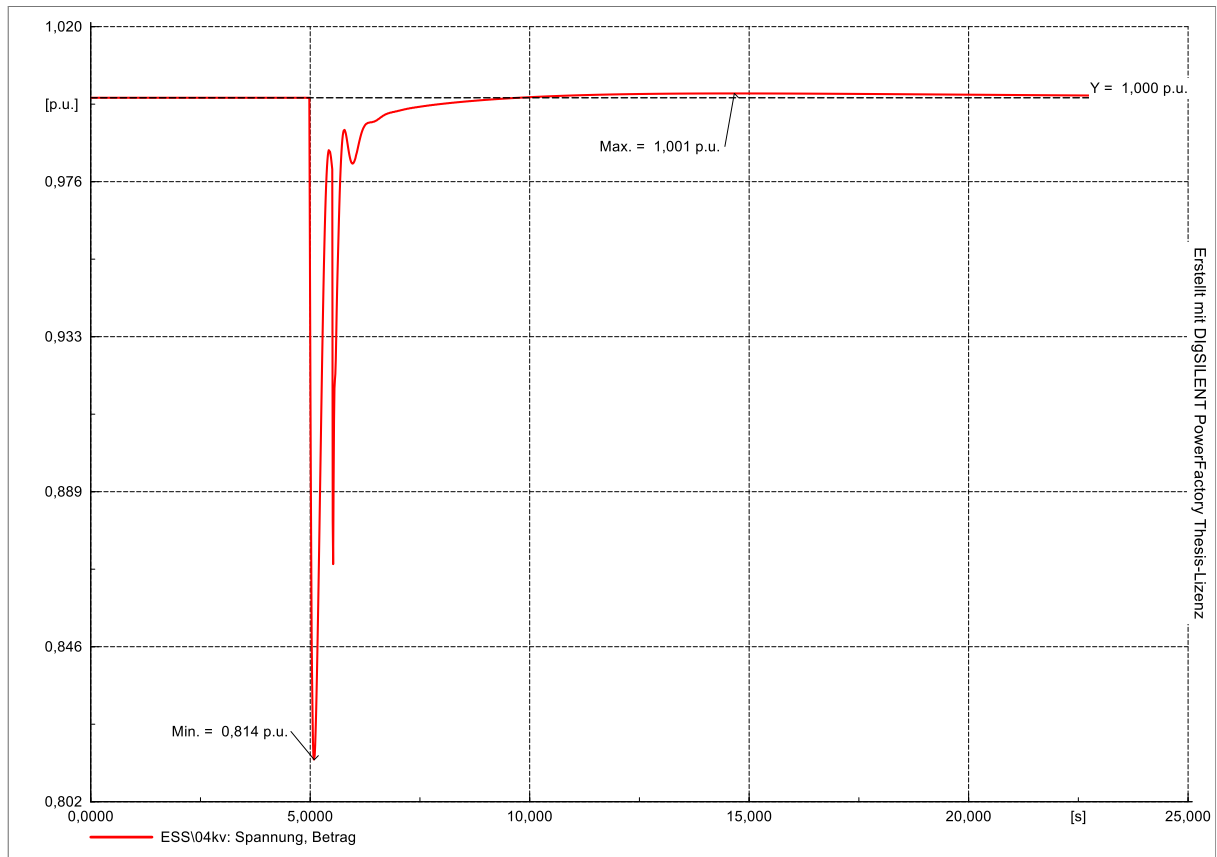


Diagramm 6.1: Spannungsverlauf an der Sammelschiene beim Einschalten – Pumpstation

Der Einschaltstrom, welcher beim Hochlauf der Pumpe auftritt (Diagramm 6.2), erreicht durch den Stern-Dreieck Anlauf der Pumpe einen Wert von 3,41 p.u..

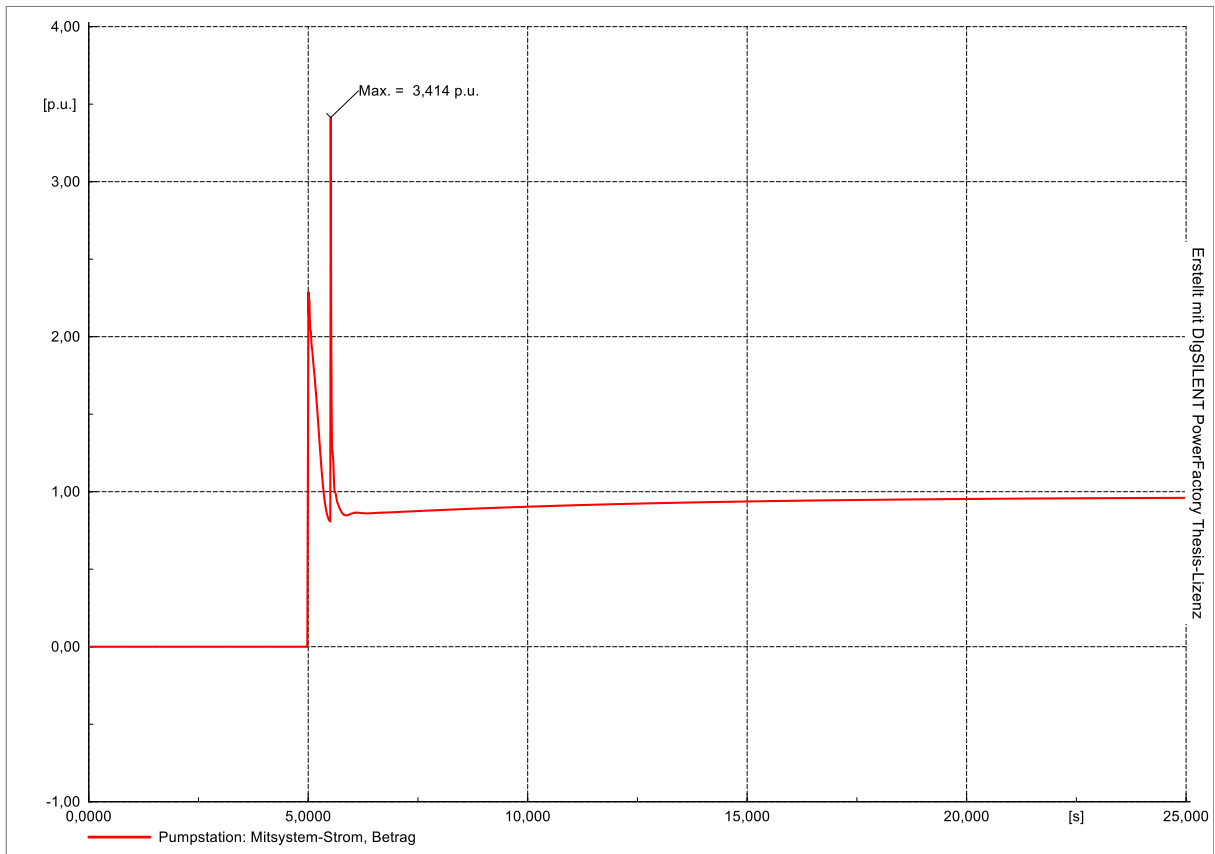


Diagramm 6.2: Stromverlauf beim Einschalten der Pumpstation

Aufgrund der kleinen Leistung des Generators und dem Zuschalten der relativ leistungsstarken Pumpe kommt es zu einem Frequenzeinbruch auf 42,56 Hz (siehe Diagramm 6.3). Dies wird dann durch den Frequenzregler langsam ausgeregelt, bis die Frequenz wieder bei der Nennfrequenz von 50 Hz liegt.

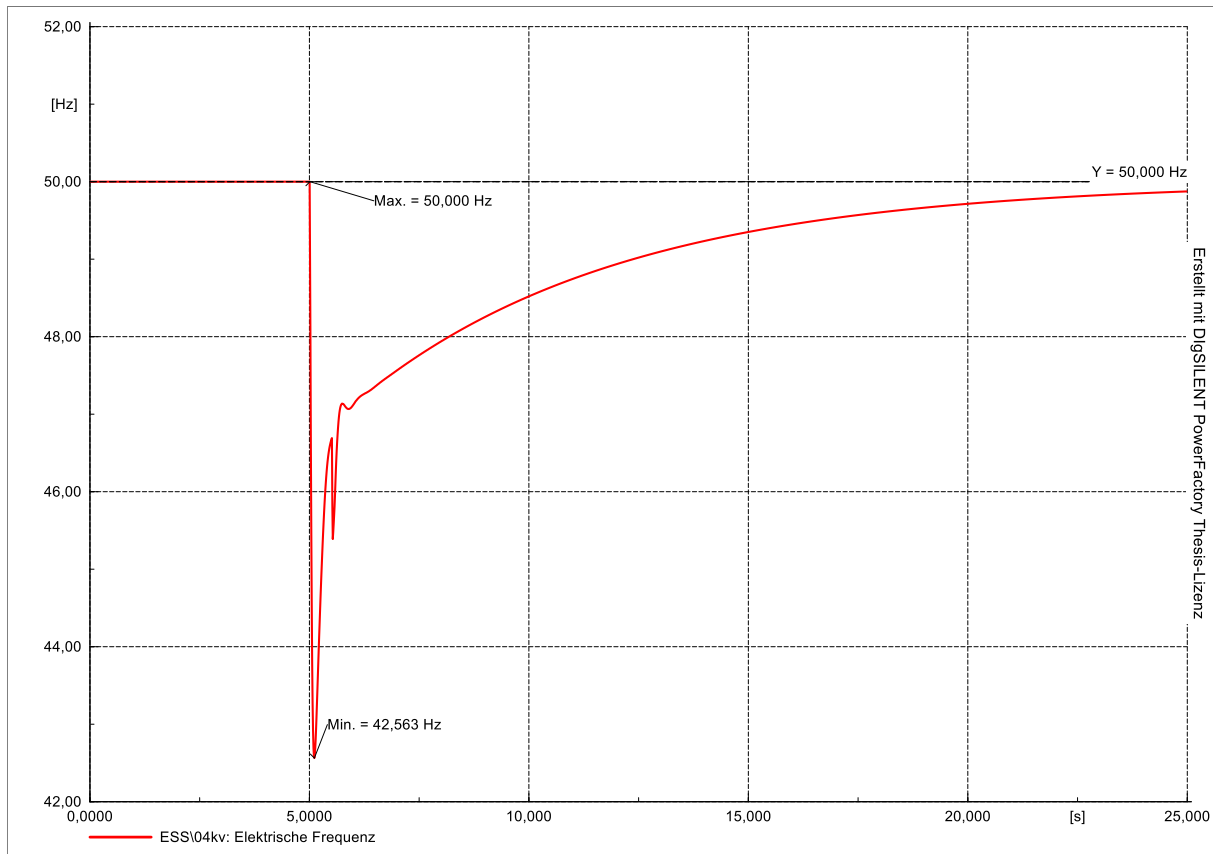


Diagramm 6.3: Frequenzverlauf Pumpstation

Die Versorgung der einzelnen Pumpstationen ist durch einen Zapfwellengenerator in Kombination mit einem Traktor am einfachsten zu bewerkstelligen (teils schwierige Zufahrtsmöglichkeiten etc.).

Wie eingangs erwähnt, wurde das kleinste Modell der Firma Schneeberger, nämlich der Typ NSG 13 mit einer Leistung von 10,4 kW (2 polig) für diese Berechnung herangezogen. Für den Betrieb reicht ein Traktor mit einer Leistung von 26 PS bei einer elektronischen Einspritzpumpe bzw. 33 PS bei einer mechanischen Einspritzpumpe aus [43, 45].

Die Kosten für dieses Modell liegen bei ca. 3400 €. Ein leistungsstärkerer (17,4 kW), 4-poliger Generator wäre mit 4300 € nicht signifikant teurer. Somit wäre vor der Anschaffung eine Überlegung in diese Richtung sinnvoll, wofür der Generator zusätzlich noch genutzt werden kann. Natürlich müsste hierfür auch ein Traktor mit einer Leistung von 40 PS bei einer elektronischen Einspritzpumpe bzw. 50 PS bei einer mechanischen Einspritzpumpe zur Verfügung stehen [45].

6.2.2.1 Nutzung von alternativen Startmethoden

Es wurde, wie in Kapitel 5.5.3.2 erklärt, der Hochlauf durch die Veränderung des Läuferwiderstandes simuliert. Dies entspricht näherungsweise der Verwendung eines Frequenzumrichters.

Im nachfolgenden Diagramm 6.4 werden Generatorstrom, Spannung sowie Frequenz beim Hochlauf dargestellt.

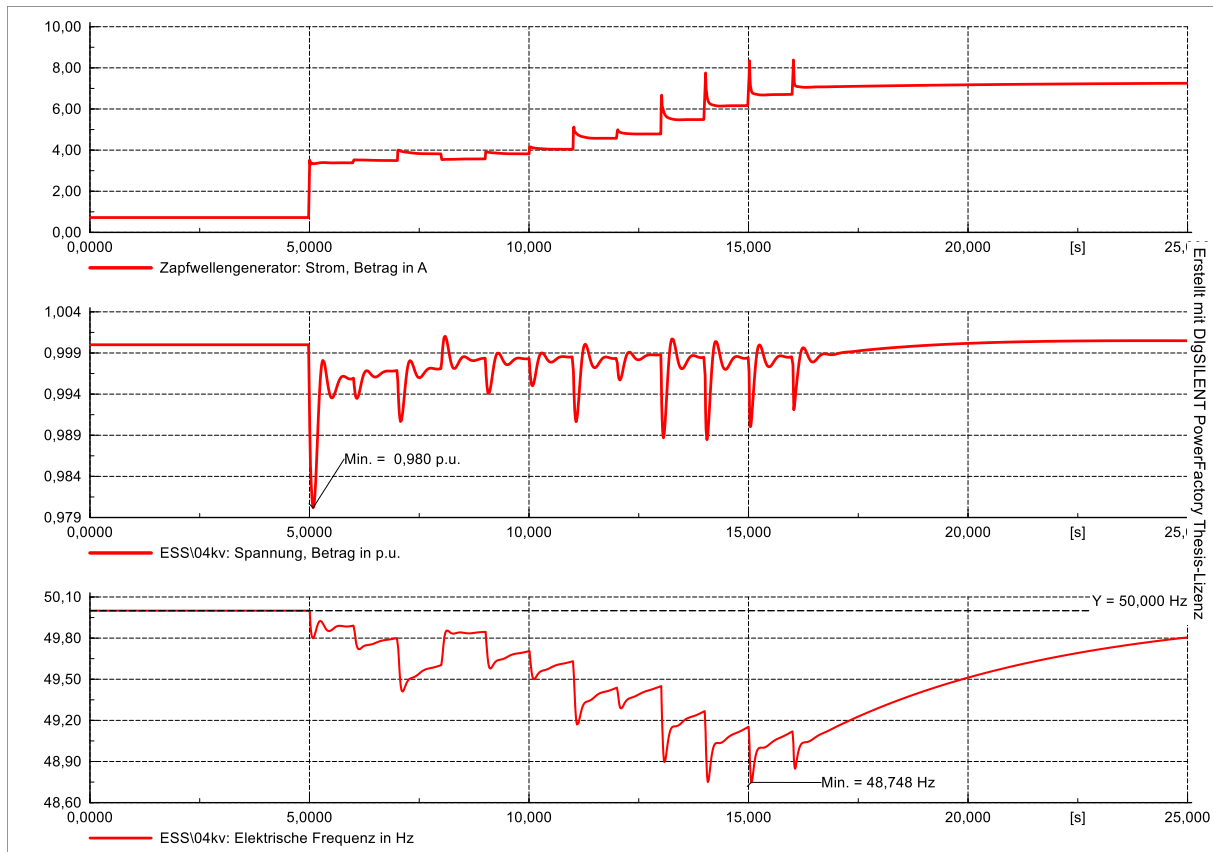


Diagramm 6.4 Strom, Spannung und Frequenz bei sanftem Hochlauf der Pumpstation

Die Stromspitzen beim Einschalten welche bei Stern-Dreieck Schaltung auftreten (siehe Diagramm 6.2) können wesentlich reduziert werden, es tritt nur noch ein minimales Überschwingen auf.

Die Spannung sinkt auf maximal 0,98 p.u. ab, was im Vergleich zu Diagramm 6.1 mit 0,814 p.u. eine enorme Verbesserung darstellt. Ebenso wird der Frequenzeinbruch von 42,563 Hz (Diagramm 6.3) auf 48,748 Hz reduziert, was eine Entlastung des Systems darstellt.

Ein Frequenzumrichter oder zumindest ein Softstarter würde zu einer Entlastung des Zapfwellengenerators beitragen und einen sanfteren Hochlauf der Pumpstation bewirken.

6.3 Pumpstation Fladnitz

Aufgrund einer Fehlplanung des Kanalstranges gelang es nicht das natürliche Gefälle bis zur Kläranlage zu nutzen, somit wurde der Bau einer Pumpstation notwendig.

Im Siedlungsgebiet von Fladnitz wurde ein Sammelschacht mit ca. 15 m³ Fassungsvermögen errichtet, welcher über zwei Pumpen mit einer Leistung von je 12 kW verfügt. Im nachfolgenden Bild 6.4 sind die beiden Schaltschränke sowie die Schächte ersichtlich.



Bild 6.4: Pumpstation Fladnitz; Schaltschränke: rechts - Pumpstation, links - Schacht Fladnitz Siedlung

In diesen Sammelschacht münden die Kanäle aus Eichkögl, Takern, St. Marein bei Graz sowie alle von Norden kommenden Stränge. Im Schnitt werden täglich 1000 m³ Abwasser weitergepumpt.

Kommt es zu einem erhöhten Aufkommen von Abwasser (zum Beispiel bei Starkregen oder Pumpenausfällen) kam es in der Vergangenheit zu Überflutungen des Siedlungsgebietes von Fladnitz sowie zu Rückstauungen im Kanalsystem der Siedlung. Daraus resultierten überflutete Keller im Siedlungsgebiet. Um dies zu verhindern wurde ein eigener Sammelschacht nur für die Siedlung Fladnitz errichtet, von welchem das Abwasser in den großen Sammelschacht umgepumpt und so zur Kläranlage gefördert wird. Durch diesen Umbau konnten zumindest die Rückstauungen in die Haushalte verhindert werden.

Die Pumpstation ist vor einigen Jahren umgerüstet und mit einem Netztrennschalter sowie einer Notstromeinspeisung ausgestattet worden. Somit ist, bei Vorhandensein eines Notstromgenerators, eine einfache Notversorgung (siehe Bild 6.5) zu realisieren.



Bild 6.5: Netztrennschalter mit Möglichkeit zur Notstromeinspeisung

Diese Pumpstation liegt nicht im direkten Einflussbereich der Gemeinde Eichkögl und wird im Krisenfall vom Abwasserverband notversorgt.

Bei der Annahme eines Komplettausfalls der Stromversorgung, wird kein Abwasser von den nördlichen Gebieten der Pumpstation eingebracht, da die Pumpen in diesen Gebieten folglich auch nicht mehr funktionieren. Somit mündet nur mehr der Strang aus Eichkögl (Erbersdorf) sowie ein Teil des Ortes Fladnitz im Raabtal in den Sammelschacht. Da dieser aufgrund des recht geringen Fassungsvermögens schnell gefüllt sein wird, kommt es zu einem Rückstau bzw. einem Überlaufen des Schachtes. Dies ist bei ausschließlicher Betrachtung der Gemeinde Eichkögl nicht relevant, da aufgrund des Höhenunterschiedes keine Konsequenzen bis Eichkögl spürbar wären.

6.4 Kläranlage Fladnitz im Raabtal

Die Inhalte in diesem Kapitel wurden [46] entnommen.

6.4.1 Geschichte

In den Jahren 1989 – 1990 wurde die Kläranlage in Fladnitz im Raabtal als vollbiologische Anlage mit simultan-anaerober Schlammstabilisierung errichtet.

Durch den stetigen Zuzug und den Neubau von Siedlungen und Wohnungen, sowie dem Ausbau des Kanalnetzes und den dadurch erfolgten Anschlüssen von bestehenden Wohnhäusern stieg die Abwassermenge kontinuierlich an. Zudem galt es auch bei starken Regenfällen und den dadurch entstehenden Spitzenmengen an Abwasser die

Reinigungsleistung konstant hoch zu halten, was mit der bestehenden Anlage nicht mehr lösbar gewesen wäre.

So kam es im Jahr 2004 zu einem Ausbau sowie einer Modernisierung der Kläranlage, welche nach wie vor dem aktuellen Stand der Technik entspricht.

Als Teil des Abwasserverbandes Feldbach umfasst das Einzugsgebiet der Kläranlage folgende Gemeinden:

- Eichkögl
- Kirchberg a. d. Raab
- Fladnitz
- Oberstorcha (außer Ortsteil Grieburg)
- Oberdorf
- Studenzen
- St. Marein bei Graz
- Edelsbach (Ortsteile Rohr und Rohrberg)
- Petersdorf II (Ortsteile Saubach und Pickelbach)
- St. Margarethen a. d. Raab (Ortsteil Graberberg)

Insgesamt wohnen in den Einzugsgemeinden ca. 7300 Personen.

6.4.2 Aufbau

Um die Funktion der Kläranlage zu verstehen und auch im Falle eines Blackouts die Funktion zu gewährleisten ist eine Betrachtung des Aufbaus notwendig. Dieser wird nachfolgend vom Zulauf bis zum Ablauf beschrieben.

Grundsätzlich ist die Anlage aktuell für einen Tageszufluss von 1680 m³ bemessen.

Zulauf

Der Zulauf erfolgt über ein Zulaufpumpwerk, welches aus drei Kreiselpumpen (eine Pumpe dient als Reserve) besteht. Somit ist sichergestellt, dass kein Schmutzwasser unkontrolliert in die Anlage gelangt.

Rechenraum

Der verbaute Filterstufenrechen besitzt eine Spaltweite von 3 mm und filtert jegliche Grobstoffe aus dem zulaufenden Rohwasser. Das Rechengut wird anschließend gewaschen, gepresst und in einen Container abgeworfen. Würden die an der Kläranlage angeschlossenen Personen keine anderweitigen Entsorgungen in den Kanal tätigen, wäre dieser Rechen nicht notwendig.

Das nachfolgende Bild 6.6 zeigt den Rechenraum der Kläranlage. Rechts ist der Filterstufenrechen erkennbar, links die Presse des Rechenguts sowie der Container zum Abwurf.



Bild 6.6: Rechenraum der Kläranlage

Sand- und Fettfänge

Zwei Stück belüftete Sand- und Fettfänge (Bestand und Neubau) entfernen mineralische Stoffe, wie zum Beispiel Sand, Glassplitter und Fette. Die Fettfänge dienen dazu, wie der Name schon sagt, vorhandene Fette bzw. Öle abzuscheiden. Die Belüftung des Sandfanges erzeugt eine Umwälzung des Rohwassers sowie eine Verringerung der Dichte. Dadurch setzen sich schwerere, mineralische Anteile am Beckenboden ab und die aufsteigenden Luftbläschen haften an Fetttropfchen und begünstigen so das Aufschwimmen an die Wasseroberfläche jener.

Mittels Längsräumer, Kettenräumer und Fettabsaugpumpe werden die unerwünschten Stoffe entfernt.

Belebungsbecken

Im Belebungsbecken werden durch Mikroorganismen die vorhandenen Schadstoffe abgebaut. Da diese ohne Sauerstoff im Abwasser nicht überleben würden, wird über vier Drehkolbengebläse (Bild 6.7) Luft von unten in Teile des Beckens eingeblasen, was durch das Brodeln der Wasseroberfläche (Bild 6.8) erkennbar ist. Zusätzlich wird durch Rührwerke eine intensivere Umwälzung erreicht. So entstehen sauerstoffreiche und sauerstoffarme Zonen im Belebungsbecken, was unterschiedliche Milieubedingungen für die Mikroorganismen schafft. Dadurch werden eine Vielzahl der gelösten organischen und anorganischen Inhaltsstoffe abgebaut.



Bild 6.7: Drehkolbengebläse im Gerätehaus



Bild 6.8: Belebungsbecken mit brodelnder Wasseroberfläche

Fällmittelstation

Um den Phosphorgehalt im Ablauf den vorgegebenen Grenzwerten anzupassen, wird ein eisenhaltiges Fällmittel („flüssiger Rost“) dem Ablauf beigemischt.

Nachklärbecken

Schlussendlich gelangt das Belebtschlamm-Wassergemisch über eine Dükerleitung in das Nachklärbecken. Dort wird es über den sogenannten Königsstuhl, welcher sich in der Mitte des runden Nachklärbeckens befindet, eingebracht und strömt radial nach außen zum

Beckenrand. Der Belebtschlamm setzt sich am Beckenboden ab, und wird über ein Räumschild in die Mitte des Beckens geschoben. Von dort wird der Schlamm abgepumpt und zurück ins Belebungsbecken verbracht, sodass die im Schlamm vorhandenen Mikroorganismen in der Kläranlage verbleiben und nicht ausgeschwemmt werden.

Eine Abzugeinrichtung an der Wasseroberfläche entfernt Schwimmschlamm und andere schwimmende Stoffe, siehe Bild 6.9.

Über gelochte Tauchrohre am Beckenrand knapp unter der Wasseroberfläche wird das Klarwasser abgezogen. Nachdem das Wasser über eine Messeinrichtung geführt und verschiedene Parameter bestimmt werden, fließt es in die Raab ab.



Bild 6.9: Nachklärbecken mit Abzugeinrichtung an der Wasseroberfläche

6.4.3 Notbetrieb

Um die Kläranlage im Fall eines Ausfalls der öffentlichen Stromversorgung weiterhin im Notbetrieb nutzen zu können, sind die Komponenten, welche in Tabelle 6.4 unter Notbetrieb genannt werden, unbedingt notwendig. Weiters wird die benötigte Leistung für einen erweiterten Notbetrieb sowie für Vollbetrieb angegeben, was zum Beispiel nach Regenfällen der Fall ist.

Betriebsmittel	Notbetrieb	Erw. Notbetrieb	Vollbetrieb
Zulaufpumpen	1 x 7 kW	1 x 7 kW	2 x 7 kW
Rechenraum	6 kW	6 kW	6 kW
Sand- und Fettfänge	3 kW	3 kW	2 x 3 kW
Belebungsbecken	1 x 3 kW	2 x 3 kW	4 x 3 kW
Gebälse	1 x 15 kW	2 x 15 kW	4 x 15 kW
Rücklaufschlammpumpe	1 x 4 kW	1 x 4 kW	2 x 4 kW
Überschussschlammpumpe	1 x 3 kW	1 x 3 kW	2 x 3 kW
Diverses	5 kW	5 kW	5 kW
Gesamt	~ 46 kW	~ 64 kW	~ 117 kW

Tabelle 6.4: Not- und Vollbetrieb der Kläranlage

In einem Gespräch mit [42] stellte sich heraus dass es hohe Priorität hat, dass das Belebungsbecken sowie mindestens ein Gebläse funktionieren, da ansonsten die Mikroorganismen absterben würden. Dies würde enorme Folgekosten bedeuten, da diese dann neu eingesetzt und angeregt werden müssten. Somit gilt es, dies definitiv zu vermeiden.

Im Notbetrieb ist nur ein Bruchteil der Anlage in Betrieb, was bedeutet, dass nur ca. 20 Prozent der möglichen Abwassermenge verarbeitet werden können. Da im Fall eines Blackouts bei funktionierender Wasserversorgung das Aufkommen von Abwasser nicht um 80 Prozent abnehmen wird, ist die Frage ob ein Notbetrieb in diesem Ausmaß überhaupt Sinn machen würde. Somit ergeben sich zwei Optionen:

Eine Möglichkeit wäre eine erweiterte Notstromversorgung, um zusätzliche Betriebsmittel zur Verfügung zu haben. So wäre mehr Abwasser verarbeitbar, und es könnte der Betrieb ohne nachteilige Auswirkungen auf die Mikroorganismen sichergestellt werden.

Die zweite Option wäre, das ankommende Abwasser ungeklärt direkt in die Raab abzuleiten. Das Niveau der Kläranlage liegt über dem Niveau des Flusses, somit wäre kein Überschwemmen der Anlage möglich. Möglich wäre das nur mit Erlaubnis der steiermärkischen Landesregierung. Der diensthabende Klärfacharbeiter muss sich diese Freigabe einholen, und kann dann die Ableitung durchführen.

Grundsätzlich ist das Abwasser weniger schädlich als z.B. Gülle, jedoch auch nicht förderlich für die Wasserqualität der Raab. Zudem würden die fälschlicherweise im Kanal entsorgten Fette und Feststoffe eine wesentliche Verschmutzung zur Folge haben. Darum gilt es, dieses Ableiten wirklich nur im Notfall durchzuführen, wenn keine anderen Optionen mehr möglich sind.

Aus diesem Grund wird das Konzept eines erweiterten Notbetriebs in den nachfolgenden Simulationen betrachtet. Mit Hilfe eines Notstromgenerators kann die Anlage so zumindest 50 Prozent der maximal möglichen Abwassermenge verarbeiten.

6.4.4 Simulationen der erweiterten Notversorgung

Wie in Tabelle 6.4, mittig, ersichtlich umfasst das Konzept der erweiterten Notversorgung im Vergleich zur Notversorgung eine zusätzliche Pumpe für das Belebungsbecken sowie ein zweites Gebläse. Dadurch steigt die maximal verarbeitbare Wassermenge von 20 % auf ca. 50 % an. Dies stellt, unter Annahme keiner extremen Wetterereignisse, einen ausreichenden Betriebszustand dar.

Da eine Wirkleistung von ca. 64 kW zum Betrieb der Pumpen benötigt wird, wurde der Generator „LSA 44.3 S4“ mit einer Leistung von 90 kVA bzw. 72 kW von Leroy-Somer gewählt [47]. Die notwendigen Werte aus dem Datenblatt, siehe Tabelle 6.5, wurden in das entsprechende Generatormodell übernommen.

Parameter	Wert	Parameter	Wert
U_{Nenn}	400 V	X''_q	14,5 %
S_{Nenn}	90 kVA	X_0	0,48 %
$\cos \varphi$	0,8	X_2	10,75 %
p	2	T_a	15 ms
X_d	258 %	T'_d	100 ms
X'_d	11,6 %	T''_d	10 ms
X''_d	7 %	$T_{d0'}$	2211 ms
X_q	131 %	J_{Gen}	0,988 kgm ²

Tabelle 6.5 Daten des Generators „LSA 44.3 S4“ von Leroy-Somer [47]

Dieser Generator stellt, wie auch in den vorangegangenen Simulationen, wieder die Mindestanforderung dar. Empfehlenswert ist es ein stärkeres Modell zu wählen, um eine Leistungsreserve zu erhalten.

Den einzelnen Pumpen und Motoren wurden Modelle, entsprechend den jeweiligen Leistungen, aus der Bibliothek von PowerFactory zugewiesen [30]. Zusätzlich wurde eine allgemeine Last von 5 kW und einem $\cos \varphi = 0,8$ angenommen. Diese soll die Steuerung und zusätzliche, notwendige Verbraucher darstellen.

6.4.4.1 Lastflussberechnung

Das Ergebnis der Lastflussberechnung ist in Bild 6.10 dargestellt. Im stationären Betrieb mit den zehn angeschlossenen Verbrauchern kommt es zu einer Auslastung des Generators von 88,7 %.

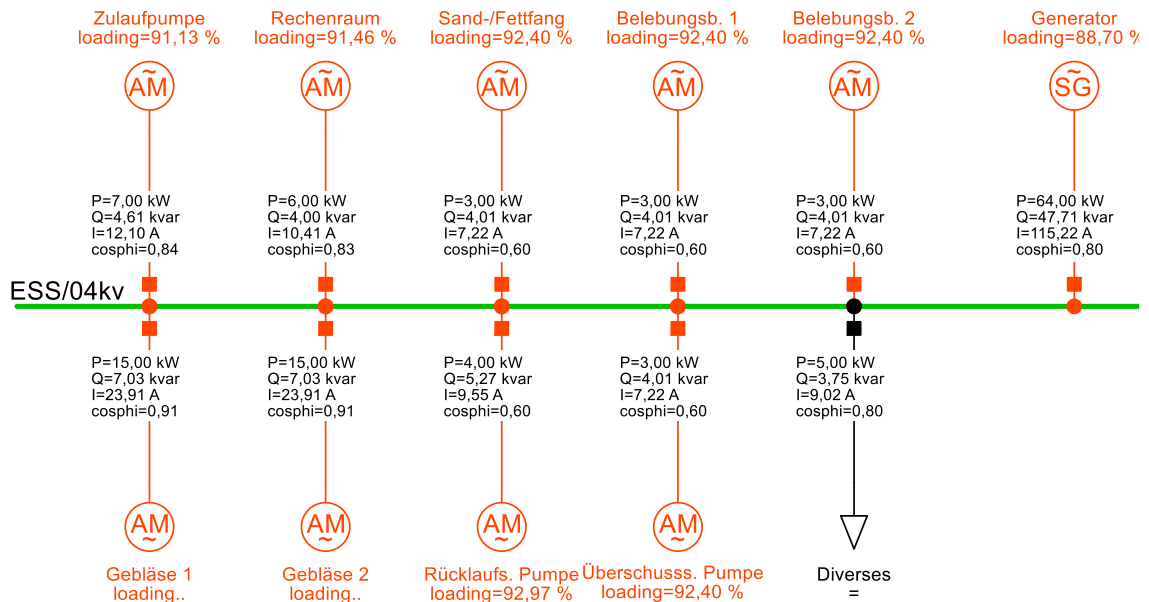


Bild 6.10: Lastflussberechnung Kläranlage

6.4.4.2 Transiente Betrachtung

Der Einschaltvorgang der Kläranlage erfolgt auch in diesem Fall zeitlich gestaffelt. Wie in Tabelle 6.6 ersichtlich wird die Last „Diverses“ als bereits zugeschaltet angenommen. Nach 5 Sekunden wird die Zulaufpumpe aktiviert, danach jeweils im Abstand von 10 Sekunden die weiteren Pumpen bzw. Motoren.

Nach 85 Sekunden ist der Einschaltvorgang beendet und die Kläranlage ist in Betrieb.

Abkürzung	Betriebsmittel	Leistung	Zeit
DIV	Diverses	5,0 kW	0 s
ZL	Zulaufpumpe	7,0 kW	5 s
RR	Rechenraum	6,0 kW	15 s
S&F	Sand- und Fettfang	3,0 kW	25 s
BB 1	Belebungsbecken 1	3,0 kW	35 s
BB 2	Belebungsbecken 2	3,0 kW	45 s
GB 1	Gebläse 1	15,0 kW	55 s
GB 2	Gebläse 2	15,0 kW	65 s
RLSP	Rücklaufschlammpumpe	4,0 kW	75 s
ÜSP	Überschussschlammpumpe	3,0 kW	85 s

Tabelle 6.6: Zeitlich gestaffelter Hochlauf erweiterter Notbetrieb Kläranlage

Erfolgt nun eine transiente Simulation (EMT), wie in Bild 6.11 ersichtlich, steigt die Auslastung auf 92,5% an. Hierbei werden auch die Einschaltvorgänge der einzelnen Pumpen und Motoren berücksichtigt. Jedoch kommt es nach wie vor zu einem ordnungsgemäßen Hochlauf der einzelnen Pumpen bzw. Motoren.

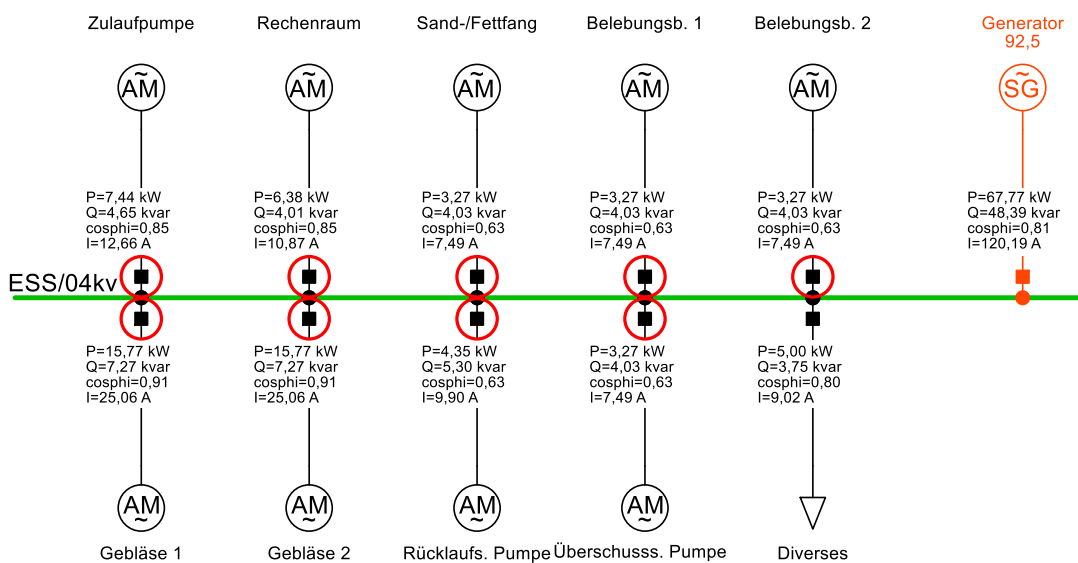


Bild 6.11: Transiente Simulation (EMT) Kläranlage

Die Auswertung des Spannungsverlaufs in Diagramm 6.5 zeigt, dass der größte Einbruch mit 0,86 p.u. beim Zuschalten des Gebläse 1 auftritt. Dabei handelt es sich um den leistungsstärksten Motor.

Simuliert wurde für jede Pumpe ein Stern-Dreieck Anlauf. Ohne diese Anlaufmethode kommt es zu wesentlich stärkeren Spannungseinbrüchen, welche zu einer Instabilität im Inselnetz führen.

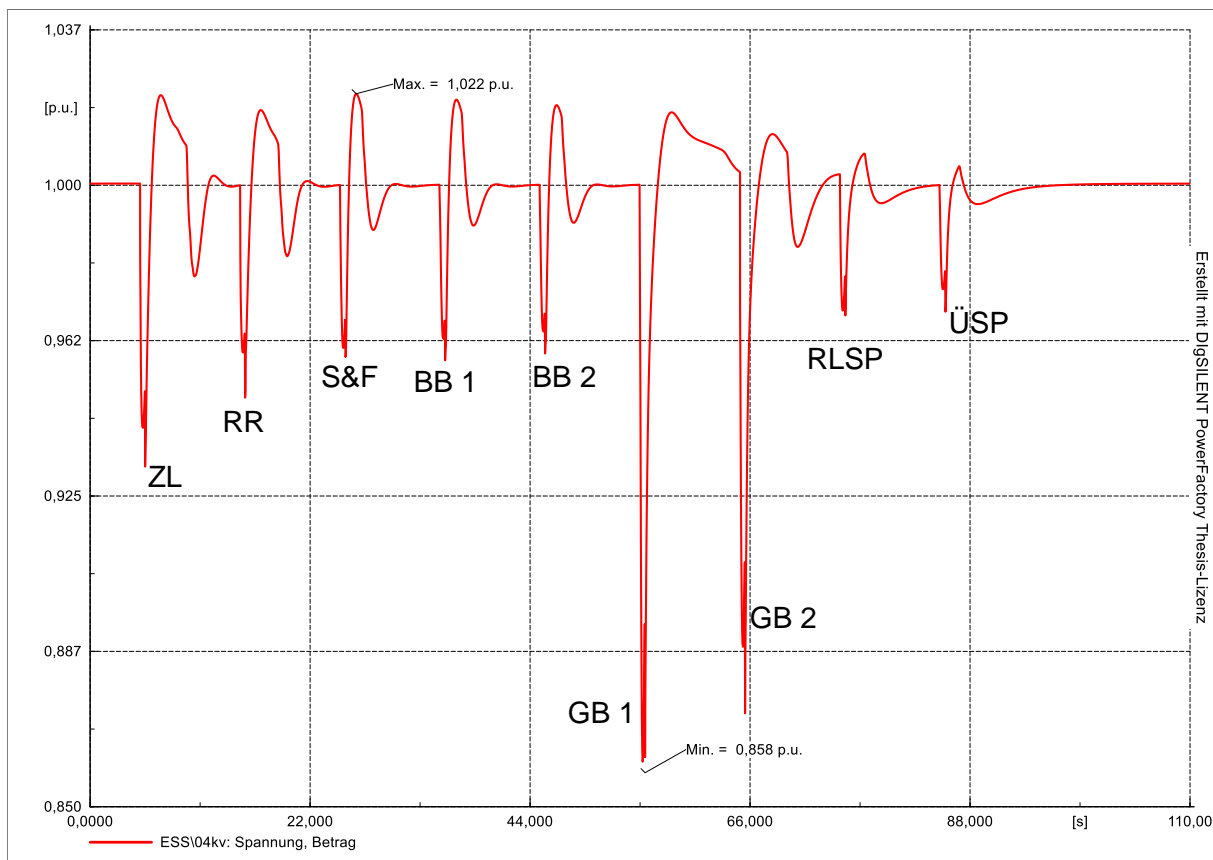


Diagramm 6.5: Spannungsverlauf an der Sammelschiene – Kläranlage

Wird in weiterer Folge auch der Frequenzverlauf des Einschaltvorganges in Diagramm 6.6 betrachtet, erkennt man zwei signifikante Einbrüche: Beim Einschalten der Zulaufpumpe (ZL) befindet sich noch keine Schwungmasse im Inselnetz. Dies wirkt sich direkt mit einem relativ großen Frequenzeinbruch aus. Weiters sinkt die Frequenz beim Einschalten des Gebläse 1 (GB 1) auf ca. 42,65 Hz ab. Der Frequenzregler regelt sofort nach, und führt die Frequenz nach einem Überschwingen auf 53,1 Hz wieder auf die Nennfrequenz zurück.

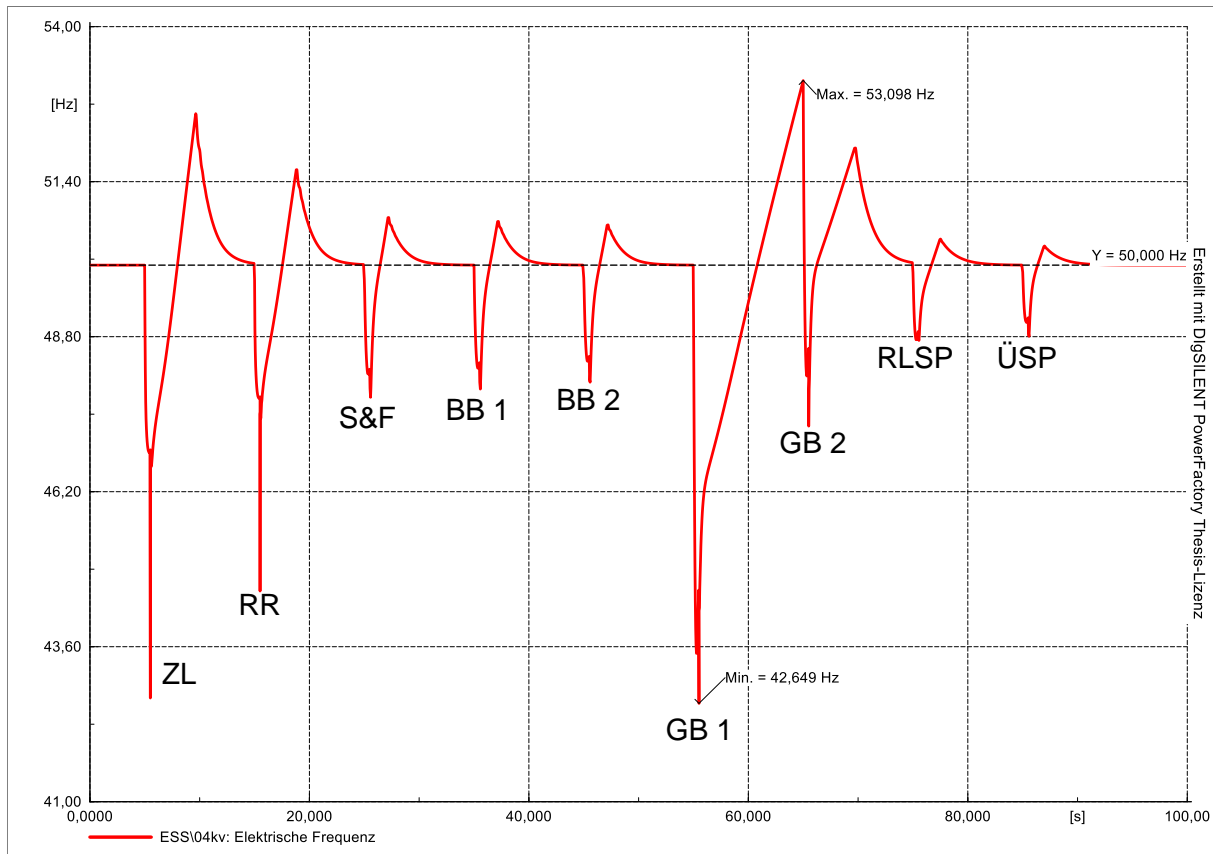


Diagramm 6.6: Frequenzverlauf – Kläranlage

6.4.4.3 Bewertung

Üblicherweise erfolgt das Starten der Motoren mit Hilfe eines Frequenzumrichters. In den vorherigen Simulationen wurde wiederum der Worst Case betrachtet, dass nur ein Stern-Dreieck Anlauf zur Verfügung steht.

Ob es zu einem Hochlauf mit genannter Methode kommen wird, lässt sich ebenfalls nur anhand eines Feldversuchs bestimmen. Die Daten der Motoren geben hierzu keinen Aufschluss.

6.4.4.4 Nutzung von alternativen Startmethoden

Erneut erfolgt eine Betrachtung einer alternativen Startmethode der Motoren, wie in Kapitel 5.5.3.2 näher erläutert. Diese ähnelt der Nutzung von Frequenzumrichtern, wie sie im regulären Betrieb der Anlage in Verwendung sind.

Im nachfolgenden Diagramm 6.7 werden Generatorstrom, Spannung und Frequenz dargestellt.

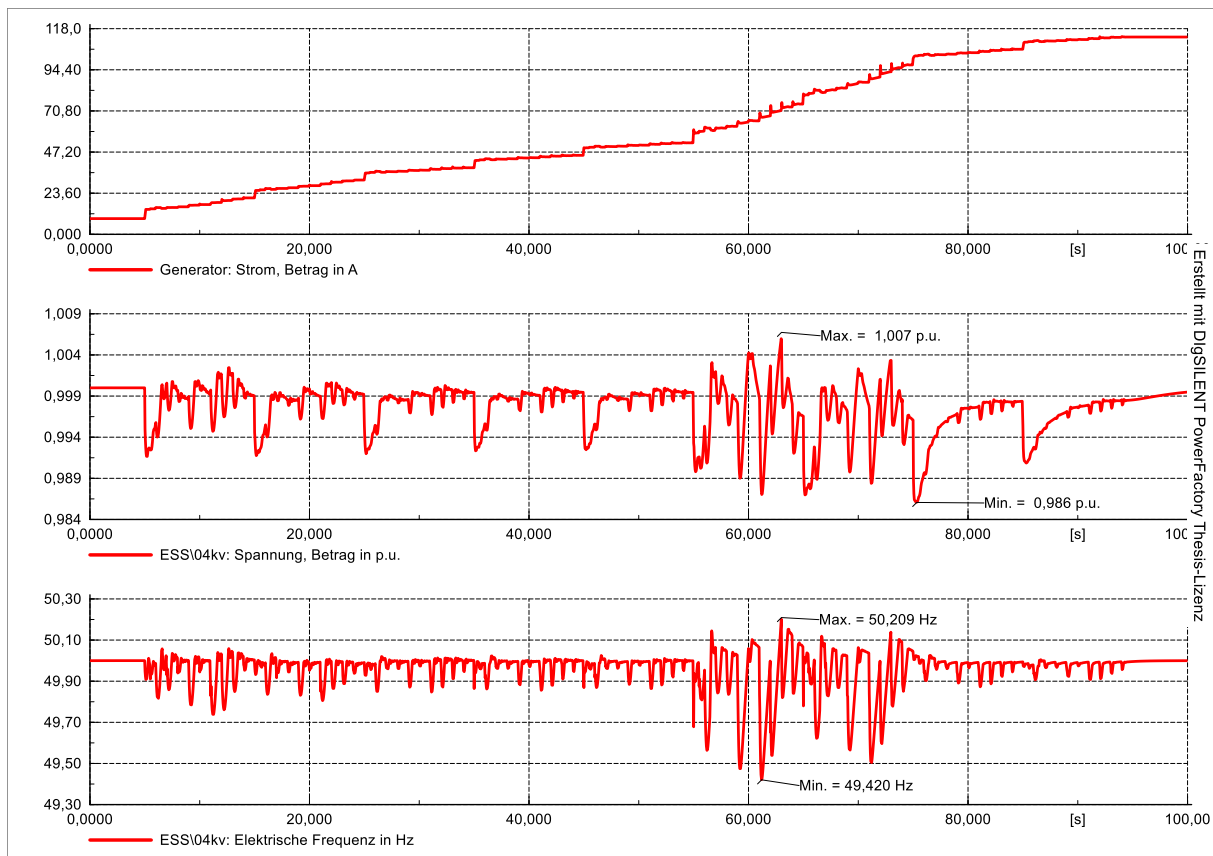


Diagramm 6.7: Strom, Spannung und Frequenz bei sanftem Hochlauf der Notversorgung der Kläranlage

Durch den sanften Hochlauf der Motoren können auftretende Stromspitzen vermieden werden. Wie im Diagramm erkennbar, steigt der Strom nahezu linear über der Zeit an.

Die Spannungseinbrüche, welche durch die Schaltereignisse erzeugt werden, können von 0,858 p.u. (Diagramm 6.5) auf 0,986 p.u. reduziert werden. Ebenfalls sinkt die Frequenz nur mehr auf 48,42 Hz ab (in Diagramm 6.6 auf 42,649 Hz).

Dies hat eine Entlastung des Generators zur Folge, und stellt sicher, dass der Hochlauf der Pumpen korrekt erfolgt. Die Auslastung des Generators kann ebenfalls um 5,4 % auf 87,1 % gesenkt werden.

7 Photovoltaikanlage am „fidelium“

Am Dach der im April 2018 eröffneten Veranstaltungshalle „fidelium“ wurde eine PV-Anlage (siehe Bild 7.1) mit einer maximalen Leistung von 138 kWp installiert.



Bild 7.1: Veranstaltungshalle „fidelium“ in Eichkögl mit PV-Anlage am Dach

Um die Problematik einer Photovoltaikanlage im Blackoutfall darzustellen werden im nachfolgenden Diagramm 7.1 und Diagramm 7.2 zwei Tage im Juli 2019 betrachtet.

Am sonnigen 24. Juli 2019 wurden im Laufe des Tages 655 kWh produziert [48].

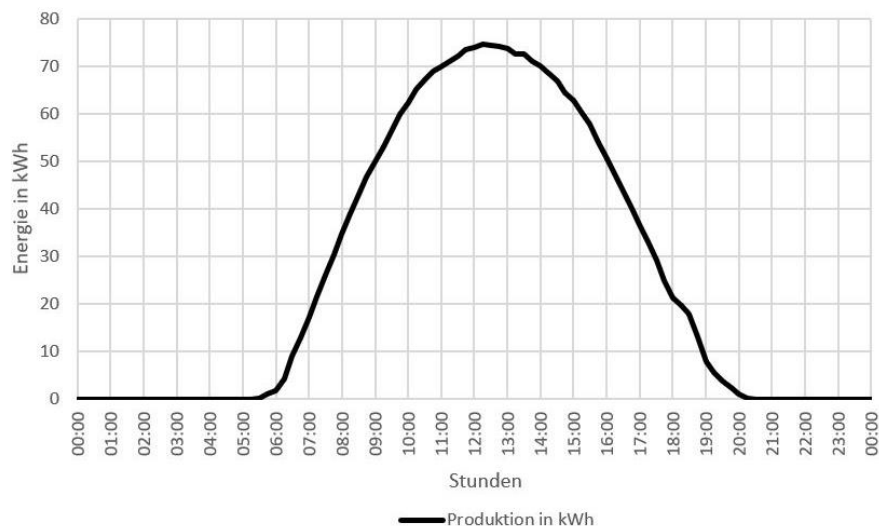


Diagramm 7.1: Tagesproduktion am 24.07.2019 (insgesamt 655 kWh)

Vergleicht man den 24. Juli jedoch mit dem 28. Juli, einem regnerischen, bewölkten Tag, erkennt man, dass mit 136 kWh nur ein Fünftel der Energie produziert wurde.

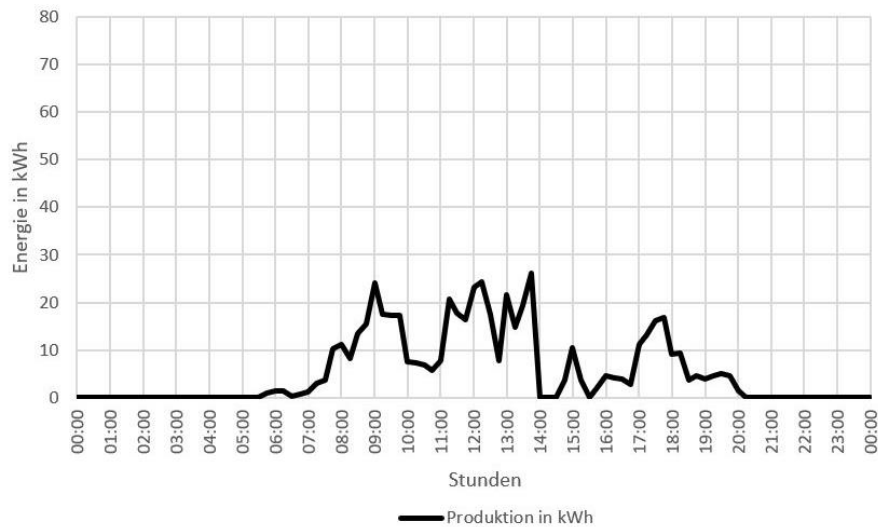


Diagramm 7.2: Tagesproduktion am 28.07.2019 (insgesamt 136 kWh)

Somit stellt sich die Frage, welcher Wert für ein Blackout Szenario angenommen wird. Hierfür wurden in Tabelle 7.1 relevante Werte aus dem Jahresverlauf (Diagramm 7.3) übernommen bzw. ermittelt.

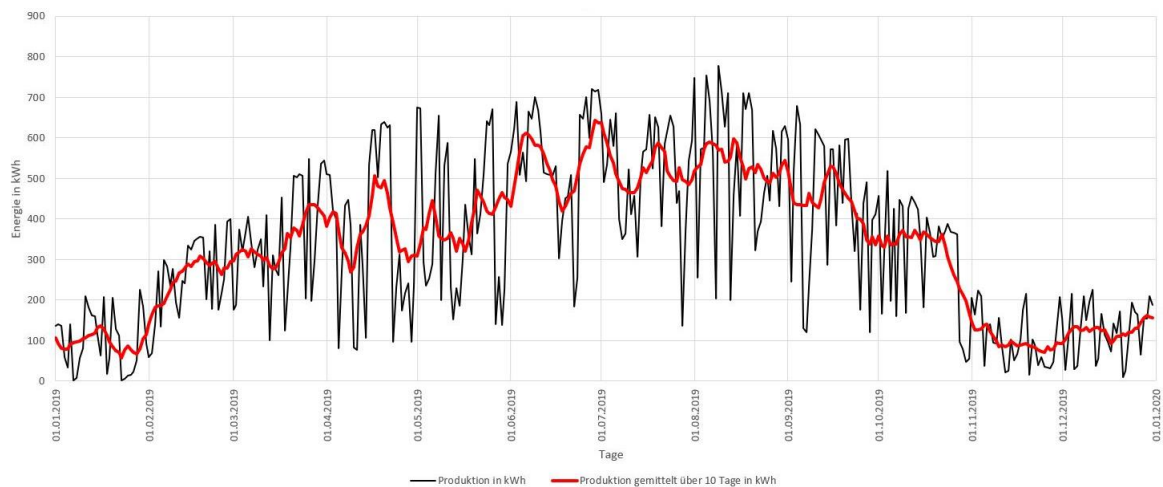


Diagramm 7.3: Jahresproduktion Photovoltaikanlage „fidelium“

Das Minimum von 56 kWh wurde im Jänner erreicht, während die Maxima in den Sommermonaten aufgetreten sind.

Um eine Aussage treffen zu können, wurde das Jahr in drei Teile unterteilt und die Werte der jeweiligen Monate gemittelt. Somit ergibt sich das Sommermittel (Juni, Juli, August), das

Wintermittel (Dezember, Jänner, Februar) sowie das Mittel der Übergangszeit (März, April, Mai und September, Oktober, November).

PV-Anlage „fidelium“ 2019	erzeugte Energie
Minimum	56 kWh
Maximum	777 kWh
Jahresmittel	338 kWh
Sommermittel	538 kWh
Wintermittel	157 kWh
Übergangszeit	326 kWh

Tabelle 7.1: Relevante Werte der PV-Anlage „fidelium“ für 2019

7.1 Nutzung zur Notstromversorgung

Da die Veranstaltungshalle im Fall eines Blackouts zum Lagezentrum wird, soll die Möglichkeit betrachtet werden, die vorhandene Photovoltaikanlage in das Notstrom-Versorgungskonzept einzubinden.

Der Energiebedarf der Veranstaltungshalle wird ebenso wie die erzeugte Energie der Photovoltaikanlage und die eingespeiste Energie ins Netz, aufgezeichnet. Diese Daten können über eine Onlineplattform des Wechselrichterherstellers Solaredge von berechtigten Usern abgerufen werden [49].

So konnte für verschiedene Veranstaltungen, die im „fidelium“ stattgefunden haben, der Energiebedarf ermittelt werden, wie in Tabelle 7.2 ersichtlich.

Datum	Max. Leistung	Energiebedarf
07.09.2019	42 kW	246 kWh
29.09.2019	62 kW	464 kWh
06.10.2019	34 kW	238 kWh
24.11.2019	45 kW	290 kWh
13.12.2019	29 kW	157 kWh
21.12.2019	25 kW	164 kWh
30.12.2019	25 kW	194 kWh

Tabelle 7.2: Leistungsbedarf „fidelium“ bei Veranstaltungen

Am 29.09.2019 fand eine Veranstaltung statt, bei der die gesamte Küche, Kühlung, Beleuchtung, Technik und Lüftung in Betrieb war. Dies ist auch bei der maximalen Leistung von 62 kW und einem Energiebedarf von 464 kWh ersichtlich. Somit kann dieser Tag als Maximallast angenommen werden.

An den weiteren Tagen schwankt die maximale Leistung zwischen 25 kW und 45 kW, je nach Nutzung der einzelnen Komponenten der Halle.

Wird die Veranstaltungshalle als Krisenzentrum genutzt, werden die leistungsstarke Bühnenbeleuchtung sowie die Lautsprechersysteme nicht in Verwendung sein. Im Gegensatz dazu werden die beiden vorhandenen Kühlräume sowie die Küche in Betrieb sein, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Kühlung von Lebensmitteln zu ermöglichen.

Für den Notbetrieb wird eine Maximallast von ca. 50 kW angenommen, um die Halle der Situation entsprechend gut nutzen zu können.

Die Halle verfügt über eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 138 kWp, welche für den Notbetrieb genutzt werden sollte. In der Spezifikation der Wechselrichter ist jedoch festgelegt, dass die zulässige Leistung der Photovoltaikanlage maximal 35 % der Generatoren betragen darf [50]. Dies bedeutet eine wesentliche Einschränkung der angedachten Nutzungsmöglichkeiten. Der Grund hierfür ist, dass die Photovoltaikanlage nur als „Energiequelle“ gesehen wird, und keinen Beitrag zur Stabilität sowie auch zum Kurzschlussverhalten im Inselnetz liefert.

Ein möglicher Generator wäre der Typ „LSA 42.3 M7“ von Leroy-Somer mit einer Leistung von 45 kVA bzw. 36 kW [35]. Die Daten des Generators sind in Tabelle 7.3 ersichtlich. Die Photovoltaikanlage muss dementsprechend auf 35 % der Generatorleistung, also 12,6 kW, begrenzt werden.

Parameter	Wert	Parameter	Wert
U_{Nenn}	400 V	X''_q	10,7 %
S_{Nenn}	45 kVA	X_0	0,62 %
$\cos \varphi$	0,8	X_2	9,12 %
p	2	T_a	8 ms
X_d	275 %	T'_d	50 ms
X'_d	15 %	T''_d	5 ms
X''_d	7,5 %	$T_{d0'}$	914 ms
X_q	140 %	J_{Gen}	0,3417 kgm ²

Tabelle 7.3 Daten des Generators „LSA 42.3 M7“ von Leroy-Somer [35]

Die Begrenzung erfolgt mit Hilfe des Wechselrichters, indem nur die maximal vorgegebene Leistung an das Inselnetz abgegeben wird. Natürlich kann so nicht das volle Potential der Photovoltaikanlage genutzt werden. Die Aufzeichnungen des Wechselrichters zeigen jedoch, dass an einem Großteil der Tage die benötigte Leistung für das Inselnetz den ganzen Tag

über ohne Probleme zur Verfügung gestellt werden kann. Ausnahmen bilden einige wenige bewölkte, regnerische Tage oder Tage an denen Schneefall herrscht.

Da die leistungsintensive Küche zumeist untertags in Betrieb sein wird, kann die Energie der Photovoltaikanlage hierfür genutzt werden, um den Notstromgenerator zu entlasten.

Hochfahren wird das Inselnetz indem der Notstromgenerator zuerst eingeschalten, und danach die Photovoltaikanlage zugeschalten wird. Zu beachten gilt, dass die abgegebene Leistung des Generators immer größer sein muss als die Leistung, die nach dem Zuschalten von der Photovoltaikanlage eingespeist wird. So wird der Generator entlastet und das Inselnetz bleibt weiterhin stabil.

8 Stufenkonzept für die Wiederversorgung

In diesem Kapitel werden die drei möglichen Ausbaustufen sowie die Kostenschätzungen der Notversorgungskonzepte betrachtet.

8.1 Stufe 1 – Notversorgung

Folgende Punkte sind zur Sicherstellung einer Notversorgung zwingend notwendig:

Krisenzentrum

In Punkt 7.1 wird auf die Möglichkeiten eingegangen, die Veranstaltungshalle „fidelium“ als Krisenzentrum nutzen zu können. Mit der dortigen Photovoltaikanlage kann mit Hilfe eines Notstromgenerators von z.B. 45 kVA ein Inselnetz aufgebaut werden, mit dessen Hilfe die Grundbedürfnisse gedeckt werden können.

Zur Kostenschätzung wird ein Dieselgenerator der Firma ELMAG herangezogen: Das Modell „SEDSS 44WDE“ besitzt eine Dauerleistung von 40 kVA sowie eine Maximalleistung von 44 kVA. Vorteil dieses Modells ist die einfache Umschaltbarkeit zwischen den Betriebsmodi: Im mobilen Einsatz bietet der Isolationswächter einen Personen- und Fehlerschutz. Bei der stationären Versorgung eines Gebäudes ist nur die Gebäudeeinspeisung aktiv, der Isolationswächter wird zudem weggeschaltet. Somit ist auch eine anderweitige, unkomplizierte Nutzung möglich [51].

Wasserversorgung

Im Kapitel 5 wird die Wasserversorgung erläutert. Um diese entsprechend realisieren zu können, wird ein Dieselgenerator benötigt, um eine Notversorgung aufbauen zu können. Entsprechend der Annahmen im Punkt 5.5.2 wird ein Generator mit einer Leistung von mindestens 35 kVA benötigt.

Hierfür bietet sich das Modell „SEDSS 34WDE“ der Firma ELMAG an. Mit einer Dauerleistung von 30 kVA und einer Maximalleistung von 33 kVA ist damit eine Notversorgung der Pumpstation Mitterfladnitz möglich [51]. Zu beachten gilt weiterhin, dass die Pumpen gestaffelt und nicht zeitgleich eingeschaltet werden.

Für den Start der Pumpen sind Softstarter bzw. Frequenzumrichter notwendig, da aufgrund der Spannungs- und Frequenzeinbrüche der Hochlauf durch den Hersteller nicht garantiert werden kann. Hierzu wird die Durchführung von Feldversuchen notwendig sein.

Abwasserentsorgung

Um eine funktionierende Abwasserentsorgung sicherstellen zu können, ist zu aller erst eine Nachrüstung der vorhandenen Pumpstationen nötig (siehe Punkt 6.2.1). Wenn dies erledigt ist, kann eine unkomplizierte, mobile Versorgung der Pumpstationen mittels Zapfwellengenerator sichergestellt werden.

Als Zapfwellengenerator wurde zur Kalkulation das leistungsschwächste Modell „NSG 13“ der Firma Schneeberger mit 10,4 kW angenommen. Zu empfehlen wäre jedoch ein leistungsstärkeres Modell, da diese nicht signifikant teurer sind.

In nachfolgender Tabelle 8.1 sind die einmaligen Kosten für einen Ausbau der Gemeinde auf die Stufe 1 – Notversorgung aufgelistet:

Lokalität	Position	Kosten
Krisenzentrum	Dieseldgenerator ELMAG SEDSS 44WDE	28.000,00 €
Wasserversorgung	Dieseldgenerator ELMAG SEDSS 34WDE	24.600,00 €
Abwasserentsorgung	Nachrüstung Pumpstationen (siehe Tabelle 6.1)	3.420,00 €
	Zapfwellengenerator min. Schneeberger NSG 13	3.400,00 €
	Summe brutto:	~ 60.000,00 €

Tabelle 8.1: Einmalige Kosten Stufe 1 – Notversorgung [43, 51]

Das Problem der Notversorgung ist jedoch nicht mit der Anschaffung der Generatoren gelöst!

Die Versorgung der Generatoren mit Dieseldkraftstoff ist durch eine ausreichende Lagerkapazität sicherzustellen. Wie in Tabelle 8.2 aufgeschlüsselt, benötigen die drei Notstromgeneratoren pro Stunde ca. 20 Liter Treibstoff.

Unter der Annahme, dass das Krisenzentrum nachts einen wesentlich geringeren Strombedarf hat, wurde die Betriebszeit des Generators auf 14 Stunden pro Tag unter 75 % Last geschätzt. Die Wasserversorgung muss rund um die Uhr zur Verfügung stehen, jedoch sinkt der Bedarf nachts wesentlich ab. Zudem sind auch untertags nicht immer alle Pumpen zeitgleich in Betrieb, was zu einer Schätzung von 12 Betriebsstunden pro Tag mit 75 % Last führt. Die Abwasserentsorgung erfolgt im Stationenbetrieb mit Hilfe des Traktors und dem Zapfwellengenerator. Jede Station muss einmal täglich angefahren werden, um das angefallene Abwasser, welches im Sammelschacht gespeichert wird, abzupumpen. Für jede der zwölf Pumpstationen wurde somit eine Stunde Notversorgung mit 70 % Last kalkuliert. Die Annahme, wie viel Treibstoff der Traktor pro Stunde benötigt erfolgte nach [52].

In Summe werden somit 250 Liter Dieseldkraftstoff pro Tag benötigt, um die Notversorgung entsprechend aufrecht erhalten zu können.

Lokalität	Laufende Dieselkosten	Liter pro Stunde	Betriebsstunden	Liter pro Tag
Krisenzentrum	ELMAG SEDSS 44WDE bei 75 % Last	7,7	14 h / Tag	~ 108
Wasserversorgung	ELMAG SEDSS 34WDE bei 75 % Last	6,0	12 h / Tag	~ 72
Abwasserentsorgung	Traktor mit ang. 34 PS und 70 % Last	5,8	12 h / Tag	~ 70
	Gesamt:	19,5		~ 250

Tabelle 8.2: Laufende Kosten Stufe 1 – Notversorgung [51, 52]

Somit gilt es auch zu berücksichtigen, wie und wo entsprechende Mengen Diesel gelagert werden können. Um eine Selbstversorgung von einer Woche sicherstellen zu können, müssten somit 1750 Liter Kraftstoff zur Verfügung stehen. Dieser muss maschinell zu den einzelnen Generatoren gebracht werden, was wiederum Diesel bedarf. Somit wäre eine Lagerung von mindestens 2000 Liter Kraftstoff notwendig.

Zudem stellt auch die Lagerung einen gewissen Aufwand dar. Es gibt spezielle Vorschriften wie die Lagerung von Diesel zu erfolgen hat. Nötig sind teils Auffangwannen für den Fall einer Leckage, Überdachungen sowie ein Monitoring. Für nähere Details sei auf die Rechtsvorschrift für die Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten verwiesen [53].

Eine Analyse von gelagerten Brennstoffen für Netzersatzanlagen zeigte, dass nur 8 % der gelagerten Dieselvorräte uneingeschränkt gebrauchsfähig waren. Die übrigen Vorräte waren nicht mehr verwendbar bzw. müssten in kurzer Zeit ersetzt werden. Ein Grund für die Alterung von Diesel ist der zugemischte Biodiesel, welcher die Lagerung erschwert. Zudem wurden auch Heizölvorräte analysiert, von denen knapp 71 % uneingeschränkt gebrauchsfähig waren. Heizöl entspricht anderen Vorgaben, und enthält keinen Biodiesel, was eine Lagerung erleichtert [54].

Die Kosten für die Errichtung einer Tankanlage mit einem Fassungsvermögen von beispielweise 2500 Litern und einer entsprechenden Füllung mit Diesel bzw. Heizöl werden in Tabelle 8.3 aufgeschlüsselt [55]. Die Kosten für einen Liter Diesel bzw. Heizöl wurden mit 1,00 € angenommen.

Position	Kosten
Tankanlage 2500 Liter	3.300,00 €
2500 Liter Diesel / Heizöl	2.500,00 €
Gesamt:	5.800,00 €

Tabelle 8.3 Kosten für Diesellagerung [55]

Die Gesamtkosten für den Ausbau auf Stufe 1 und einer autonomen Versorgung für eine Woche betragen somit ca. 70.000,00 €. Berücksichtigt werden hierbei die einmaligen Anschaffungskosten der Generatoren (Tabelle 8.1), die Kosten für die Treibstofflagerung inklusive Füllung (Tabelle 8.3) sowie die Kosten für die Nachrüstung der Pumpstationen (Tabelle 6.1). Dies stellt nur eine Schätzung dar, die wahren Kosten können abweichen.

8.2 Stufe 2 – Erweiterte Notversorgung

Basis für die erweiterte Notversorgung ist der Ausbau auf Stufe 1 – Notversorgung.

Zusätzlich werden in dieser Ausbaustufe das Gemeindeamt, die Schule, der Kindergarten, das Rüsthaus der Feuerwehr sowie ein Nahversorger mit elektrischer Energie versorgt. Zudem wäre eine Notversorgung des Nahwärmeheizwerkes, je nach Jahreszeit, notwendig.

Der Sinn und Zweck dieser Ausbaustufe wäre eine erweiterte Versorgung der Bevölkerung. Wenn der Schul- und Kindergartenbetrieb wieder aufgenommen wird, kann die Kinderbetreuung zentral übernommen werden, was eine Entlastung von vielen Familien darstellt. So können Schlüsselkräfte dann Tätigkeiten zum Aufbau weiterer Versorgungsmöglichkeiten übernehmen.

Wenn das Gemeindeamt, das Rüsthaus sowie der Nahversorger ebenfalls einen Notbetrieb aufnehmen können, kann eine Entlastung des Krisenzentrums in der Veranstaltungshalle erfolgen. Es können einige Tätigkeiten auf die entsprechend vorhandenen Infrastrukturen ausgliedert werden, was zu einer Entlastung des Krisenstabs führt.

Die auf dem Dach des Gemeindeamts verbaute Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 15 kWp kann zudem, nach dem gleichen Konzept wie in der Veranstaltungshalle, dazu genutzt werden, um den Notstromgenerator zu entlasten.

Die Dimensionierung der Generatoren erfolgt nach Abschätzung des möglicherweise notwendigen Energiebedarfes:

Somit werden für das Gemeindeamt, die Schule und den Kindergarten eine Maximalleistung von 10 kW bzw. 12,5 kVA angenommen. Der Notstrom wird in diesen Einrichtungen hauptsächlich für die Beleuchtung bzw. teils für kleine EDV-Anlagen benötigt. Als Beispiel wurde hier der Notstromgenerator „SED 14WDE“ von ELMAG, mit einer maximalen Leistung von 14 kVA bzw. einer kontinuierlichen Leistung von 13 kVA gewählt [51].

Für das Rüsthaus, den Nahversorger sowie das Nahwärmeheizwerk wird eine Maximalleistung von 15 kW bzw. ca. 19 kVA angenommen. Vor allem im Rüsthaus kann es notwendig sein, Werkzeuge und andere größere Verbraucher in Betrieb nehmen zu müssen,

um Reparaturtätigkeiten im Sinne der Notversorgung durchführen zu können. Der Nahversorger benötigt einen größeren Leistungsbedarf zur Kühlung und Bereitstellung der Lebensmittel. Das Nahwärmeheizwerk versorgt das Gemeindeamt sowie Schule und Kindergarten mit Wärme. Um den Betrieb der Pumpen zu gewährleisten, erfolgt eine Überdimensionierung. In diesem Fall wurde der Generator „SED 20WDE“ von ELMAG, mit einer maximalen Leistung von 19 kVA bzw. einer kontinuierlichen Leistung von 18 kVA ausgewählt [51].

Zudem ist es notwendig, die genannten Lokalitäten technisch so nachzurüsten, dass eine Umschaltung auf Notbetrieb bzw. eine Einspeisung von Notstrom über eine geeignete Steckverbindung möglich ist. Hierzu werden ein Umschalter der Firma Schrack und ein CEE Stecker 32 A benötigt [56, 57]. Weiters erfolgt eine grobe Schätzung des Kleinmaterials mit 50,00 €, sowie eine Kalkulation der Arbeitszeit mit zwei Stunden [41].

In der nachfolgenden Tabelle 8.4 erfolgt eine Übersicht der einmaligen Generatorkosten sowie die Nachrüstkosten der Einspeisepunkte für einen Ausbau auf Stufe 2.

Lokalität	Einmalige Kosten	Kosten
Gemeindeamt	Dieselergenerator ELMAG SED 14WDE	13.000,00 €
Schule	Dieselergenerator ELMAG SED 14WDE	13.000,00 €
Kindergarten	Dieselergenerator ELMAG SED 14WDE	13.000,00 €
Rüsthause	Dieselergenerator ELMAG SED 20WDE	15.000,00 €
Nahversorger	Dieselergenerator ELMAG SED 20WDE	15.000,00 €
Nahwärmeheizwerk	Dieselergenerator ELMAG SED 20WDE	15.000,00 €
	<i>Zwischensumme:</i>	84.000,00 €
Nachrüstung der 5 Einspeisepunkte		
Umschalter	Schrack IN882107 á 103,00 €	515,00 €
CEE Stecker 32 A	Schneider Electric 1865183-62 á 56,00 €	280,00 €
Kabel, Kleinmaterial	á 50,00 €	250,00 €
Arbeitszeit	Elektrotechniker á ca. 2 h zu 140,00 €	700,00 €
	<i>Zwischensumme:</i>	1.745,00 €
	Gesamtkosten brutto:	~ 86.000,00 €

Tabelle 8.4: Einmalige Kosten Stufe 2 – Erweiterte Notversorgung [41, 51, 56, 57]

Weiters wurden für die jeweiligen Lokalitäten verschiedene Nutzungszeiten angenommen. So wurden für das Gemeindeamt, die Schule und den Kindergarten je 8 Stunden Nutzung bei 75% Auslastung des Generators kalkuliert. Bei geringerer Auslastung verlängert sich entsprechend die Nutzungsdauer bei gleichem Treibstoffbedarf.

Für das Rüsthaus der Feuerwehr wurde eine Worst Case Nutzungsdauer von 16 Stunden am Tag angenommen. Dies wird üblicherweise nicht der Fall sein, ist aber bei Unwettern und anderen Ereignissen durchaus möglich.

Für den Nahversorger wurden 10 Stunden Nutzung bei 75 % Last täglich angenommen. Die Kühlgeräte laufen zwar rund um die Uhr, jedoch benötigen diese eine verhältnismäßig geringe Leistung im Vergleich zum Vollbetrieb.

Beim Nahwärmeheizwerk wurde ein Ausfall im Winter angenommen, was einen nahezu rund um die Uhr Betrieb bedeutet. Da jedoch nicht von Vollaustattung des Generators ausgegangen wird, wurden 20 Stunden Nutzung bei 75 % Auslastung täglich angenommen.

Der Treibstoffbedarf der einzelnen Generatoren wird in nachfolgender Tabelle 8.5 dargestellt.

Lokalität	Laufende Dieseldkosten	Liter pro Stunde	Betriebsstunden	Liter pro Tag
Gemeindeamt	ELMAG SED 14WDE bei 75 % Last	2,6	8 h / Tag	~ 21
Schule	ELMAG SED 14WDE bei 75 % Last	2,6	8 h / Tag	~ 21
Kindergarten	ELMAG SED 14WDE bei 75 % Last	2,6	8 h / Tag	~ 21
Rüsthaus	ELMAG SED 20WDE bei 75 % Last	3,7	16 h / Tag	~ 60
Nahversorger	ELMAG SED 20WDE bei 75 % Last	3,7	10 h / Tag	~ 37
Nahwärmeheizwerk	ELMAG SED 20WDE bei 75 % Last	3,7	20 h / Tag	~ 74
	Gesamt:	18,9		~ 235

Tabelle 8.5: Laufende Kosten Stufe 2 – Erweiterte Notversorgung

Schlussendlich lassen sich die Kosten für einen Ausbau auf Stufe 2 des Notversorgungskonzeptes auf 86.000,00 € einmalig sowie zusätzlich 235 € (Treibstoffbedarf laut Tabelle 8.5 mit Annahme 1 Liter = 1,00 €) pro Tag Betrieb beziffern.

8.3 Stufe 3 – Strominseln

Ein Ausbau auf Stufe 3, sprich die Installation von Strominseln, setzt die Umsetzung von Stufe 1 und 2 voraus.

Hierbei werden vorhandene Infrastrukturen genutzt, um so Kosten bei der Auslegung der Strominseln einzusparen. Dazu zählen zum Beispiel größere Bauernhöfe, Betriebe sowie technikaffine Bewohner. Im nachfolgenden Bild 8.1 sind mögliche Standorte für Strominseln gekennzeichnet, welche in Tabelle 8.6 näher definiert werden.

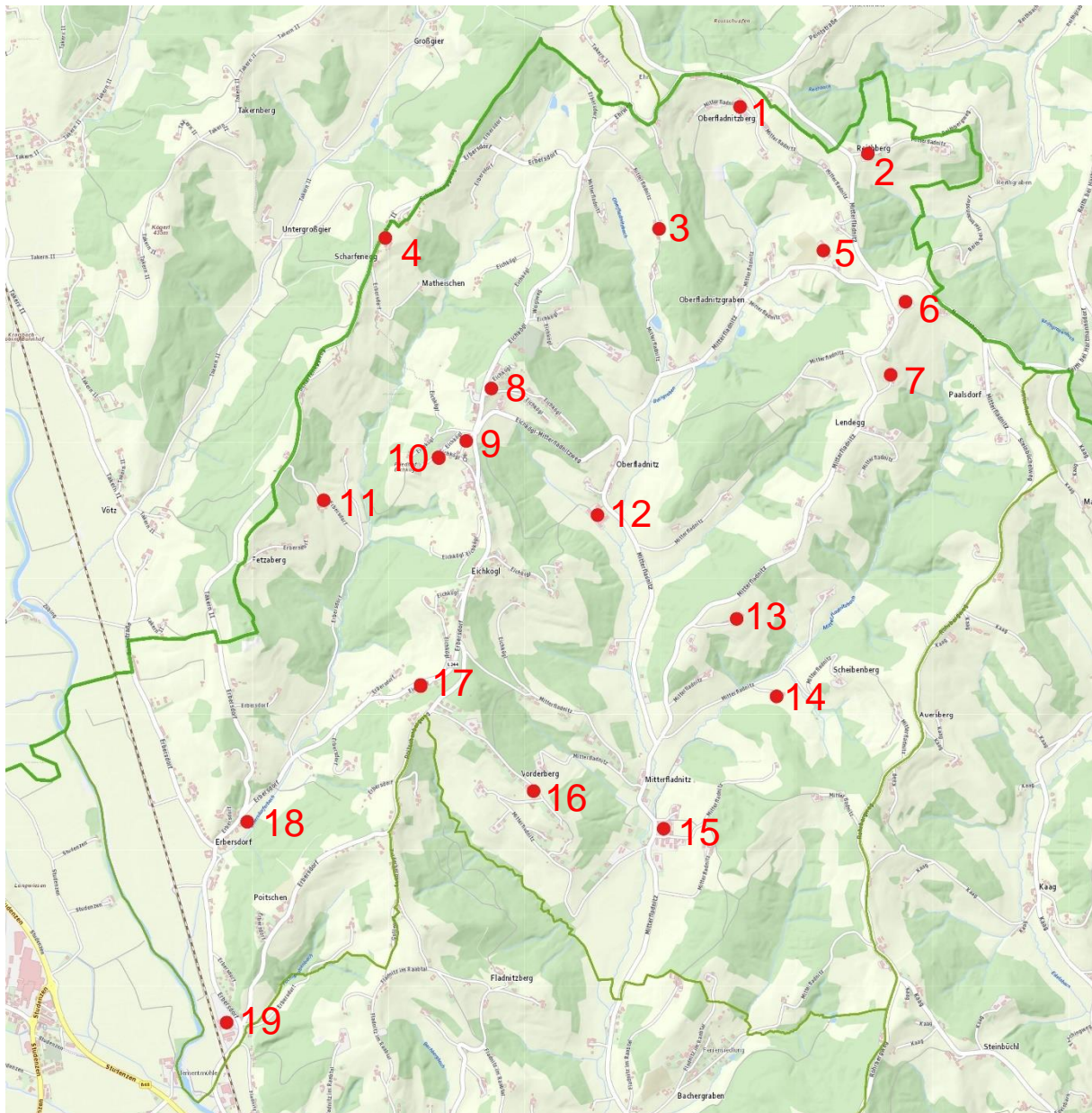


Bild 8.1: Lage der Strominseln im Gemeindegebiet [58]

Nr.	Standort	Bemerkung
1	Mitterfladnitz 10	Obstbauernhof
2	Mitterfladnitz 5	Bauernhof
3	Mitterfladnitz 12	Bauernhof
4	Erbersdorf 21	Bauernhof
5	Mitterfladnitz 26	Bauernhof
6	Mitterfladnitz 78	Obstbauernhof
7	Mitterfladnitz 77	Obstbauernhof
8	Eichkögl 2	Veranstaltungshalle
9	Eichkögl 30	Gemeindeamt

10	Eichkögl 66	Volksschule
11	Erbersdorf 16	Bauernhof
12	Mitterfladnitz 20	Bauernhof
13	Mitterfladnitz 57	Bauernhof
14	Mitterfladnitz 59	Bauernhof
15	Mitterfladnitz 40	Bauernhof
16	Mitterfladnitz 178	Bauernhof
17	Eichkögl 173	Betrieb
18	Erbersdorf 6	Bauernhof
19	Erbersdorf 215	Betrieb

Tabelle 8.6: Mögliche Standorte für Strominseln

Diese möglichen Standorte sind nur ein Auszug vieler Möglichkeiten, die sich im Gemeindegebiet zur Errichtung von Strominseln anbieten würden.

Sinn und Zweck wäre es, wie beim Konzept der „Leuchttürme“ in Feldbach, dass jeder Bewohner der Gemeinde eine Strominsel zu Fuß erreichen kann [18]. Somit ist auch keine Abhängigkeit von Treibstoff im Krisenfall gegeben, um zügig Hilfe organisieren zu können bzw. sich zu informieren.

Eine Vernetzung der einzelnen Strominseln und ein Kontakt zum Lagezentrum in der Veranstaltungshalle ist hier essenziell, um Notfälle jeglicher Natur schnell an die entsprechenden Stellen weiterleiten zu können. Somit wäre eine Anschaffung von Funkgeräten und der Aufbau eines lokalen Funknetzes, welches auch ohne öffentliche Stromversorgung funktioniert, erstrebenswert.

Eine Kostenschätzung für diese Stufe ist nur sehr schwer möglich, da zuerst die Bereitschaft der einzelnen Bewohner eingeholt werden muss, ob sie dazu bereit wären, im Krisenfall als Anlaufstelle zu dienen. Erst dann können Auslegungen sowie individuelle Dimensionierungen erfolgen. Sinnvoll wäre es, wenn die Gemeinde hierbei nur unterstützend mitwirkt, und nicht die kompletten Kosten der Anlagen übernimmt. Einige Betriebe benötigen sowieso eine Notversorgung bei einem Stromausfall (Geflügelzucht, Kühlräume bei Obstbauern) – sollten hierbei noch Generatorkapazitäten frei sein, können diese für den vermutlich geringen Energiebedarf der Strominseln genutzt werden.

9 Wirtschaftliche Betrachtung

Im Rahmen von [59] wurden die wirtschaftlichen Auswirkungen eines Blackouts in Österreich analysiert, und die dadurch auftretenden Schäden errechnet. Zudem wurde das "Austrian Power Outage Simulation Tool of Economic Losses", kurz APOSTEL, entwickelt, welches die Versorgungssicherheit mit elektrischer Energie bewertet. Somit ermöglicht das Tool verschiedene Ausfallsszenarien ökonomisch zu bewerten und Schlussfolgerungen in Hinblick auf volkswirtschaftliche Schäden zu ermöglichen [59].

Es wurden Blackouts, welche das gesamte Gebiet von Österreich betreffen, mit einer Dauer von einer bis hin zu 48 Stunden analysiert. Die Auswirkungen und möglichen Schäden werden in nachfolgender Tabelle 9.1 dargestellt. Grundlage für die Berechnung bildet Österreich, mit ca. 3,6 Millionen Haushalten und ca. 8,25 Millionen Einwohnern. Unter der Annahme einer linearen Verteilung wurden die Kosten auf die betrachtete Gemeinde Eichkögl mit 1305 Einwohnern umgerechnet.

Dauer in Stunden	Österreich (8,25 Mio. EW)		Eichkögl (1305 Einwohner)	
	Nicht-gelieferte Elektrizität (in MWh)	Gesamtschaden (in 1000 €)	Nicht-gelieferte Elektrizität (in MWh)	Gesamtschaden (in €)
1	8.694	148.617	1,37	23.470
10	20.519	502.443	3,24	79.360
25	46.596	903.244	7,36	142.670
48	424.235	1.689.507	67,01	266.860

Tabelle 9.1: Blackout Analyse mit APOSTEL – Ergebnisse [59]

Auf Basis dieser Daten wurde Diagramm 9.1 erstellt. Der Gesamtschaden, den ein Blackout in Eichkögl auslösen würde, wird in Abhängigkeit der Dauer durch die schwarze Linie dargestellt.

Für Stufe 1 – Notversorgung wurden die wie am Ende von Kapitel 8.1 beschriebenen Kosten verwendet. So wurden die Fixkosten von 67.750 € für den ersten Tag Blackout angenommen. Mit jedem weiteren Tag steigen die Kosten um 250 €, nämlich dem Treibstoffbedarf für die einzelnen Generatoren. Die Steigung der hierfür eingezeichneten roten Kurve ist aufgrund der Skalierung nicht signifikant erkennbar.

Für Stufe 2 – Erweiterte Notversorgung wurden wie in Kapitel 8.2 beschrieben, die Kosten in Höhe von 86.235 € für den ersten Tag Blackout (inklusive Treibstoffkosten) angenommen. Zusätzlich werden die Kosten von Stufe 1 – Notversorgung hinzuaddiert. Mit jedem weiteren

Tag erhöhen sich die Kosten um 485 € (Treibstoffkosten für Stufe 1 und Stufe 2). Die Steigung der für Stufe 2 eingezeichneten grünen Kurve ist wiederum sehr gering.

Die Schnittpunkte mit der schwarzen Kurve, dem Schaden den ein Blackout hervorruft, stellen die Amortisationspunkte der einzelnen Ausbaustufen dar. So würde sich die Investition in Stufe 1 – Notversorgung bereits nach 8,5 Stunden Stromausfall rentieren, während sich ein Ausbau zu Stufe 2 – Erweiterte Notversorgung erst nach 27,5 Stunden rechnen würde.

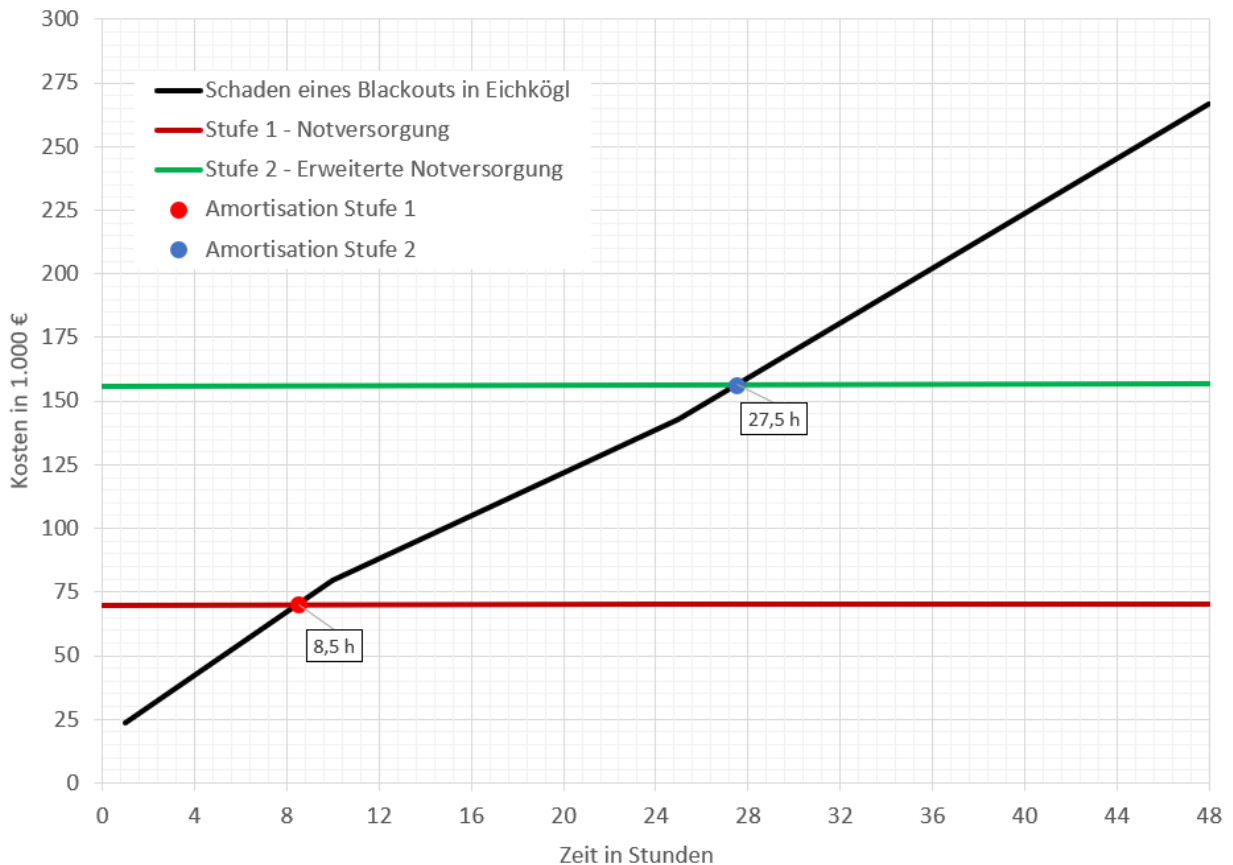


Diagramm 9.1: Amortisation der einzelnen Ausbaustufen [59]

Die Stufe 3 des Notversorgungskonzeptes wurde bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt, da die Kosten hierfür nicht sinnvoll abgeschätzt werden können, da zu viele individuelle Betrachtungen notwendig sind.

10 Vergleich mit zentraler Versorgungsstrategie

Der Vergleich mit [60] bestätigt einige Probleme und Eigenschaften, die schon vorab vermutet wurden. So ist der Aufbau und die Lage der Gemeinde für die Auswahl der Versorgungsstrategie von signifikanter Bedeutung. Die in genannter Arbeit betrachtete Gemeinde Ottendorf an der Rittschein im Bezirk Hartberg-Fürstenfeld ist zentraler als die Gemeinde Eichkögl aufgebaut. Der Ortskern – somit auch Kaufhaus, Ärztezentrum, Veranstaltungszentrum, Feuerwehr sowie teilweise Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (Kläranlage) können von einer zentralen Stelle aus notversorgt werden. Hierfür wurde eine Trafostation in der Ortsmitte betrachtet.

Vergleicht man dies mit der Gemeinde Eichkögl, erkennt man, dass dieses Konzept hier nicht anwendbar wäre. Wasserversorgung, Abwasserentsorgung sowie weitere Infrastrukturen sind über das gesamte Gemeindegebiet verteilt und werden von verschiedenen Trafostationen versorgt. Der Ankauf eines leistungsstarken Notstromgenerators, um eine komplette Trafostation versorgen zu können, wäre in diesem Fall nicht sinnvoll.

Vorteil der zentralen Strategie ist natürlich, dass die Wartung und Betreuung eines einzelnen Notstromgenerators einfacher zu bewerkstelligen ist, als im Vergleich zur dezentralen Strategie. Hierbei wären bei Ausbaustufe 1 – Notversorgung drei, für Stufe 2 – erweiterte Notversorgung insgesamt sogar neun Generatoren zu betreuen.

Ein weiterer Vorteil der zentralen Strategie ist die individuelle Versorgung der einzelnen Haushalte mit Energie. Dies wäre in Eichkögl nur beschränkt, zum Beispiel für den Ortskern möglich. Jedoch würde solch ein Konzept vermutlich Unmut in der Gesellschaft bewirken, und die Frage aufwerfen, warum genau die Priorität auf einen kleinen Teil der Gemeinde gelegt wird.

Werden die einzelnen Haushalte nicht versorgt, vereinfachen sich die technischen Betrachtungen signifikant. So ist es zum Beispiel nicht notwendig Gleichzeitigkeitsfaktoren und den Cold Load Pickup zu berücksichtigen. Jedoch ist das Anlaufverhalten von größeren Motoren von Relevanz, da die Notstromgeneratoren leistungsschwächer sind als bei der zentralen Versorgungsstrategie.

Ein wesentlicher Aspekt der dezentralen Versorgungsstrategie sind die geringeren Generatorkosten aufgrund der kleineren Leistungen und dass eine Anschaffung über mehrere Jahre verteilt möglich ist.

11 Zusammenfassung

Ob und wann ein Blackout auftreten wird, lässt sich nicht vorhersagen. Jedoch ist es im Sinne der Politik, für den Fall der Fälle vorbereitet zu sein, um den Einwohnern dann das Gefühl von Sicherheit und Kontrolle vermitteln zu können.

So wäre der minimale Ausbau auf Stufe 1 – Notversorgung (siehe Kapitel 8.1) ein guter Kompromiss zwischen Kosten und Nutzen. Wie bei der wirtschaftlichen Betrachtung in Kapitel 9 deutlich wird, reicht bereits ein Stromausfall von 8,5 Stunden aus, um die Anschaffungen zu amortisieren. Dadurch wird wiederum verdeutlicht, wie schnell der Gesamtschaden für die Gemeinde steigt, wenn keine Maßnahmen getroffen werden. Natürlich kann ein weiteres Ansteigen der Schadenskosten durch die Notversorgung nicht vollkommen verhindert werden, jedoch verliert die Kurve dadurch an Steigung.

Der Ausbau auf Stufe 2 – Erweiterte Notversorgung (siehe Kapitel 8.2) würde sich erst nach 27,5 Stunden amortisieren. Bei einem absehbaren Blackout von wenigen Stunden würde es keinen Sinn machen, dieses Konzept hochzufahren, da der Aufbau schon einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Somit ist dies für voraussichtlich länger dauernde Ausfälle sinnvoll. Durch diese Vorkehrungen kann der auftretende Schaden wiederum verringert werden.

Die Stufe 3 – Strominseln (siehe Kapitel 8.3) wird erst sinnvoll, wenn das Blackout länger als einen Tag andauert und kein baldiges Ende in Sicht ist. Das Hochfahren dieses Konzeptes bedeutet einen großen Aufwand in Bezug auf Technik und Organisation, und ist demnach erst sinnvoll, wenn die Stufen 1 und 2 bereits aktiviert sind und funktionieren.

Wasserversorgung

Die Nachrüstung der Wasserversorgung besitzt die größte Priorität. So ist es notwendig, wie im Kapitel 5 detailliert beschrieben, ein Konzept zu erstellen wie die Notversorgung in der Praxis ausgeführt wird. Die Einschulung von mindestens zwei Mitarbeitern der Gemeinde und ein Testlauf sind hier unerlässlich.

Die angedachte Möglichkeit, den Hochbehälter in Eichkögl zu nutzen und das Wasser ohne Pumpen in das Netz fließen zu lassen stellte sich als *nicht* umsetzbar heraus, da es einige Wohnhäuser gibt, die über dem Niveau des Hochbehälters liegen, und somit unversorgt bleiben würden. Daher ist der Aufbau der Notversorgung ausgehend von Mitterfladnitz, wie in Kapitel 5.4.1 erläutert, die sinnvollste, effizienteste und kostensparendste Option.

In den vergangenen Jahren wurden einige Frequenzumrichter durch Unwetter und Überspannungen im Netz zerstört. Da beim Wiederaufbau des Netzes auch Überspannungen auftreten können, wurde für die Simulationen eine Stern-Dreieck Schaltung für den Hochlauf

verwendet. Der Start der Pumpen durch einen Frequenzumrichter stellt die für den Generator am wenigsten belastende Möglichkeit, im Hinblick auf Spannungs- und Frequenzeinbrüche dar. Diese Möglichkeit wurde in den Kapiteln „Nutzung von alternativen Startmethoden“ behandelt, indem ein Frequenzumrichter durch eine einfache Methode (Veränderung des Läuferwiderstandes beim Hochlauf) in PowerFactory nachgebildet und simuliert wurde.

Beim Zuschalten der Brunnenpumpe mit Hilfe eines Stern-Dreieck Anlaufs kommt es zu einem signifikanten Einbruch von Spannung und Frequenz, was *keinen* Hochlauf des Motors laut Hersteller zur Folge hat. Leider wurden die Grenzen für Spannung und Frequenz beim Hochlauf durch den Hersteller Grundfos nur als „gering“ angegeben. Es war nicht möglich Zahlenwerte zu erhalten [37]. Selbst eine Steigerung der Generatorleistung bringt keine ausreichende Kompensation der Spannungs- und Frequenzeinbrüche, sodass die Brunnenpumpe mit Hilfe des Stern-Dreieck Anlaufs *nicht* startet. Somit ist hier die Verwendung eines Softstarters bzw. eines Frequenzumrichters nötig.

Abwasserentsorgung

Priorität in der Abwasserentsorgung hat die Nachrüstung der Pumpstationen sowie der Ankauf eines Zapfwellengenerators.

Mit aktuellem Stand sind die Abwassersammelschächte nach einem Tag ohne Stromversorgung gefüllt, und müssen entleert werden, um einen Rückstau zu vermeiden. Da die Notversorgung aufgrund der nicht vorhandenen Einspeisepunkte nicht möglich ist, wäre der erste Schritt, diese zu adaptieren. Um den Zapfwellengenerator betreiben zu können ist ein Traktor notwendig, welcher im Fall des Blackouts zur Verfügung stehen muss. Zudem ist die Einschulung von mindestens zwei Personen nötig, die die Bedienung sowie den Pendelbetrieb zwischen den einzelnen Pumpstationen übernehmen können.

Da die Kläranlage Fladnitz nicht im Verantwortungsbereich der Gemeinde Eichkögl liegt, können hier keine direkten Investitionen oder Vorbereitungen getätigt werden. Sinnvoll wäre es, in Kooperation mit dem Abwasserverband ein Konzept für einen länger andauernden Stromausfall zu erarbeiten. Die Berechnungen in dieser Arbeit stellen ebenfalls den Worst Case dar, da nur der Stern-Dreieck Hochlauf verwendet wurde. Der Großteil der Pumpen wird über einen Frequenzumrichter angesteuert, welcher im Kapitel 6.4.4.4 behandelt wurde. Dadurch kann eine Entlastung des Generators, durch die Vermeidung von transienten Vorgängen, erzielt werden.

Krisenzentrum

Die Errichtung des Krisenzentrum in der Veranstaltungshalle „fidelium“ bietet einige Vorteile. So ist bereits eine vollständige Küche vorhanden, Kühlräume sowie ausreichend Platz. Beheizt

wird die Halle über das Nahwärmeheizwerk, welches sich in unmittelbarer Nähe befindet und mitversorgt werden kann.

Für die Notversorgung mit Strom ist die Definition und Errichtung des Einspeisepunktes von Priorität. Weiters ist es notwendig die Wechselrichter-Parametrierung der Photovoltaikanlage auf den Notstromgenerator anzupassen, sodass im Krisenfall schnell ein funktionierendes Inselnetz aufgebaut werden kann. Die Einstellung hat, wie in Kapitel 7.1, so zu erfolgen, dass maximal 35 % der Generatorleistung von der Photovoltaikanlage in das Inselnetz eingespeist wird.

Mit der Schaffung des Inselnetzes ist das Krisenzentrum jedoch noch nicht einsatzbereit. Nur mit ausreichend Treibstoff, Lebensmitteln, Feldbetten und Kommunikationsinfrastruktur wird eine autonome Versorgung möglich sein.

Richtwerte

Die Simulationen haben gezeigt, dass es möglich ist, gewisse Richtwerte zur Dimensionierung von Notstromgeneratoren festzulegen, welche in nachfolgender Tabelle 11.1 dargestellt sind.

Anlaufmethode	Min. Faktor	Empf. Faktor
Direktanlauf	3	3,5
Stern-Dreieck Anlauf	1,5	2,0
Sanftanlauf	1,2	1,5

Tabelle 11.1: Richtwerte zur Dimensionierung von Notstromgeneratoren

Mit Hilfe dieser Werte, kann die benötigte Generatorleistung, welche zum Anlauf eines Motors notwendig ist, abgeschätzt werden. Der Leistungsfaktor wurde mit $\cos \varphi = 0,8$ angenommen.

Als Beispiel soll ein Motor mit 10 kW bzw. 12,5 kVA dienen. Bei einem Direktanlauf wäre somit ein Generator mit mindestens 30 kW (37,5 kVA) nötig, bei Stern-Dreieck Anlauf mit 15 kW (18,75 kVA) und bei Sanftanlauf mit 12 kW (15 kVA). Läuft der Motor unter Vollast an, sind die Faktoren entsprechend der Grenzen (maximal zulässiger Spannungs- bzw. Frequenzeinbruch) des Motors zu erhöhen.

Conclusio

Im Rahmen dieser Arbeit sollen beispielhaft Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie sich die Gemeinde Eichkögl auf ein Blackout vorbereiten könnte. Die große Frage, ob solch ein Ereignis je eintreten wird, kann leider niemand beantworten – für den Fall der Fälle möchte und sollte man aber auf jeden Fall gerüstet sein.

12 Literaturverzeichnis

- [1] M. Elsberg, *Blackout: Morgen ist es zu spät ; Roman*, 1st ed., 2012.
- [2] Gemeinde Eichkögl, *Vortrag Blackout Vorsorge - Was können wir tun?* [Online] Link: www.eichkoegl.gv.at/einladung-zum-info-abend-blackout-stromausfall-vorsorge.html (Zuletzt geprüft am: 29.05.2020).
- [3] Neue Stadt Feldbach, *Blackout Vorsorge - Infoveranstaltungen*. [Online] Link: www.feldbach.gv.at/category/blackout-vorsorge/ (Zuletzt geprüft am: 29.05.2020).
- [4] R. Schmaranz, *Zuverlässigkeits- und sicherheitsorientierte Auslegung und Betriebsführung elektrischer Netze: Technische und organisatorische Maßnahmen unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, 2015.
- [5] T. Petermann, H. Bradke, A. Lüllmann, M. Poetzsch, and U. Riehm, *Was bei einem Blackout geschieht: Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls*, 2nd ed. Berlin: Edition Sigma, 2013.
- [6] Dr. Johannes Reichl and MMag. Michael Schmidthaler, *Blackouts in Österreich (BlackÖ.1) Teil I Endbericht*, 2011.
- [7] Herbert Saurugg, *Blackout - Was kann ICH tun?* [Online] Link: www.saurugg.net/leitfaden. (Zuletzt geprüft am: 01.04.2020).
- [8] Bundesamt für Energie, *Bericht über den Stromausfall in Italien am 28. September 2003*. Bern, 2003.
- [9] UCTE, *FINAL REPORT of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy*, 2003. [Online] Link: www.ucte.org.
- [10] Bundesnetzagentur, *Bericht über die Systemstörung im deutschen und europäischen Verbundsystem am 4. November 2006*. Bonn, 2007.
- [11] DPA, *Stromausfall in Teneriffa: Blackout nach Explosion in Umspannwerk*. [Online] Link: www.berliner-zeitung.de/politik-gesellschaft/stromausfall-in-teneriffa-blackout-nach-explosion-in-umspannwerk-li.40497 (Zuletzt geprüft am: 27.03.2020).
- [12] Johannes Bornewasser, *Stromausfall legt ganz Teneriffa lahm – Eine Zwischenbilanz*. [Online] Link: www.teneriffa-news.com/news/teneriffa/stromausfall-legt-ganz-teneriffa-lahm-eine-zwischenbilanz_12186.html (Zuletzt geprüft am: 27.03.2020).
- [13] AUSGRID, *Storm Update*. [Online] Link: twitter.com/Ausgrid/status/1199526949929934849 (Zuletzt geprüft am: 27.03.2020).
- [14] Ben Graham, *NSW is 'state of extremes' hit with storms, snow and bushfires within days*. [Online] Link: www.news.com.au/technology/environment/nsw-is-state-of-extremes-hit-with-storms-snow-and-bushfires-within-days/news-story/d5dab86134886b964158a9dbb64cf378 (Zuletzt geprüft am: 27.03.2020).

- [15] Herbert Saurugg, *Checkliste zur bestmöglichen Bewältigung eines Blackouts*. [Online] Link: www.saurugg.net/leitfaden. (Zuletzt geprüft am: 01.04.2020).
- [16] Neue Stadt Feldbach, *Blackout*. [Online] Link: www.feldbach.gv.at/blackout/ (Zuletzt geprüft am: 01.04.2020).
- [17] Österreichisches Sicherheitsforschungs - Förderprogramm KIRAS, *Regionales Energiezellen- und Krisenvorsorgekonzept am Beispielszenario „Blackout“ - Energiezelle Feldbach*. [Online] Link: www.kiras.at/geofoerderte-projekte/detail/d/energiezelle-f/ (Zuletzt geprüft am: 01.04.2020).
- [18] Österreichisches Sicherheitsforschungs - Förderprogramm KIRAS, *Blackout: Feldbach ist vorbereitet!* [Online] Link: www.feldbach.gv.at/blackout (Zuletzt geprüft am: 01.04.2020).
- [19] Zivilschutzverband Steiermark and Lokale Energieagentur - LEA GmbH, *BLACKOUT Arbeitsmappe für Gemeinden*. Accessed: Apr. 2 2020. [Online] Link: blackout.religio-x.com/.
- [20] C. Kaspar and H. Besenböck, *A1 Strategische Infrastruktur - Blackout*. [Online] Link: www.noezsv.at/noe/media/0_Dokumente/Blackout/Blackout_2013A1.pdf (Zuletzt geprüft am: 02.04.2020).
- [21] Neue Stadt Feldbach, *Blackout Vorsorge - A1 Telekom Austria*. [Online] Link: www.feldbach.gv.at/feldbach2015/wp-content/uploads2019/FB-Blackout-Vortrage-Handout-A1.pdf (Zuletzt geprüft am: 02.04.2020).
- [22] Neue Stadt Feldbach, *Blackout Vorsorge - Funkamateure Feldbach*. [Online] Link: www.feldbach.gv.at/feldbach2015/wp-content/uploads2019/FB-Blackout-Vortrage-Handout-Funkamateure.pdf (Zuletzt geprüft am: 02.04.2020).
- [23] Georg Kerber and Michael Finkel, *Abschlussbericht zum Verbundvorhaben LINDA, 2019*.
- [24] T. Petermann, H. Bradke, A. Lüllmann, M. Poetzsch, and U. Riehm, *Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften - am Beispiel eines großräumigen Ausfalls der Stromversorgung*. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Berlin, 2010.
- [25] Wasserversorgung Grenzland Süd-Ost, *Zukunftsprojekt Versorgungssicherheit des Wasserverbandes Grenzland Südost*. [Online] Link: www.wasserversorgung.at (Zuletzt geprüft am: 02.04.2020).
- [26] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK0 and Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle -Produktion (IIP)), *Krisenmanagement Stromausfall: Krisenmanagement bei einer großflächigen Unterbrechung der Stromversorgung am Beispiel Baden-Württemberg*. Kurzfassung, 2010.

- [27] Gemeindeamt Eichkögl, *Gemeinde Eichkögl*. [Online] Link: www.eichkoegl.gv.at (Zuletzt geprüft am: 24.03.2020).
- [28] Bürgermeister Ing. Heinz Konrad, Amtsleiter Wolfgang Auner, and Bauhofleiter Josef Neuhold, *Aufbau der Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Photovoltaik in Eichkögl*. Gemeindeamt Eichkögl.
- [29] *PowerFactory 2020*: DlgSilent. Accessed: Jul. 28 2020. [Online] Link: www.digsilent.de/de/home.html.
- [30] *PowerFactory 2020: Betriebsmitteltypen-Bibliothek\TypAsmo - Beschreibung*: DlgSilent. [Online] Link: www.digsilent.de/de/home.html.
- [31] Siegl, *Elektrotechnik: WV Grenzland Süd-Ost*. Anlagenschaltplan, 2010.
- [32] DlgSILENT, *PowerFactory 2020: Benutzerhandbuch*. [Online] Link: www.digsilent.de/de/home.html.
- [33] DlgSILENT, *PowerFactory: Netz\Kraftwerk_Dieselmotor\PIDGOV_Lastreg.Elmdsl*, 2020.
- [34] DlgSILENT, *PowerFactory: Netz\Kraftwerk_Dieselmotor\avr ESAC8B.Elmdsl*, 2020.
- [35] Leroy-Somer, *LSA 42.3 - Low Voltage Alternator - 4 pole: 25 to 60 kVA - 50 Hz Electrical and mechanical data*. [Online] Link: www.leroy-somer.com/epg (Zuletzt geprüft am: 29.07.2020).
- [36] *TOR Erzeuger Typ A, Maximalkapazität < 250 kW und Nennspannung < 110 kV*, 2019.
- [37] Grundfos Technischer Support, *Toleranzen der Pumpe SP17-10 beim Hochlauf*. Accessed: Sep. 15 2020. [Online] Link: www.grundfos.com.
- [38] GIS Steiermark, *Kartenmaterial und Kanalisation in der Gemeinde Eichkögl*. [Online] Link: www.gis.steiermark.at (Zuletzt geprüft am: 05.10.2020).
- [39] Schrack Technik, *Umschalter Netz-0-Not, Hutschienenbefestigung, 4-polig 25A*. IN882106. [Online] Link: www.schrack.at/shop/umschalter-netz-0-not-hutschienenbefestigung-4-polig-25a-in882106.html (Zuletzt geprüft am: 18.08.2020).
- [40] Schneider Electric, "Aufbaugeräte CEE Stecker, : 16A, 3p+E, 380-415 V AC, IP44," [Online] Link: www.conrad.at/de/p/schneider-electric-81808-81808-cee-stecker-16-a-415-v-1865483.html#productDownloads.
- [41] Arbeiterkammer Wien, *Preisvergleich Handwerker in Wien: Große Unterschiede!* [Online] Link: wien.arbeiterkammer.at/beratung/konsumentenschutz/einkaufundrecht/preisvergleich_handwerker_wien.html (Zuletzt geprüft am: 18.08.2020).
- [42] Johann Reisenhofer, *Kläranlage Fladnitz im Raabtal*. Diensthabender Klärfacharbeiter. Fladnitz im Raabtal.
- [43] Schneeberger, *Zapfwellengenerator NSG 13*. [Online] Link: schneeberger.at/serie_nsg (Zuletzt geprüft am: 19.08.2020).

- [44] Leroy-Somer, *LSA 40 VS2 - Low Voltage Alternator - 4 pole: 10 to 20 kVA - 50 Hz Electrical and mechanical data*. [Online] Link: www.leroy-somer.com/epg (Zuletzt geprüft am: 29.07.2020).
- [45] Schneeberger, *Leistungsberechner Zapfwellengenerator*. [Online] Link: schneeberger.at/konfigurator (Zuletzt geprüft am: 19.08.2020).
- [46] Abwasserverband Feldbach, *Kläranlage Fladnitz im Raabtal Broschüre*. Fladnitz im Raabtal.
- [47] Leroy-Somer, "LSA 44.3 - Low Voltage Alternator - 4 pole: 70 to 200 kVA - 50 Hz Electrical and mechanical data," 2020. [Online] Link: www.leroy-somer.com/epg.
- [48] Time and Date AS, *Wetter-Rückblick für Graz, Steiermark, Österreich*. [Online] Link: www.timeanddate.de/wetter/oesterreich/graz (Zuletzt geprüft am: 06.04.2020).
- [49] SolarEdge, *Monitoring Plattform der Gemeinde Eichkögl*. [Online] Link: monitoring.solaredge.com/ (Zuletzt geprüft am: 31.08.2020).
- [50] SolarEdge, *Application Note - SolarEdge Inverter - Alternative Power Source*, 2020. Accessed: Aug. 19 2020. [Online] Link: www.solaredge.com.
- [51] ELMAG, *Stromerzeuger 2020: Produktkatalog*. [Online] Link: www.elmag.at (Zuletzt geprüft am: 03.09.2020).
- [52] Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, *Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft*. [Online] Link: oekl.at/wp-content/uploads/gems/KLRW2012Kraftstoffverbrauch.pdf (Zuletzt geprüft am: 03.09.2020).
- [53] *Gesamte Rechtsvorschrift für Verordnung über brennbare Flüssigkeiten*. Accessed: Sep. 7 2020. [Online] Link: www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10007156.
- [54] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, "Neue Erkenntnisse zur Lagerfähigkeit von Brennstoffen für Netzersatzanlagen," Januar 2015. [Online] Link: www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Sicherheitsberatung/Lagerfaehigkeit_Brennstoff_NEA/Lagerfaehigkeit_Brennstoff_NEA.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- [55] Wagner, *FuelMaster®-Diesel-Tankanlage aus PE, 2500l, doppelwandig, mit digitalem Zählwerk K600, zur Innen- oder Außenaufstellung*. [Online] Link: www.wagner-haltern.de/Umwelttechnik/Tankanlagen/Doppelwandige-Diesel-Tankanlagen/FuelMaster-Diesel-Tankanlage-aus-PE-1200l-2500l-5000l-oder-9000l-doppelwandig-mit-Zaehlwerk-zur-Innen-oder-Aussenaufstellung.html (Zuletzt geprüft am: 07.09.2020).
- [56] Schrack Technik, *Umschalter Netz-0-Not, Hutschienenbefestigung, 4-polig 32A. IN882107*. [Online] Link: www.schrack.at/shop/steuer-regeltechnik-relais-schalterschuetze-zaehler-netzgeraete/haupt-not-aus-und-reparaturschalter/serie-kn-hauptschalter/serie-kn-umschalter-reiheneinbau-ip40/umschalter-netz-0-not-hutschienenbefestigung-4-polig-32a-in882107.html (Zuletzt geprüft am: 23.09.2020).

- [57] Schneider Electric, *WandgeräteCEE Stecker: 32A, 3p+N+E, 380-415 V AC, wall*.
[Online] Link: www.conrad.at/de/p/schneider-electric-pke32w435-pke32w435-cee-wandstecker-32-a-415-v-1865848.html<https://www.conrad.at/de/p/schneider-electric-81808-81808-cee-stecker-16-a-415-v-1865483.html#productDownloads> (Zuletzt geprüft am: 23.09.2020).
- [58] GIS Steiermark, *Kartenmaterial Eichkögl*. [Online] Link: www.gis.steiermark.at (Zuletzt geprüft am: 23.09.2020).
- [59] Dr. Johannes Reichl and MMag. Michael Schmiedthaler, *Blackouts in Österreich – Bewertung der Versorgungssicherheit mit elektrischer Energie: Teil I Endbericht*.
- [60] Kevin Raidl BSc, "Regionales Blackoutmanagement mit zentraler Versorgungsstrategie," Masterarbeit, Elektrische Anlagen und Netze, Technische Universität Graz, Graz, 2020.