



BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN  
University of Applied Sciences

# **Untersuchung der Netzstabilität eines durch regenerative Energien gespeisten Inselnetzes**

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Engineering

eingereicht an der  
Beuth Hochschule für Technik  
Fachbereich VII

von: Florian Latzelsberger  
geb. am 08.05.1986, in Berlin

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Holger Borowiak  
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Georg Duschl-Graw

Berlin, den 04. März 2014

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>1</b>
<b>FORMELZEICHEN.....</b>	<b>2</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1 DAS PROJEKT .....	5
1.2 AUFGABENSTELLUNG .....	5
1.3 WAS IST EIN INSELNETZ .....	6
1.4 NETZSTABILITÄT .....	6
<b>2 RICHTLINIEN UND NORMEN .....</b>	<b>8</b>
2.1 DIN EN 50160 „MERKMALE DER SPANNUNG IN ÖFFENTLICHEN ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNGSNETZEN“ .....	8
2.2 DIN EN 61000-4-30 (VDE 0847-4-30) „VERFAHREN ZUR MESSUNG DER SPANNUNGSQUALITÄT“ .....	10
<b>3 NETZSTABILITÄT VON INSELNETZEN.....</b>	<b>12</b>
3.1 ERLÄUTERUNG ZUM PROJEKT .....	12
3.2 PRIMÄR- UND SEKUNDÄRREGELUNG .....	17
3.3 STAND DER TECHNIK .....	19
3.3.1 <i>Regenerativen Energiequellen.....</i>	<i>19</i>
3.3.2 <i>Windenergieanlagen .....</i>	<i>20</i>
3.3.2.1 Synchrongenerator .....	21
3.3.3 <i>Photovoltaikanlagen .....</i>	<i>22</i>
3.3.4 <i>Biodieselmotor .....</i>	<i>23</i>
<b>4 MODELLIERUNG DES INSELNETZES.....</b>	<b>24</b>
4.1 AUFBAU DES INSELNETZES.....	24
4.2 AUSWAHL DER BETRIEBSMITTEL .....	26
4.2.1 <i>Erzeuger .....</i>	<i>26</i>
4.2.1.1 Biodieselmotor .....	26
4.2.1.2 Photovoltaikanlage .....	26
4.2.1.3 Windenergieanlage .....	27
4.2.2 <i>Verbraucher.....</i>	<i>28</i>
4.2.2.1 Allgemeine Verbraucher .....	28
4.2.2.2 Asynchronmotor .....	28
4.2.3 <i>Allgemeine Betriebsmittel.....</i>	<i>29</i>
4.2.3.1 Freileitung.....	29
4.2.3.2 Transformatoren .....	29

<b>5</b>	<b>BERECHNUNG DER NETZSTABILITÄT .....</b>	<b>30</b>
5.1	ÜBERSICHT DER BERECHNUNGSVARIANTEN .....	30
5.2	BETRACHTUNG DER SPANNUNGEN UND DER FREQUENZ IM INSELNETZ.....	32
5.2.1	<i>Variante 1. Biodieselmotor bei der Zu- und Abschaltung des Asynchronmotors .....</i>	<i>32</i>
5.2.2	<i>Variante 2. Windenergieanlage bei der Zu- und Abschaltung des Asynchronmotors .....</i>	<i>35</i>
5.2.3	<i>Variante 3. Biodieselmotor &amp; Photovoltaikanlagen bei der Zu- und Abschaltung des ASM .....</i>	<i>38</i>
5.2.4	<i>Variante 4. Biodieselmotor &amp; Windenergieanlage bei der Zu- und Abschaltung des ASM .....</i>	<i>41</i>
5.2.5	<i>Variante 5. Photovoltaikanlagen &amp; Windenergieanlage bei der Zu- und Abschaltung des ASM .....</i>	<i>44</i>
5.2.6	<i>Variante 6. Biodieselmotor, Photovoltaikanlagen &amp; Windenergieanlagen bei der Zu- und Abschaltung des Asynchronmotors .....</i>	<i>52</i>
5.3	LASTFLUSSBERECHNUNG.....	60
<b>6</b>	<b>KURZSCHLUSSTROMBERECHNUNG .....</b>	<b>61</b>
6.1	AUSWERTUNG DER KURZSCHLUSSTROMBERECHNUNG.....	62
<b>7</b>	<b>AUSWERTUNG .....</b>	<b>63</b>
7.1	AUSWERTUNG DER NETZBERECHNUNGEN BEI STABILEN INSELNETZ.....	63
7.2	AUSWERTUNG DER NETZBERECHNUNGEN BEI INSTABILEN INSELNETZ.....	65
7.2.1	<i>Maßnahmen für die Stabilisierung der instabilen Varianten .....</i>	<i>68</i>
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>74</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>75</b>
<b>12</b>	<b>VERZEICHNIS DER ANLAGEN .....</b>	<b>76</b>
<b>13</b>	<b>SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG .....</b>	<b>77</b>

## 8 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde vom Verfasser die Netzstabilität eines durch regenerative Energien gespeisten Inselnetzes, bei der Zu- und Abschaltung eines Asynchronmotors untersucht. Die Betrachtung der Netzstabilität war notwendig, da das Inselnetz durch regenerative Energien gespeist werden soll. Um eine Berechnung durchführen zu können, wurde zunächst das Inselnetz in DigSILENT PowerFactory nachgebildet und sämtliche relevanten Parameter (z.B. Kabellängen, Bemessungsleistungen, Daten der Transformatoren etc.) in die Software implementiert.

Beim Erstellen der Berechnungen der Netzstabilität mussten verschiedene Varianten betrachtet werden, da sich durch die Einspeisung der regenerativen Energien unterschiedliche Einspeisevarianten ergeben. Dafür wurde für die jeweilige Möglichkeit der Einspeisung eine Berechnungsvariante angelegt und die Spannung und Frequenz betrachtet, um die Netzstabilität zu untersuchen. Um die Netzstabilität bewerten zu können, wurden im Vorfeld die Grenzwerte nach DIN EN 50160 und nach DIN EN 61000-4-30 erläutert.

Es wurden die in PowerFactory berechneten Spannungen und Frequenzen mit den vorgegebenen Grenzwerten verglichen und die Ergebnisse der verschiedenen Varianten ausgewertet.

Die Berechnung der Netzstabilität machte deutlich, dass bei allen berechneten Varianten mit der Einspeisung durch den Biodieselmotor die geforderten Grenzwerte eingehalten werden. Bei der Veränderung der Grundlast verändern sich die Spannung und die Frequenz nur geringfügig.

Bei der Einspeisung nur durch regenerative Energien wurde deutlich, dass die Netzstabilität nicht gewährleistet ist und dass Maßnahmen für die Netzstabilität ergriffen werden müssen. Eine mögliche Maßnahme für die Stabilisierung des Inselnetzes kann die permanente Einspeisung durch einen Biodieselmotor sein, um die Netzstabilität zu gewährleisten.

Ein Inselnetz, das nur durch regenerative Energien gespeist wird, ist nach dem heutigen Stand der Technik nicht möglich. Es wird heutzutage ein Generator benötigt, da die rotierende Welle einen mechanischen Energiespeicher darstellt. Die Netzstabilität des Versorgungsnetzes ist größer bei Zu- und Abschaltungen, durch die gespeicherte Energie der rotierenden Welle des Biodieselmotors.