

Weiterentwicklung eines Asynchronmaschinenmodells zur transienten Simulation von Pumpenanlagen

Christoph J. Steinhart¹⁽¹⁾, Michael Fischer¹⁽¹⁾, Ben Ludwig¹⁽¹⁾, Michael Finkel¹⁽¹⁾,
Michael Gratza¹⁽²⁾, Rolf Witzmann²⁽²⁾

⁽¹⁾ Hochschule Augsburg, An der Hochschule 1, 86161 Augsburg, Deutschland,
Tel.: +49 821 4486-3362, christoph.steinhart@hs-augsburg.de, www.hs-augsburg.de

⁽²⁾ TU München, Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze,

Arcisstraße 21, 80333 München, Deutschland,

Tel.: +49 89 289-22017, michael.gratza@tum.de, www.een.ei.tum.de

Kurzfassung: Im Zuge des Forschungsprojekts LINDA (Lokale Inselnetzversorgung und beschleunigter Netzwiederaufbau mit dezentralen Erzeugungsanlagen bei großflächigen Stromausfällen) wird mit Hilfe von Feldversuchen der Aufbau und stabile Betrieb von Inselnetzen untersucht. Bei den Feldtests wird unter anderem eine Wasserversorgungsanlage als Last versorgt. Der Anlauf leistungsstarker Pumpen stellt dabei eine große Herausforderung für die Stabilität des Inselnetzes dar. Deshalb wurde ein transientes Simulationsmodell für die Anlage entwickelt, um Abschätzungen für die Feldversuche treffen zu können. Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird die Struktur des zusammengesetzten Pumpenmodells und der Einfluss der einzelnen Komponenten auf das elektrische Gesamtverhalten erklärt. Für den Vergleich zwischen Simulation und Realität werden die Simulationsergebnisse den Messergebnissen aus den Feldversuchen gegenübergestellt. Weiterhin wird gezeigt, wie durch Optimierung einzelner Komponenten Netzrückwirkungen reduziert werden können.

Keywords: Transientes Simulationsmodell, Feldversuche, Zusammengesetztes Asynchronmaschinenmodell, Pumpenmodell, Schleifringläufer, zusätzlicher Anlaufwiderstand, Käfigläufer, Sanftstarter, Pumpen-Charakteristik, Druckschiebermodell

1 Einführung

Durch die zunehmende Abhängigkeit moderner Gesellschaften von elektrischer Energie in nahezu allen Lebensbereichen ist eine zuverlässige Versorgung essentiell. Die Analysen des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag zeigen, dass ein langanhaltender und großflächiger Stromausfall einer Katastrophe nahekommen würde. [1]

Deshalb wird im Forschungsprojekt LINDA (Lokale Inselnetzversorgung und beschleunigter Netzwiederaufbau mit dezentralen Erzeugungsanlagen bei großflächigen Stromausfällen) ein Konzept entwickelt, welches den Aufbau und stabilen Betrieb von Inselnetzen mit Hilfe dezentraler Erzeugungsanlagen ermöglicht. Dadurch kann im Fall einer Großstörung das

¹ Jungautor

Versorgungsniveau für kritische Infrastruktur erhöht und der volkswirtschaftliche Schaden minimiert werden. [2]

Die Methodik des Forschungsprojekts LINDA basiert auf gestaffelten Feldtests in einem realen süddeutschen Netzgebiet und der Abbildung dieses Netzes in einem transienten Simulationsmodell, welches unter Verwendung von Messdaten aus den Feldversuchen validiert und optimiert wird. Mithilfe der Feldtests kann die Fähigkeit des Konzepts in der Praxis belegt werden. Die transiente Simulation erlaubt sowohl Abschätzungen für die Feldtests als auch die Übertragung der Erkenntnisse auf andere Erzeugungs- und Lastkonstellationen.

In den Feldversuchen von LINDA wird eine Trinkwasserversorgungsanlage, welche ein Beispiel für eine kritische Infrastruktur darstellt, im Inselnetz betrieben. Wasserinfrastruktursysteme sind komplexe technische Systeme und basieren häufig auf Pumpenanlagen, was sie von der Versorgung mit elektrischer Energie abhängig macht [1].

Um den Einfluss unterschiedlicher Komponenten auf das elektrische Gesamtverhalten untersuchen zu können wurde ein dynamisches Simulationsmodell der Trinkwasserversorgungsanlage erstellt.

2 Übersichtsschaltbild Trinkwasserversorgungsanlage

Das elektrische Verhalten des Versorgungssystems wird vorwiegend durch 9 Brunnenpumpen und 5 Hauptpumpen (M_1 - M_5) bestimmt. Die Brunnenpumpenanlagen sind realitätsnah über Asynchronmaschinenmodelle mit Stern-Dreieck-Anlauf nachgebildet. Bei den nachfolgenden Betrachtungen liegt der Fokus jedoch auf den leistungsstarken Hauptpumpenanlagen, da deren Anlauf im Inselnetz eine große Herausforderung für die Frequenz- und Spannungshaltung darstellt. Der strukturelle Aufbau der Trinkwasserversorgungsanlage ist in Abbildung 1 dargestellt.

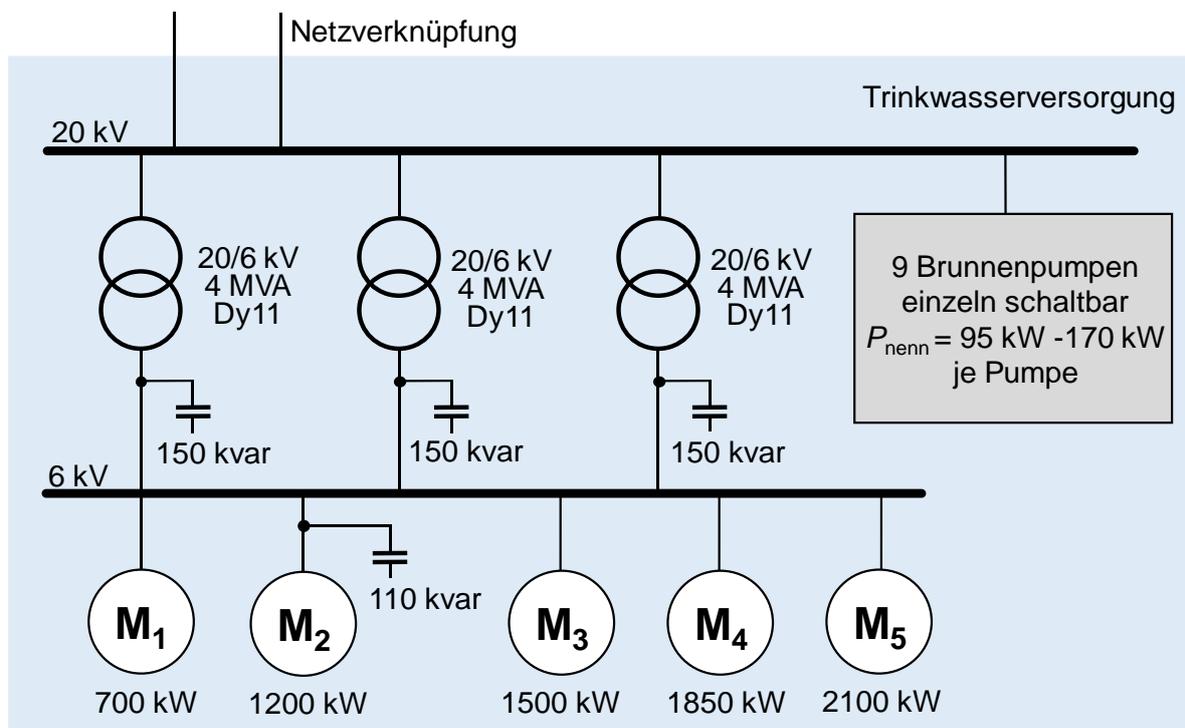


Abbildung 1: Aufbau der Trinkwasserversorgungsanlage

Während der Hochlaufphase nehmen unterschiedliche Komponenten Einfluss auf das elektrische Verhalten der Hauptpumpenanlagen. Deshalb wurden zusammengesetzte Pumpenmodelle entwickelt, um eine realitätsnahe Simulation zu ermöglichen. Der Aufbau dieser Modelle wird im nächsten Kapitel detailliert erläutert.

3 Aufbau der Pumpenmodelle

Die fünf Hauptpumpenanlagen lassen sich aufgrund ihres Maschinentyps und des dazugehörigen Anlaufverhaltens in zwei Gruppen unterteilen:

Tabelle 1: Maschinentyp und Anlaufmethode der Hauptpumpen

Pumpe	Motor	Anlaufmethode
M₁, M₂	Schleifringläufer	Zusätzlicher Läuferwiderstand
M₃, M₄, M₅	Käfigläufer	Sanftstarter

Neben der Anlagendokumentation und Typenschildern, wurden hochauflösende Messungen des Anfahrverhaltens am starren Netz zum Aufbau und der Parametrierung des Pumpenmodells herangezogen. Im Folgenden wird genauer auf die strukturellen Zusammenhänge und Einflüsse der Einzelkomponenten beider zusammengesetzter Pumpenmodelle eingegangen.

3.1 Pumpenmodell mit Schleifringläufern

Die beiden Schleifringläufer M_1 und M_2 treiben zwei Pumpenanlagen an, welche die gleiche Grundstruktur besitzen. Der Unterschied liegt in der Nennleistung der Asynchronmaschinen (ASM) von 700 kW bei M_1 und 1200 kW bei M_2 . Abbildung 2 zeigt den strukturellen Aufbau des Simulationsmodells der Hauptpumpen M_1 und M_2 . Das Modell besteht aus vier Hauptkomponenten welche maßgeblichen Einfluss auf das elektrische Hochlaufverhalten der Maschine haben. Hierzu gehört das Schleifringläufermodell und ein zusätzlicher Läuferwiderstand zur Begrenzung des Anlaufstromes. Diese beiden Komponenten ergeben ein zusammengesetztes Asynchronmaschinenmodell. Die weiteren Hauptkomponenten sind die Pumpe als Arbeitsmaschine, welche eine Drehzahl-Drehmoment Charakteristik besitzt und das Schiebermodell, das den Einfluss der Druckschieberöffnung nachbildet.

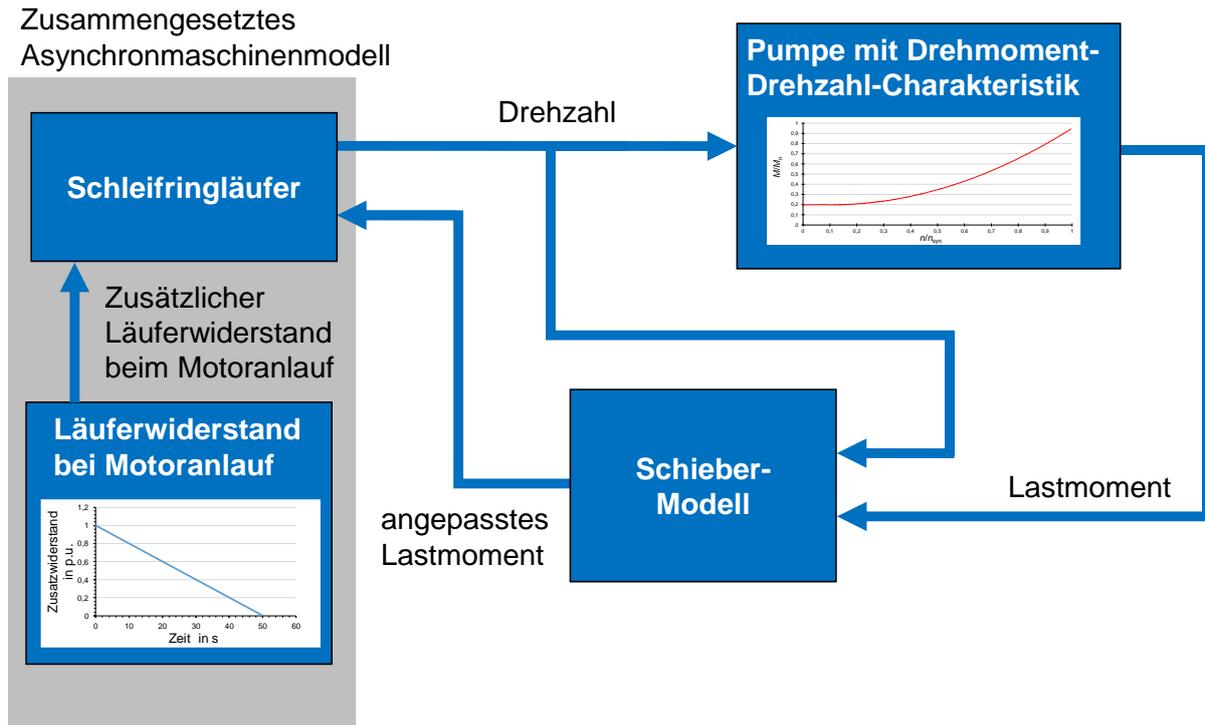


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Pumpenmodells mit Schleifringläufer

Der Pumpenmotor ist ein netzgekoppelter Schleifringläufer. Für die Simulation wurde ein Einfachkäfigläufermodell verwendet, das einen schlupfabhängigen Rotorwiderstand beinhaltet. Dieses Maschinenmodell ist vor allem für die Nachbildung von Schleifringläufern geeignet. Dies gilt sowohl für den Hochfahrvorgang als auch den stationären Zustand. [3] In Abbildung 3 ist das Ersatzschaltbild dargestellt, welches als Berechnungsgrundlage für die ASM dient.

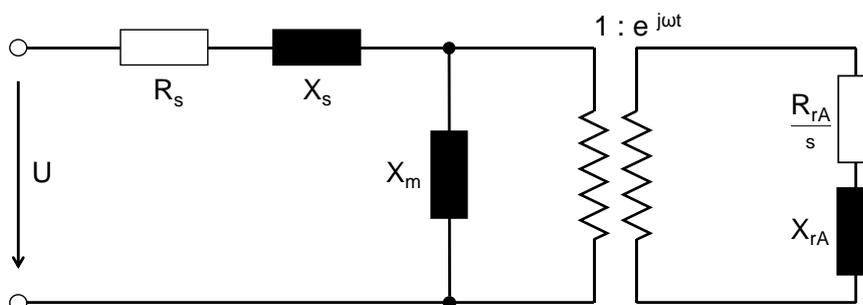


Abbildung 3: Asynchronmaschine mit Einzelkäfigmodell [3]

Bei diesen Schleifringläufern wird zur Anlaufstrombegrenzung jeweils ein zusätzlicher Läuferwiderstand eingesetzt. Es handelt sich hierbei um eine Elektrode, die in Elektrolytflüssigkeit getaucht wird. Dieser zusätzliche Widerstand ist über die Schleifringe mit dem Rotor verbunden. Während des Anfahrvorgangs werden die Elektroden mit einer vordefinierten Geschwindigkeit eingefahren, was zu einer stetigen Reduktion des Zusatzwiderstandes führt. Nachdem die Elektroden vollständig eingefahren sind und die Maschine Nenndrehzahl erreicht hat, wird der Läuferwiderstand kurzgeschlossen und anschließend die Schleifringe abgehoben. Im Simulationsmodell ist für den zusätzlichen Läuferwiderstand eine zeitabhängige Kennlinie hinterlegt, welche auf Basis von Messwerten des Anfahrvorganges am starren Netz empirisch ermittelt wurde.

der Maschine korrekt nachbilden zu können. Der im Vergleich zum Einfachkäfigläufer zusätzlich eingeführte R-L Zweig wird für die Nachbildung der Streureaktanzen verwendet. Diese dominieren das Verhalten beim Motorstart und verlieren mit steigender Drehzahl an Einfluss. [5]

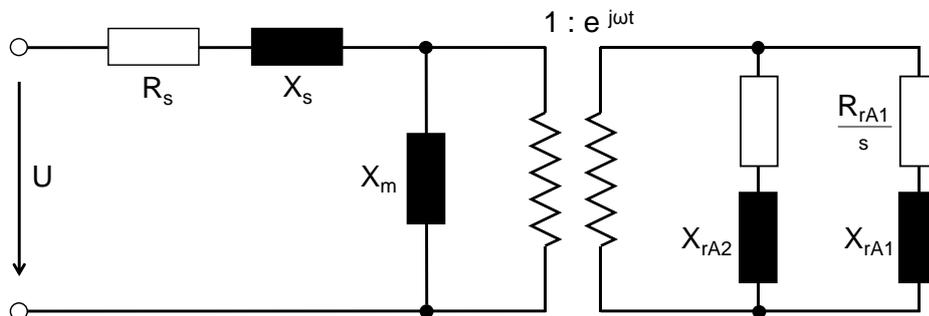


Abbildung 5: Käfigläufermodell mit Berücksichtigung der Stromverdrängung [3]

Zur Anlaufstrombegrenzung wird ein Sanftstarter eingesetzt. Dieser reduziert die Startspannung während des Motorhochlaufs mithilfe von antiparallelen Thyristoren. Die Startspannung wird während der Anlaufphase bis zur Nennspannung gesteigert. Das Verhalten kann sowohl in der Simulation als auch in der Realität über die Anpassung der Thyristorzündwinkel beeinflusst werden. Dieser Einfluss ist in Abbildung 13 dargestellt. Nach der Hochlaufphase wird der Sanftstarter abgeschaltet und beeinflusst das Maschinenverhalten nicht weiter.

Die Nachbildung des Druckschiebers erfolgt analog zu den Schleifringläufern, wobei die Schieberöffnung bereits bei ca. 60 % der Nenndrehzahl beginnt.

Das korrekte Zusammenwirken der Teilmodelle ist die Basis für eine realitätsnahe Nachbildung des dynamischen Hochlaufvorganges im Simulationsmodell. In Kapitel 4 werden die Simulationsergebnisse mit Messergebnissen verglichen und somit das Modell validiert.

4 Verifikation und Test des Simulationsmodells

Das transiente Simulationsmodell, welches im Rahmen des LINDA-Projekts erstellt wurde, ermöglicht es den Motorhochlauf am starren Netz und im Inselnetz nachzubilden. Der für die folgenden Untersuchungen relevante Teil des Netzgebietes ist schematisch in Abbildung 6 dargestellt.

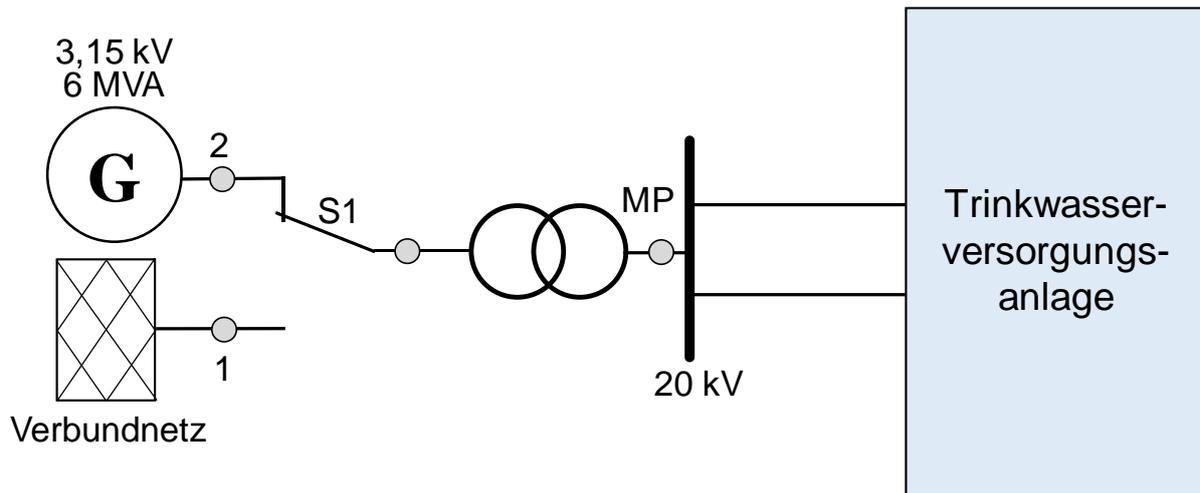


Abbildung 6: Schematischer Aufbau des Inselnetzes

Für die in Kapitel 4.1 beschriebene Validierung des Hochlaufverhaltens am starren Netz ist der Schalter S1 in Position 1. Für die Inselnetzsimulationen in Kapitel 4.2 wechselt die Schalterposition auf 2. In diesem Fall wird das Inselnetz durch ein Wasserkraftwerk versorgt.

4.1 Vergleich zwischen Simulation und Messung am starren Netz

Um das Simulationsmodell aus Kapitel 3 zu verifizieren, werden in diesem Kapitel Messergebnisse des Pumpenhochlaufs am starren Netz mit den Simulationsergebnissen verglichen. Für die beiden Motorentypen wird beispielhaft jeweils ein Hochlaufvorgang näher analysiert.

4.1.1 Verifikation der Schleifringläufer

In Abbildung 7 ist der Hochlaufvorgang der Pumpe M_2 am starren Netz dargestellt. Hierbei werden die gemessenen und simulierten Verläufe von Wirk- und Blindleistung gegenübergestellt.

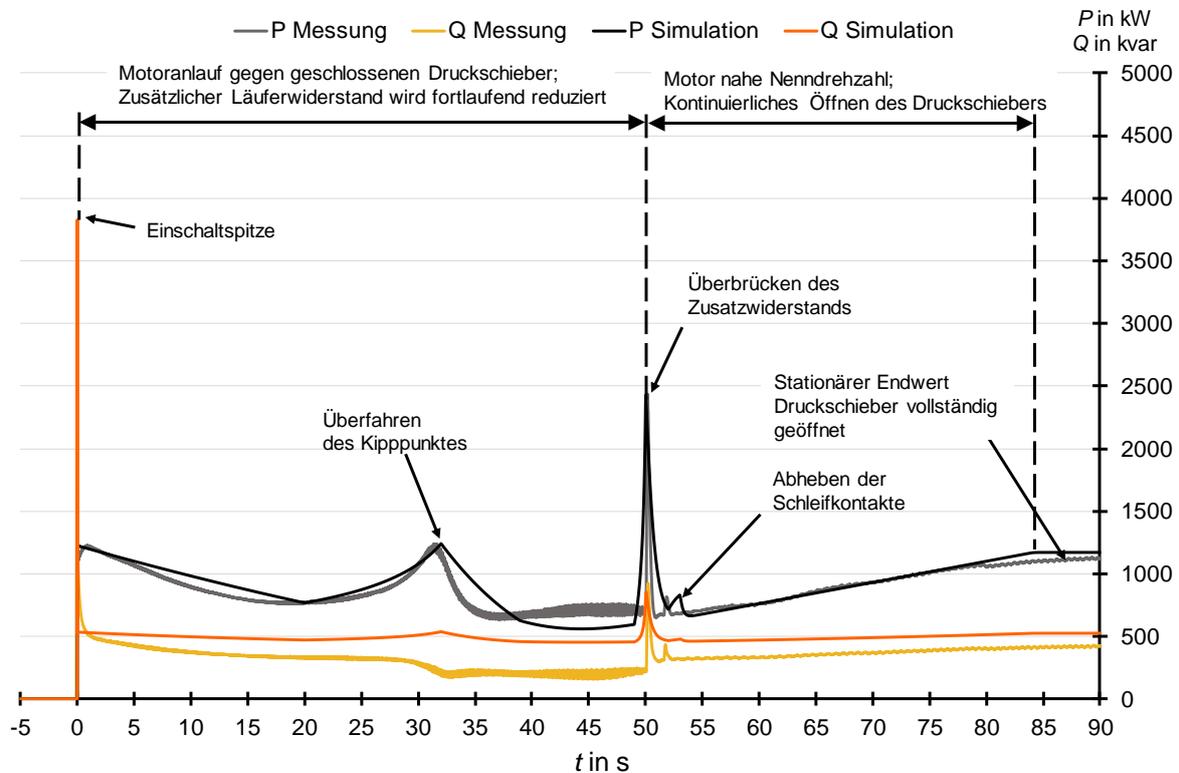


Abbildung 7: Pumpe M_2 am starren Netz – Vergleich Simulation und Messung

Der Anlaufvorgang von M_2 startet mit der Zuschaltspitze. Zu dieser Zeit ist der Druckschieber vollkommen geschlossen, um die Belastung der Maschine zu minimieren. Zum Zuschaltzeitpunkt ist der zusätzliche Läuferwiderstand maximal und wird bis die Motornenn Drehzahl nach ca. 50 Sekunden erreicht ist kontinuierlich reduziert. Anschließend wird der Zusatzwiderstand kurzgeschlossen und die Schleifkontakte abgehoben. Beim Erreichen einer Drehzahl von ca. 95 % der Nenn Drehzahl, beginnt ein kontinuierlicher Öffnungsvorgang des Druckschiebers, bis zur vollständigen Öffnung nach ca. 85 Sekunden. Danach stellt sich der stationäre Endwert ein und der Startvorgang der Maschine ist abgeschlossen. Der Vergleich aus Simulations- und Messwerten zeigt, dass der Hochlaufvorgang der Maschinen am starren Netz valide nachgebildet wurde. Beim Blindleistungsverlauf besteht noch ein gewisses Optimierungspotential, da hier noch ein geringer Offset zwischen den Messungen und den Simulationen besteht. Kritische Zeitpunkte, wie z.B. während der Überbrückung des Zusatzwiderstands sind hingegen gut nachgebildet.

4.1.2 Verifikation der Käfigläufer

In Abbildung 8 werden die Simulationsergebnisse den Messaufzeichnungen des Hochlaufvorganges von M_3 am starren Netz gegenübergestellt. Hier wird das grundlegend abweichende elektrische Verhalten des Käfigläufers mit Sanftanlauf im Vergleich zum Schleifringläufer aus Abbildung 7 deutlich.

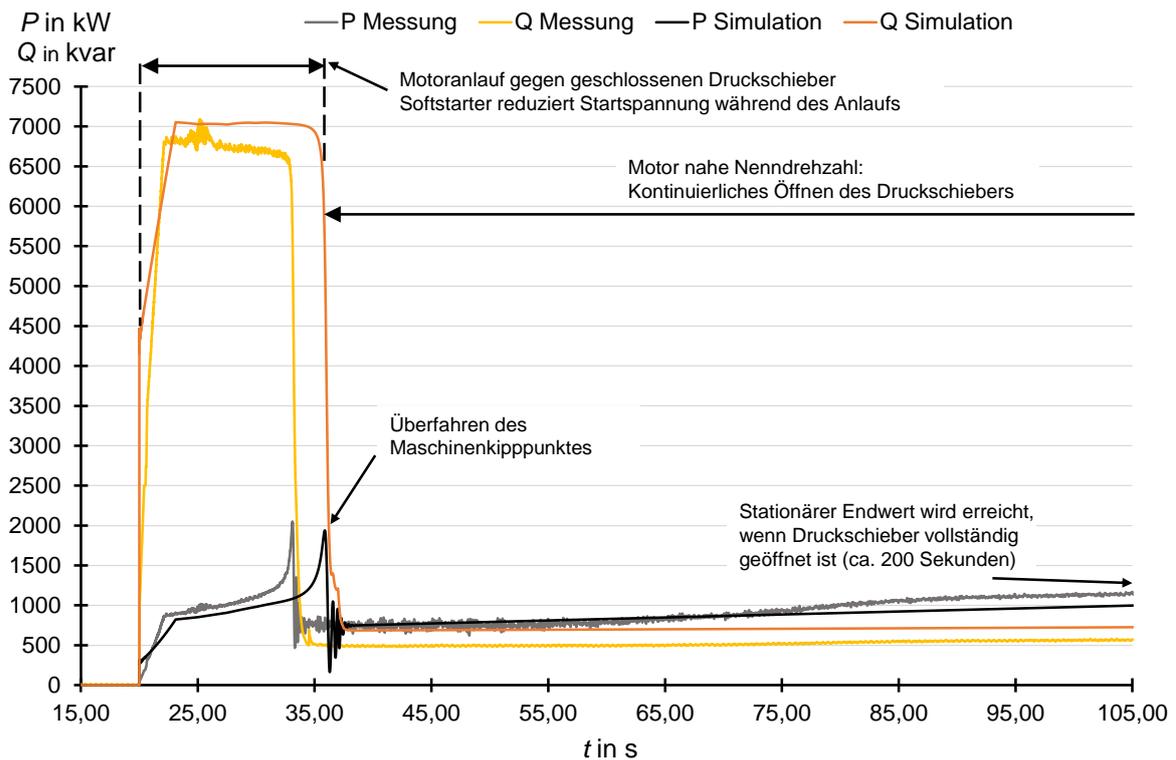


Abbildung 8: Pumpe M_3 Hochlauf am starren Netz – Vergleich Simulation und Messung

Der Anfahrvorgang beginnt bei ca. 17,5 Sekunden und wird von einem hohen Blindleistungsbezug maßgeblich charakterisiert. Der Blindleistungsbezug steigt schnell auf ca. 7000 kvar an und bleibt dann nahezu konstant. Dieses Verhalten ist auf die Strombegrenzung durch den Sanftstarter zurückzuführen. Erreicht die Maschine ihren Kippunkt, sinkt der Blindleistungsbedarf näherungsweise auf Nennwert und der Sanftanlauf wird deaktiviert.

Der Wirkleistungsbedarf der Maschine steigt innerhalb der ersten Sekunden linear, bis eine Begrenzung durch den Sanftstarter erfolgt. Nach Erreichen der Strombegrenzung bei ca. 2 Sekunden steigt der Wirkleistungsbedarf langsam weiter an, bis der Kippunkt der Maschine erreicht wird. Die Maschine hat jetzt näherungsweise ihre Nenndrehzahl erreicht. Es beginnt die kontinuierliche Öffnung des Druckschiebers bis die Nennleistung nach ca. 200 Sekunden erreicht wird.

Der qualitative Leistungsverlauf des Simulationsmodells zeigt eine große Übereinstimmung mit den Messwerten am starren Netz. Zu erwähnen ist jedoch der Zeitversatz von etwa 3 Sekunden zwischen Simulation und Realität bei Überfahren des Kippunktes. Dies ist durch die Annäherung der Sanftstarter-Parameter auf Basis vom Messdaten zurückzuführen. Die tatsächliche Übertragungsfunktion des Regelkreises ist nicht bekannt. Für die Inselnetzsimulationen sind jedoch hauptsächlich die Beträge der Leistungssprünge relevant. Der geringe Zeitversatz ist von untergeordneter Rolle.

Im nächsten Kapitel wird die Eignung der Modelle für die Nachbildung des Inselnetzbetriebes untersucht.

4.2 Vergleich zwischen Simulation und Messung im Inselnetz

Die Messdaten stammen aus einem Feldversuch des LINDA-Projekts, bei dem die Trinkwasserversorgungsanlage durch ein Wasserkraftwerk im Inselnetz versorgt wurde. Für die Untersuchung wechselt der Schaltzustand des Schalters S1 aus Abbildung 6 in Position 2. Für die Simulation wird daher im Rahmen des LINDA-Projekts neben dem Pumpenmodell auch ein Wasserkraftwerksmodell entwickelt. Der Vergleich zwischen gemessener und simulierter Frequenz zeigt, dass das Kraftwerksverhalten hinreichend genau nachgebildet wurde.

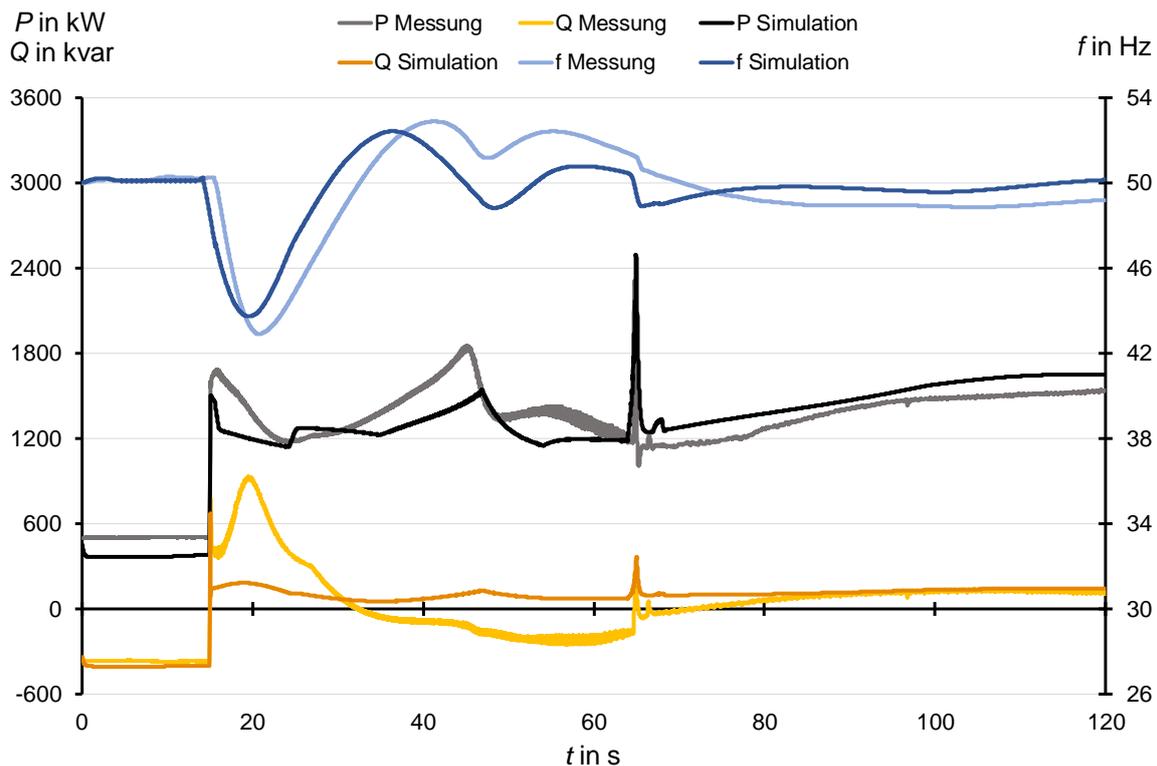


Abbildung 9 : Pumpe M_2 Hochlauf im Inselnetz – Vergleich Simulation und Messung

In Abbildung 9 ist das elektrische Anfahrverhalten von M_2 im Inselnetz dargestellt. Die hierbei hervorgerufenen Lastsprünge führen zu deutlichen Frequenzschwankungen. Diese haben Auswirkungen auf den Wirk- und Blindleistungsbedarf der Maschine. Der Wirkleistungsbedarf der Maschine im Inselnetz konnte näherungsweise nachgebildet werden. Dagegen ist die Frequenzabhängigkeit des Blindleistungsbedarfes in der Messung deutlich ausgeprägter als in der Simulation. Hier sind weitere Modelloptimierungen geplant. Die kritischen Blindleistungsspitzen bei Zuschaltung und Einfahren des Kurzschlusses am zusätzlichen Läuferwiderstand sowie der stationäre Endwert der Blindleistung werden mit dem Simulationsmodell jedoch bereits valide nachgebildet.

Es zeigt sich also, dass bei Inselnetzsimulationen die Frequenzabhängigkeit der Last berücksichtigt werden muss. Bibliotheksmodelle bilden dies offensichtlich nicht in hinreichender Güte nach.

5 Einfluss von Einzelkomponenten auf das elektrische Verhalten

In diesem Kapitel wird der Einfluss des Druckschiebers und der Parametrierung des Sanftanlaufs auf das elektrische Gesamtverhalten der Pumpenanlage bei Motorhochlauf näher untersucht.

5.1 Einfluss des Druckschiebers auf das elektrische Gesamtverhalten der Pumpenanlagen mit Schleifringläufern

Um den Einfluss des Druckschiebers auf das elektrische Gesamtverhalten der Pumpenanlagen mit Schleifringläufern zu bestimmen, werden Vergleichssimulationen des Anfahrens gegen geschlossenen und geöffneten Druckschieber durchgeführt. Analog zu Kapitel 4.1 bleibt beim Anfahren gegen geschlossenen Schieber der Druckschieber geschlossen bis annähernd Nenndrehzahl erreicht ist und wird anschließend langsam geöffnet. In den folgenden Diagrammen und Beschreibungen wird dieser Vorgang als Variante 1 bezeichnet. Bei Variante 2 ist dagegen der Druckschieber von Beginn an komplett geöffnet. In Abbildung 10 sind die Einflüsse der beiden Varianten auf den Wirkleistungsbedarf und die resultierenden Auswirkungen auf die Frequenzstabilität dargestellt. Der für die Darstellung der Simulationsergebnisse verwendete Messpunkt befindet sich an der 20 kV-Sammelschiene des Wasserkraftwerks.

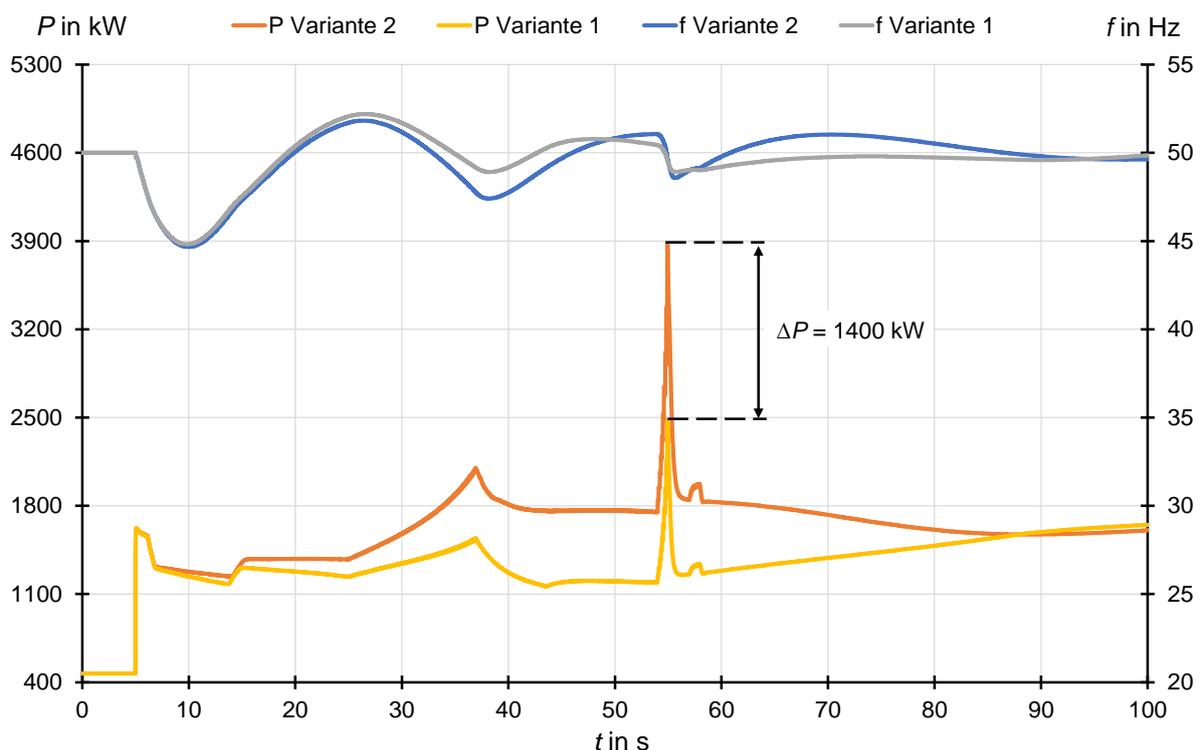


Abbildung 10: Einfluss des Druckschiebers auf den Wirkleistungsbezug von M_2

Zu Beginn des Anfahrvorgangs ist der Wirkleistungsbezug bei beiden Varianten annähernd identisch. Der Leistungsbedarf ist bei geöffnetem Schieber mit zunehmender Drehzahl höher als bei einem Motorhochlauf gegen geschlossenen Schieber. Die Wirkleistungsdifferenz beim Überfahren des Kippunktes beträgt ca. 500 kW. Die größte Wirkleistungsdifferenz von ca. 1400 kW ergibt sich bei Überbrückung des Zusatzwiderstandes nach ca. 55 Sekunden.

Die maximale Frequenzabweichung ist bei beiden Varianten annähernd gleich, da hierfür der erste Lastsprung verantwortlich ist. Nach der ersten Auslenkung zeigt der Frequenzverlauf in der Variante mit geöffnetem Druckschieber ein größeres Schwingverhalten. Folglich dauert es auch länger, bis das System wieder eingeschwungen ist. Das Anfahren gegen geschlossenen Schieber reduziert die Wirkleistungsmaxima während des Hochlaufvorganges. Daraus resultiert ein gedämpfter Frequenzverlauf im Vergleich zu vorheriger Variante. Da die maximale Frequenzabweichung eine Folge der Zuschaltung der Pumpe ist und hier in beiden Varianten der Wirkleistungsbezug identisch ist, hat die Schieberöffnung auf diese Größe keinen Einfluss. Für Maßnahmen zur Reduktion der maximalen Frequenzabweichung im Inselnetz wird auf [6] verwiesen.

Neben dem Wirkleistungsbezug nimmt der Druckschieber auch Einfluss auf den Blindleistungsbezug der Pumpenanlage und damit einhergehend die Inselnetzspannung. Zur Validierung der Spannungsregelung im Kraftwerksmodell wird der simulierte dem im Feldversuch gemessenen Spannungsverlauf gegenübergestellt.

Abbildung 11 zeigt den Verlauf der simulierten und gemessenen Spannung beim Anlauf von M_1 im Inselnetz. Es gibt gewisse Abweichungen zwischen Simulation und Messung, das grundsätzliche Verhalten ist jedoch hinreichend genau nachgebildet. Der Zeitversatz beim zweiten tiefen Spannungseinbruch resultiert aus einem Zeitversatz zwischen Simulation und Messung des Lastmodells beim Überfahren des Kippunktes.

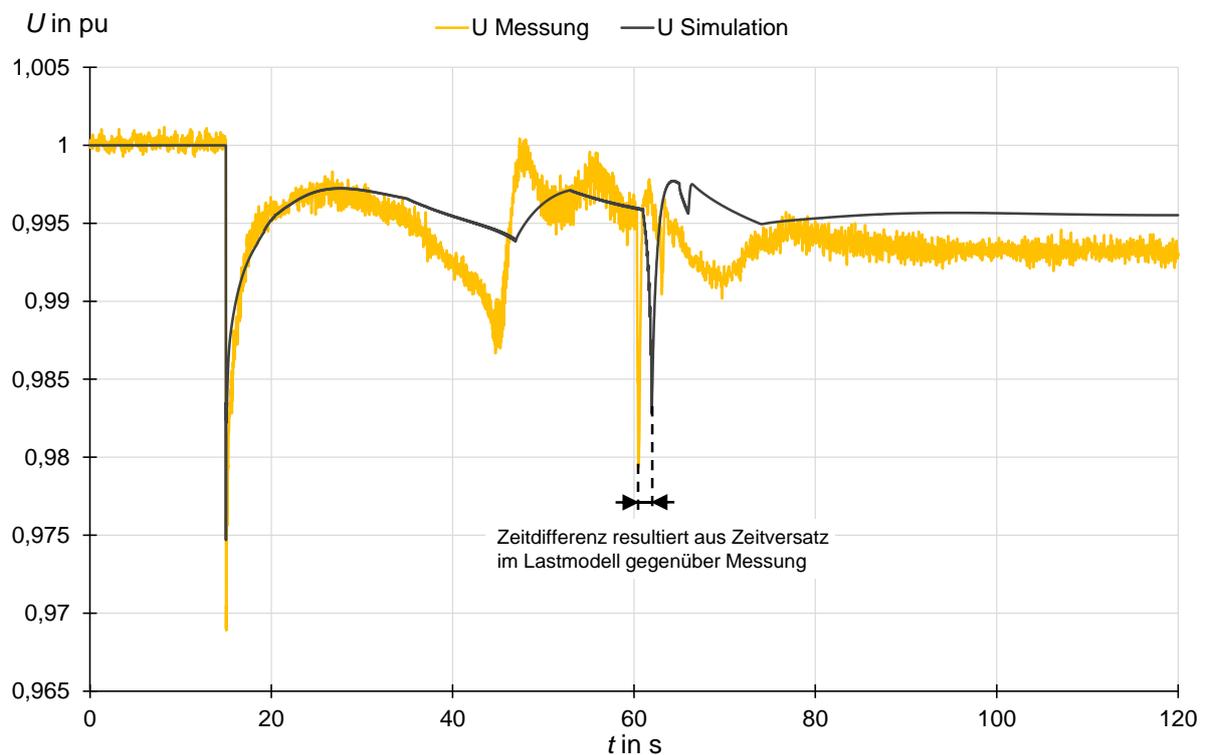


Abbildung 11: Spannungsverlauf beim Hochfahren von M_1 im Inselnetz

In Abbildung 12 wird der Blindleistungsbezug bei offenem Druckschieber (Variante 2) dem Blindleistungsbezug im Normalbetrieb (Variante 1) gegenüber gestellt. Auch hier ergeben sich zum Einschaltzeitpunkt kaum Unterschiede zwischen den beiden Varianten. Mit steigender Drehzahl erhöht sich der Blindleistungsbedarf bei geschlossenem Druckschieber im Vergleich zum Normalbetrieb. Besonders kritisch ist die Blindleistungsspitze, hervorgerufen durch das Einfahren des Kurzschlusses am zusätzlichen Rotorwiderstand des Schleifringläufers, nach ca. 55 Sekunden. Hier ist der Blindleistungsbedarf bei geöffnetem Druckschieber in etwa um Faktor 3 höher. Dies resultiert in einem ca. 4 % stärkeren Spannungseinbruch.

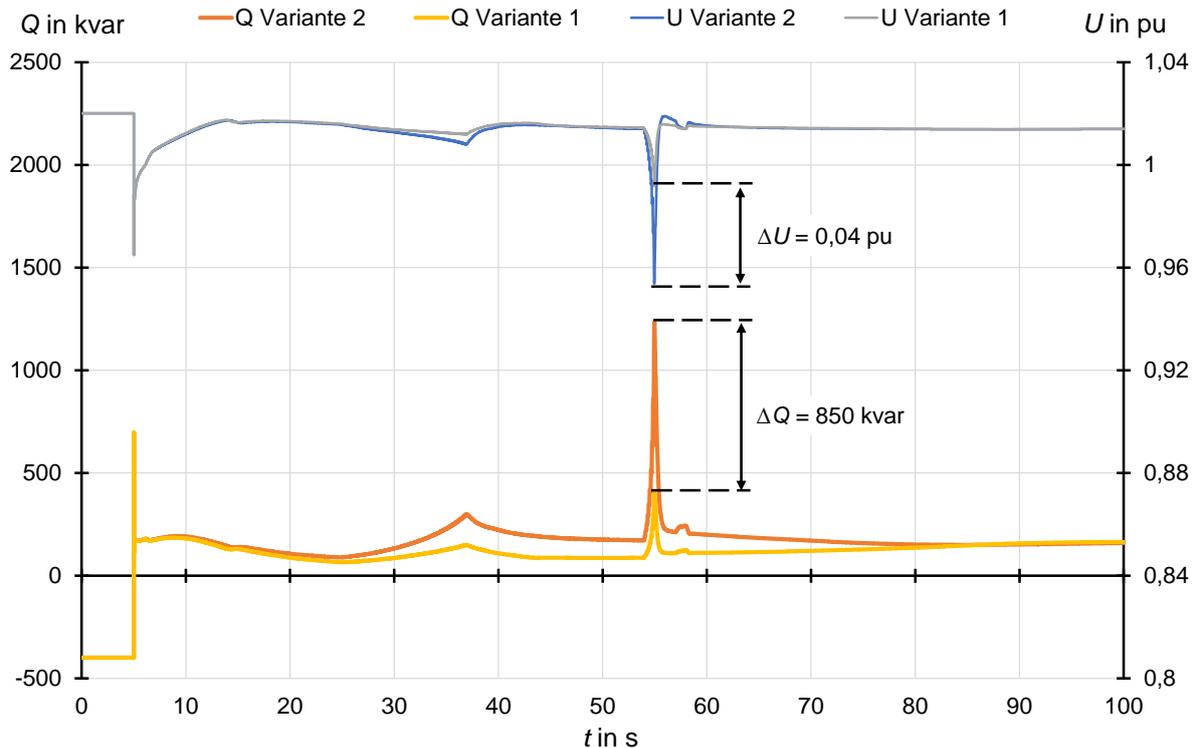


Abbildung 12: Einfluss des Druckschiebers auf den Blindleistungsbezug von M_2

Der Vergleich des Anfahrens der Pumpenanlage nach Variante 1 und 2 zeigt, dass bei geöffnetem Druckschieber deutlich stärkere Netzurückwirkungen auftreten. Dies gilt insbesondere für die Spannung im Inselnetzbetrieb. Das Anfahren gegen geschlossenen Druckschieber ist also eine sinnvolle Maßnahme, um Netzurückwirkungen beim Motorhochlauf von Pumpenanlagen zu reduzieren.

5.2 Einfluss der Parametrierung des Sanftstarters auf das elektrische Gesamtverhalten der Pumpenanlagen mit Kurzschlussläufer

Die Pumpensysteme mit Kurzschlussläufer (M_3 - M_5) haben während der Hochlaufphase einen hohen Blindleistungsbezug. Mithilfe des Sanftstarters kann Einfluss auf den Blindleistungsbezug des Motors genommen werden. Da aufgrund der reduzierten Kurzschlussleistung die Spannungshaltung im Inselnetz eine große Herausforderung ist, wird im Folgenden untersucht, ob durch eine optimierte Parametrierung des Sanftstarters Netzurückwirkungen reduziert werden können.

In Abbildung 13 sind die Verläufe von Thyristorzündwinkel und Startspannung während der Anlaufphase der Pumpe 3 dargestellt. Der Parametersatz 1 bildet dabei das aktuelle tatsächliche Maschinenverhalten ab, welches in den vorangegangenen Untersuchungen aufgezeigt wurde. Der Parametersatz 2 wurde für den Inselnetzbetrieb optimiert.

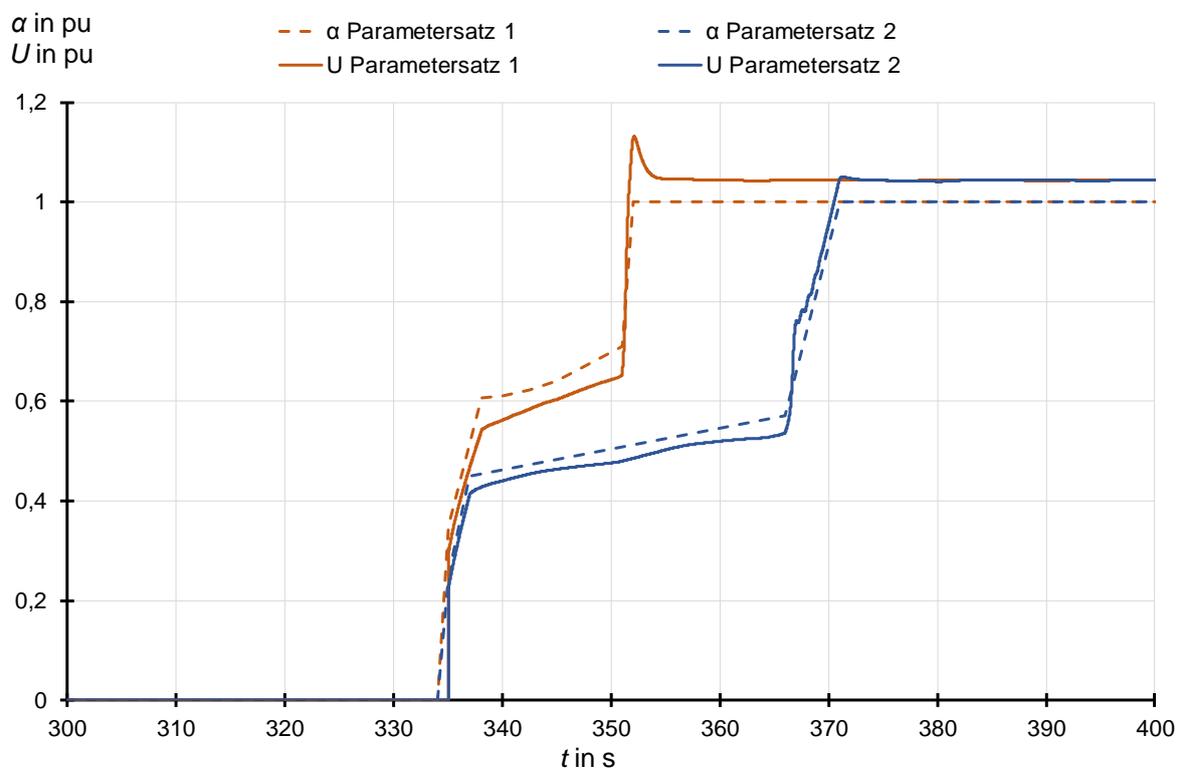


Abbildung 13: Thyristorzündwinkel und daraus resultierende Startspannung während des Motoranlaufs

Durch die Änderung der Zündwinkel der Thyristoren wird die Startspannung beim Motoranlauf reduziert. Dies hat einen Einfluss auf den Blindleistungsbedarf beim Motoranlauf. In Abbildung 14 ist dargestellt, wie durch einen optimierten Parametersatz der maximale Blindleistungsbedarf reduziert werden kann. Die Reduktion des maximalen Blindleistungsbedarfs führt auch zu einer Reduktion des maximalen Blindleistungssprunges. Dadurch werden deutliche Verbesserungen bei der Spannungshaltung erreicht.

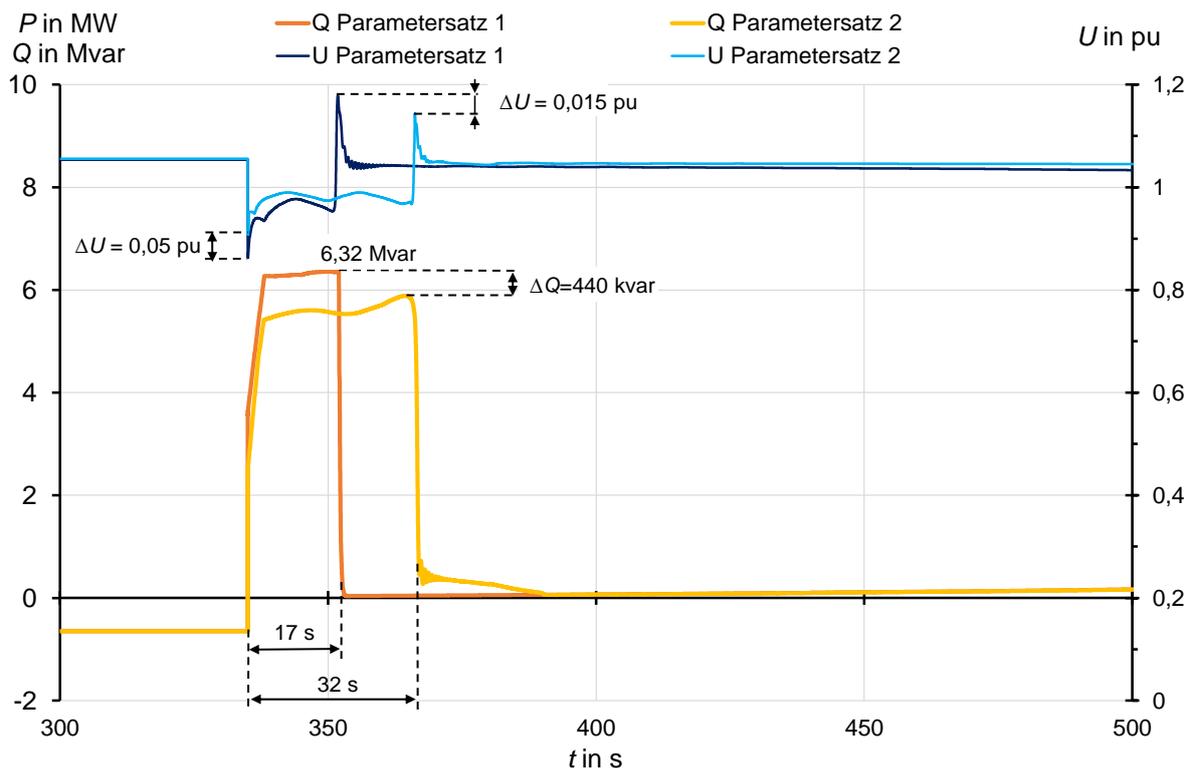


Abbildung 14: Einfluss der Softstartereinstellung auf die Inselnetzspannung

Durch den optimierten Parametersatz wird die Zeit bis zum Erreichen des Kipppunktes um ca. 15 Sekunden verlängert. Dies ist für die Optimierung bei der Spannungshaltung tolerierbar. Generell ist bei der Parametrierung darauf zu achten, dass die Startspannung nur soweit abgesenkt werden darf, dass der Kipppunkt noch sicher überfahren werden kann.

Das individuelle Verhalten verschiedener Maschinen ist stark abhängig vom Maschinentyp. Mittels individueller optimierter Parametersätze für den Sanftstarter ist es möglich Netzzrückwirkungen zu minimieren. Insbesondere die Spannungsqualität im Inselnetzbetrieb kann mit den optimierten Parametern deutlich verbessert werden.

6 Fazit und Ausblick

Das Forschungsprojekt LINDA entwickelt ein Konzept für einen stabilen Inselnetzbetrieb mit dezentralen Erzeugungsanlagen im Fall eines langandauernden und großflächigen Stromausfalles. Durch diese Notinseln kann das Versorgungsniveau bei kritischen Infrastrukturen deutlich erhöht werden.

Im Zuge des LINDA-Projekts werden gestaffelte Feldtests in einem süddeutschen Netzgebiet durchgeführt. Dabei wurde unter anderem eine Trinkwasserversorgungsanlage in einem Inselnetz betrieben. Um Abschätzungen für die Feldtests und verallgemeinerbare Aussagen treffen zu können, wurde das gesamte Netzgebiet in einem transienten Simulationsmodell nachgebildet.

Für eine realitätsnahe Nachbildung des Hochlaufverhaltens der Pumpenanlagen, wurden zusammengesetzte Asynchronmaschinenmodelle entwickelt. Die Modelle bestehen aus mehreren Komponenten, die das elektrische Gesamtverhalten der komplexen Pumpenanlagen maßgeblich beeinflussen. Der Vergleich aus Simulations- und Messdaten am starren Netz zeigt, dass die Simulationsmodelle die Realität in hoher Güte nachbilden.

Bei der Zuschaltung der Pumpenanlage im Inselnetz treten deutliche Frequenzschwankungen auf. Diese Frequenzschwankungen beeinflussen auch den Wirk- und Blindleistungsbezug der Pumpenanlage wesentlich. Hierbei wird ersichtlich, dass das Frequenz-Wirkleistungsverhalten im Simulationsmodell realitätsnah nachgebildet ist. Beim Blindleistungsverhalten berücksichtigen die Standardmodelle die Frequenzabhängigkeit nur unzureichend. Es zeigt sich also, dass bei der Simulation von Inselnetzen die Frequenzabhängigkeit der Lasten berücksichtigt werden muss. Hier sind weitere Optimierungen des Modells geplant.

Mithilfe des Modells konnte gezeigt werden, dass durch eine optimierte Parametrierung der Einzelkomponenten Sanftstarter und Druckschieber die Netzurückwirkungen beim Motoranlauf deutlich minimiert werden können.

Das Simulationsmodell der Trinkwasserversorgungsanlage ermöglicht also hinreichend genaue Abschätzungen für die weiteren Feldtests im LINDA-Projekt. Die Modellstruktur lässt sich auch auf weitere Pumpenanlagen adaptieren.

7 Literaturverzeichnis

- [1] T. Petermann, H. Bradke, A. Lüllmann, M. Poetzsch und U. Riemann, „Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften - am Beispiel eines großräumigen Ausfalls der Stromversorgung,“ Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 2010.
- [2] C. J. Steinhart, M. Finkel, M. Gratza, R. Witzmann, G. Kerber und K. Schaarschmidt, „Local Island Power Supply with Distributed Generation Systems in Case of Large-Scale Blackouts,“ CIRED, Helsinki, 2016.
- [3] DigSILENT GmbH, Technical Reference Documentation - Asynchronous Machine, Gomaringen, 2014.
- [4] J. F. Gulich, Kreiselpumpen, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2014.
- [5] J. Pedra, Simulation of typical squirrel-cage induction motor parameters for dynamic performance simulation, IEEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, 2006.
- [6] C. J. Steinhart, M. Gratza, M. Fischer, M. Fischer, R. Witzmann, T. Nagel, K. Schaarschmidt, G. Kerber und T. Wopperer, *Optimierung der Frequenzstabilität bei Lastschaltungen im Inselnetz*, Wien: TU Wien, 2017.
- [7] DigSILENT GmbH, PowerFactory Benutzerhandbuch, Gomaringen, 2015.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages