

Inselnetzbetrieb der Gemeinde Bordesholm mit einer Großbatterie

Eberhard Waffenschmidt (korrespondierender Autor)
Technische Hochschule Köln,
Betzdorferstr. 2, 50679 Köln,
+49 221 8275 2020
eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de
www.th-koeln.de

Silvan Rummeny, Technische Hochschule Köln,
Frank Günther, Versorgungsbetriebe Bordesholm GmbH,
Felix Klenner, RES Deutschland GmbH,
Paul Robert Stankat, SMA Solar Technology AG

1. Einleitung

Bei einem wachsenden Anteil dezentraler erneuerbarer Stromerzeuger muss die Netzregelung in Zukunft ohne Großkraftwerke auskommen. Die Dezentralität ermöglicht grundsätzlich zusätzlich eine lokale Stromversorgung, die beispielsweise bei einem globalen Blackout nutzbar wäre. In allen diesen Fällen können Großbatterien die zentralen Elemente bilden.

Die innovative Gemeinde Bordesholm im Norden Deutschlands unterstützt ein solches Konzept. Der lokale Energieversorger, die Versorgungsbetriebe Bordesholm (VBB), hat kürzlich eine Großbatterie in Betrieb genommen. Bild 1 zeigt links das Gebäude des Batteriespeichers. Die Großbatterie wurde von RES Deutschland GmbH (RES) mit weiteren Partnern (siehe Bild 1 rechts) realisiert und hat eine Gesamtkapazität von 15 MWh und eine maximale Leistung von 12,5 MW, wovon 10 MW im Regelbetrieb angemeldet sind. Sie besteht aus sieben gleichen unabhängigen Strängen mit jeweils einem Batterieblock, Wechselrichter und Netztransformator. In Bild 1 sind sieben Tore im Gebäude zu den jeweiligen Batteriesträngen zu erkennen.



Bild 1: Links: Gebäude des Batteriespeichers in Bordesholm.
Rechts: Projektpartner des Batteriespeichers.

Im Normalbetrieb ist die Batterie für den Primärregelleistungsmarkt präqualifiziert. Die Wechselrichter und die Netzinfrastruktur sind jedoch auch darauf ausgelegt, die Gemeinde Bordesholm mit der Batterie als Inselnetz zu versorgen. In 2019 wurde dazu eine erste

Voruntersuchung zum Inselnetzbetrieb auf der Konferenz „Zukünftige Stromnetze“ vorgestellt. Hier werden nun konkrete Messergebnisse zu Inselnetzversuchen mit der in Betrieb genommenen Batterie vorgestellt.

Die Großbatterie ist in der Lage, im Inselbetrieb als Netzbildner zu dienen und Spannung und insbesondere Netzfrequenz stabil zu halten. Damit können auch dezentrale Generatoren wie Photovoltaik (PV) – Anlagen (ca. 1,4 MW_{pk}) und die dort vorhandene Biomasseanlage (bis zu 2,4 MW) weiter in Betrieb bleiben und Leistung einspeisen.

Die Zentralwechselrichter der Firma SMA werden im normalen Netzbetrieb laut Präqualifikation im stromgeregelten Modus betrieben. Um als Netzbildner im Inselbetrieb zu arbeiten, können sie in einen spannungsgeregelten Modus geschaltet werden. Im spannungsgeregelten Modus enthält die Regelung einen leichten Spannungs- und Frequenzdroop. Dieser ermöglicht den spannungsgeregelten Betrieb sowohl im Netzverbundbetrieb als auch im Inselbetrieb.

Zur neuen Netzinfrastruktur gehört auch ein Synchronkuppelschalter, mit der das Stromnetz der Gemeinde Bordesholm aus dem Inselbetrieb mit dem Verbundnetz synchron zugeschaltet werden kann. Neben der Überwachung der Netzsynchronität liefert die Einheit auch Messsignale zu Spannung, Frequenz und Phase der zu verbindenden Netzabschnitte an den Hybrid Controller der Firma SMA. Dieser ist dann in der Lage, Spannung, Netzfrequenz und Phasenlagen des Inselnetzes an die des Verbundnetzes anzupassen.

Zur Dokumentation des Inselnetzversuches sind an mehreren Punkten im Versorgungsnetz Messgeräte installiert, insbesondere in der Schaltstation mit dem Anschluss ans Verbundnetz und dem Synchronkuppelschalter. Diese können die Netzspannung und die Ströme von ausgewählten Abgängen hochaufgelöst mit 128 Messwerten pro Netzperiode messen.

2. Vorversuche

Als Voruntersuchung für einen Versuch mit der Gemeinde Bordesholm wurde ein Experiment mit einer künstlichen Last unternommen (siehe Bild 2). Dabei wurde nur das Batteriesystem über den Synchronkuppelschalter mit dem Verbundnetz verbunden. Sodann wurden drei der sieben Batteriewechselrichter im stromgeführten Betrieb als Lasten von insgesamt 4 MW geschaltet. Dies entspricht etwa der höchsten Jahresleistung der Gemeinde Bordesholm. Die übrigen vier Batteriewechselrichter versorgten dann im spannungsgeregelten Betrieb als Großbatterie die „virtuelle Gemeinde Bordesholm“. Im Folgenden wurden verschiedene Experimente zum Übergang in den Inselbetrieb, zur Re-Synchronisierung sowie verschiedene Lastwechsel durchgeführt.

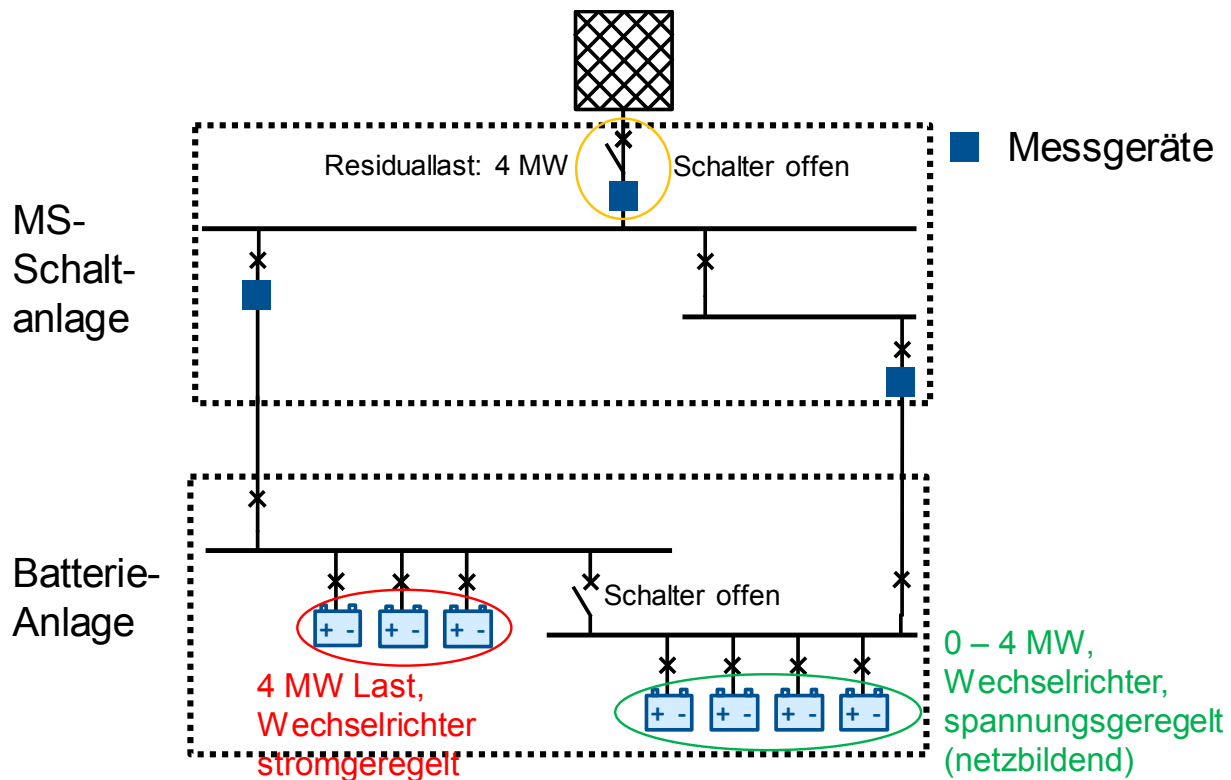


Bild 2: Vorversuch mit Batteriewechselrichtern als Last: Spannung und Strom am Netzanschlusspunkt beim Übergang zum Inselnetz ohne Residuallast.

In allen Fällen wurden die vier Batteriewechselrichter für den Batteriebetrieb am Verbundnetz in den spannungsgeregelten Betrieb umgeschaltet. Im ersten Versuch wurde sodann die Residuallast am Synchronkuppelschalter auf nahezu Null reduziert. Sodann wurde der Schalter geöffnet und die Anordnung ist automatisch, d.h. ohne Unterbrechung in den Inselnetzbetrieb übergegangen. Die Messungen der Spannung an der Batterie und der Strom durch den Kuppelschalter sind in Bild 3 als Zeitverlauf dargestellt. Der Schaltzeitpunkt ist daran zu erkennen, dass der Strom von einem geringen, verrauschten Strom ganz zu Null wird. Im Spannungsverlauf ist zu diesem Zeitpunkt überhaupt keine Besonderheit zu erkennen. Dies zeigt, dass die vier Wechselrichter im netzbildenden Modus ohne jegliche Regelschwankungen in den Inselnetzbetrieb übergehen können.

In einem weiteren ähnlichen Versuch wurde die Residuallast am Synchronkuppelschalter vorher nicht zu Null gesetzt. Vielmehr wurden die Lasten mit der vollen Leistung von 4 MW aus dem Verbundnetz gespeist. In dieser Situation wurde der Synchronkuppelschalter erneut geöffnet. Dabei mussten die vier Wechselrichter der Batterie unmittelbar die volle Leistung von 4 MW übernehmen und gleichzeitig dabei in den Inselnetzbetrieb übergehen. Die entsprechenden Verläufe für Strom und Spannung sind in Bild 4 dargestellt. Auch hier erkennt man den Schaltzeitpunkt an der Abnahme des Stroms. Die Spannung zeigt nach dem Schaltzeitpunkt einige transiente Ausgleichsvorgänge. Sie bricht jedoch keinesfalls zusammen und der Verlauf enthält lediglich einige zusätzliche Schwingungen. Diese sind jedoch spätestens nach einer Netzperiode abgeklungen, so dass auch hier ein unterbrechungsfreier Übergang in den Inselnetzbetrieb gezeigt werden konnte.

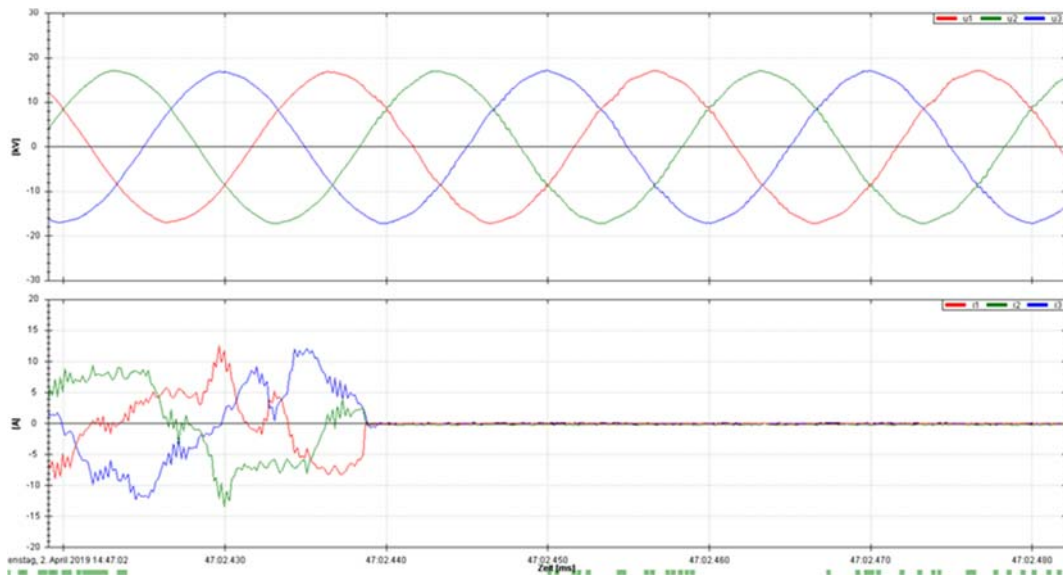


Bild 3: Messergebnisse beim Vorversuch mit Batteriewechselrichtern als Last: Spannung und Strom am Netzanschlusspunkt beim Übergang zum Inselnetz ohne Residuallast.

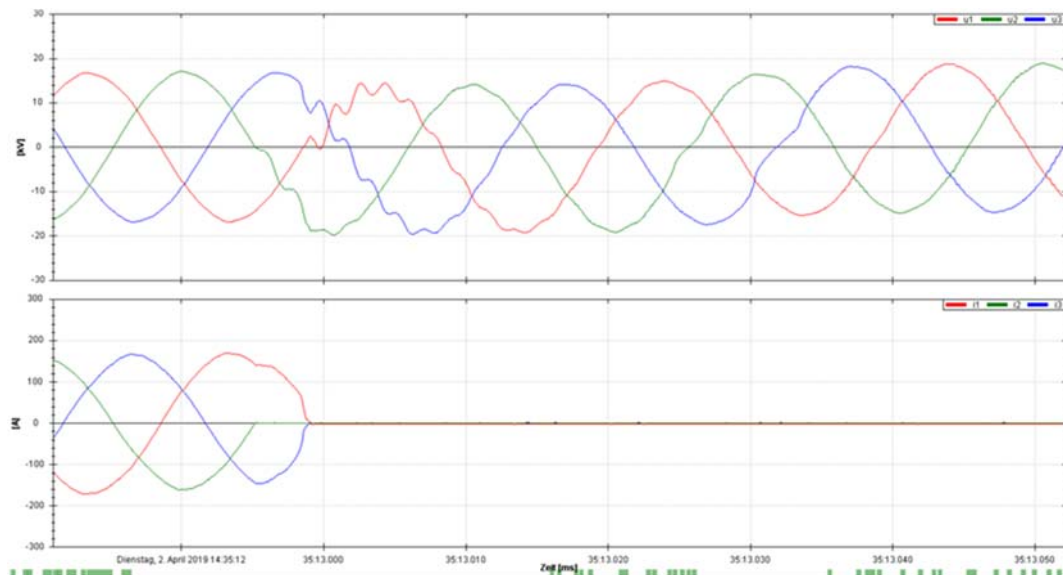


Bild 4: Messergebnisse beim Vorversuch mit Batteriewechselrichtern als Last: Spannung und Strom am Netzanschlusspunkt beim Übergang zum Inselnetz mit Residuallast.

Bild 5 und Bild 6 zeigen jeweils einen positiven und einen negativen Lastsprung von 1 MW. Solche Lastsprünge könnten in Bordesholm beim weg- oder zuschalten eines Teils der Biomasseanlage auftreten und sind daher nicht ganz unwahrscheinlich. Auch hier sieht man während einer Netzperiode leichte Einschwingvorgänge im Netzspannungsverlauf. Es kommt jedoch weder zu nennenswerten Überspannungen noch zu einem noch so kurzen Spannungseinbruch.

Weiterhin wurden bei diesen Vorversuchen erfolgreich ein Blackstart im Inselnetzbetrieb durchgeführt. Insgesamt dauert das Hochfahren der Batterie im Inselnetzbetrieb wenige Dutzend Sekunden. Der Blackstart erfordert jedoch manuelle Eingaben in der Steuerung der Wechselrichter. Bei einem realen ungeplanten Blackout wäre das zeitlimitierende

Element die Anreise einer geeigneten Fachkraft. Dies würde in der Größenordnung von 15 bis 30 min dauern.

Insgesamt stimmen diese Messungen zuversichtlich, dass mit einem geplanten Schalten ein Inselnetzversuch mit der Gemeinde Bordesholm als Verbraucher ohne Beeinträchtigung der Stromversorgung durchgeführt werden könnte.

Eine solche Demonstration des Inselnetzbetriebs ist inzwischen am 30. Nov. 2019 durchgeführt worden. Die folgenden Kapitel zeigen die Ergebnisse.

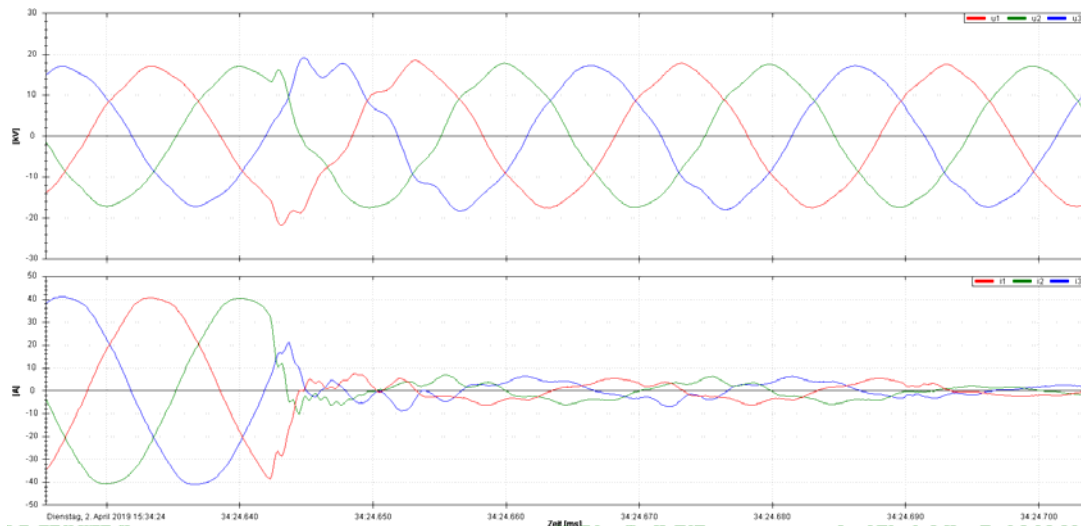


Bild 5: Messergebnisse beim Vorversuch mit Batteriewechselrichtern als Last: Spannung und Strom am Netzanschlusspunkt beim einem negativen Lastssprung von -1 MW

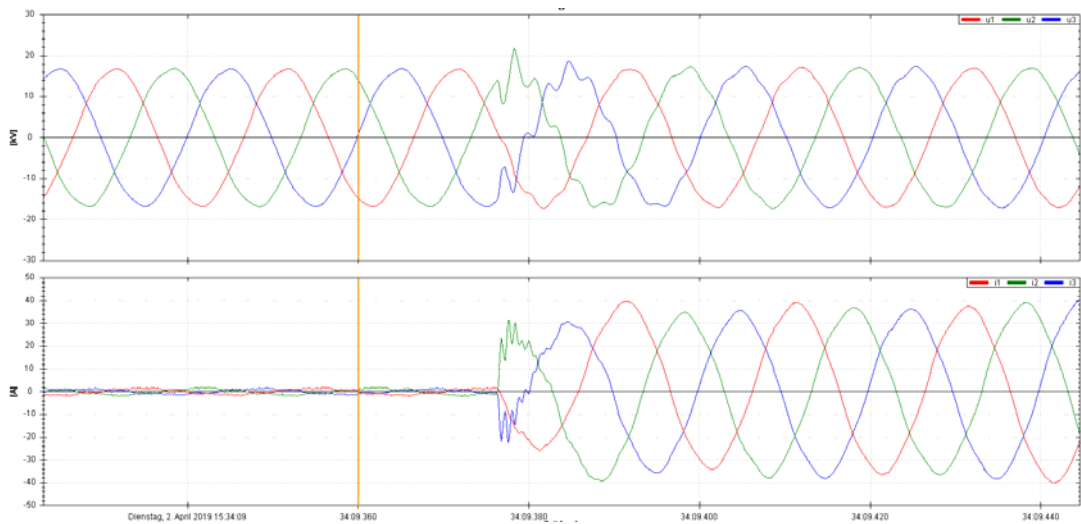


Bild 6: Messergebnisse beim Vorversuch mit Batteriewechselrichtern als Last: Spannung und Strom am Netzanschlusspunkt beim einem positiven Lastssprung von +1 MW

3. Vorbereitung des Inselnetzversuchs

Für die erfolgreiche Durchführung des Inselnetzversuchs im Netz der Versorgungsbetriebe Bordesholm müssen eine Reihe von Vorbereitungen getroffen werden.

Eine Übersicht über alle bisher installierten Messgeräte im Mittelspannungsnetz der Versorgungsbetriebe Bordesholm zeigt Bild 7. Es befinden sich 8 Messgeräte an den Abgängen in der Mittelspannungsschaltanlage. 3 weitere Geräte sind niederspannungsseitig an Ortsnetzstationen installiert. An einer Ortsnetzstation lässt sich dabei das Verhalten eines kleinen Blockheizkraftwerks beobachten. An einer weiteren ist die bisher größte PV-Anlage des Netzes angeschlossen und an einer dritten Ortsnetzstation lässt sich die Spannung am Ende eines Mittelspannungsstrahls beobachten.

Bei allen Messgeräten handelt es sich um den Typ UMD 98 der Firma PQ plus. Dieser Messgerätetyp ist in der Lage dauerhaft in 100-ms-Auflösung und ereignisgebunden hochaufgelöst bis zu 128 Messwerte pro Netzperiode zu messen. Durch Verletzungen von Grenzwerten für Strom und Spannung oder durch ein manuelles Signal wird eine hochaufgelöste Messung des Geräts ausgelöst. Manuelle Auslösungen sind mit Hilfe von ferngesteuerten TCP/IP-Switches realisiert, die jeweils in der Schaltstation, sowie in den Ortsnetzstationen installiert und an ein eigenes Glasfasernetz angeschlossen wurden.

Alle Messgeräte sind mit einem Datenserver der Versorgungsbetriebe Bordesholm verbunden und werden nun automatisch ausgelesen. Dabei werden u.a. die Daten zu Strom, Spannung, Leistungsfaktor, Wirk-, Blind- und Scheinleistung in sekundlicher Auflösung abgespeichert.

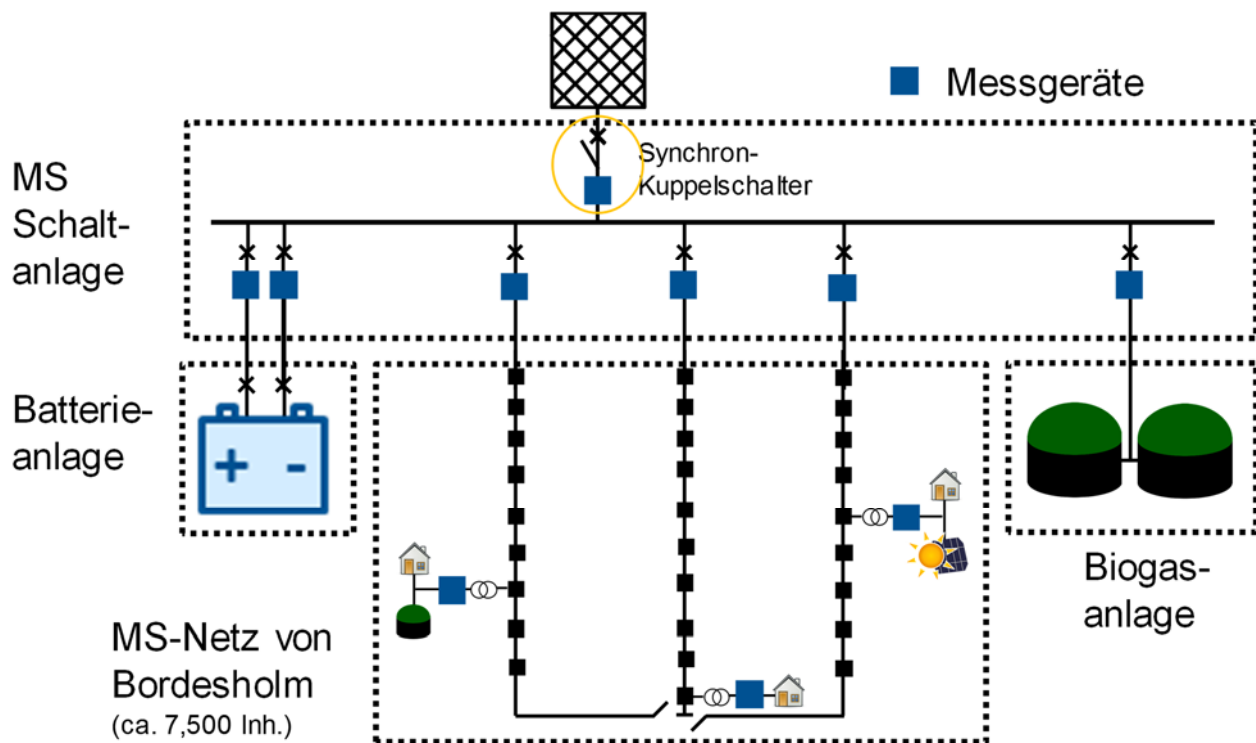


Bild 7: Übersicht der installierten Messgeräte im Mittelspannungs-Netz der Versorgungsbetriebe Bordesholm.

4. Durchführung und Ergebnisauswertung des Inselnetzversuchs

Der Inselnetzversuch wurde am 30.11.2019 im Zeitraum von 15-16 h durchgeführt.

Im alltäglichen Betrieb werden die Batteriewechselrichter im stromgeregelten Modus betrieben. Dieser ermöglicht jedoch keinen Inselnetzbetrieb, ist aber bei der Erbringung von Primärregelleistung vorgeschrieben. Für den Inselnetzversuch wurden die Wechselrichter vorher in den oben beschriebenen spannungsgeregelten Modus geschaltet. Dies erfolgt derzeit manuell und benötigt die Änderung von einigen Einstellungen, was noch einige Minuten in Anspruch nimmt. Mit diesen Einstellungen können die Wechselrichter übergangslos vom Verbundnetzbetrieb in den Inselnetzbetrieb wechseln.

Vor und nach der Inselnetzschtaltung hat der Batteriespeicher die Residuallast am Netzverknüpfungspunkt gegen 0 A geregelt. Die Messgeräte haben unterdessen dauerhaft im Sekundentakt RMS-Werte von Strom, Spannung und Werte vom Leistungsfaktor aufgenommen.

Zum Zeitpunkt der Inselnetzschtaltung betrug die Last der Gemeinde Bordesholm etwa 2,5 MVA. Dies beinhaltet schon die Einspeisung der Photovoltaikanlagen der Gemeinde Bordesholm und insgesamt 8 Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK) Anlagen. Deren Leistung zum entsprechenden Zeitpunkt ist unbekannt. Diesen residualen Bedarf von 2,5 MVA hat zum größeren Teil die Biomasse-Anlage mit etwa 1,4 MW gedeckt, während die Batterie die restlichen etwa 1,1 MVA ausgeglichen hat. Die Leistungen haben sich während des Inselnetzversuches in einer Größenordnung unter 10% geändert.

4.1. Inselnetzschtaltung

Die hochaufgelöste Messung bei der Inselnetzschtaltung wurde anhand einer Videoübertragung aus Schaltstation manuell ausgelöst. Da das Bild jedoch wenige Sekunden zeitverzögert war wurde die Messung bei der 1. Inselnetzschtaltung knapp zu spät ausgelöst. Daher wurde beschlossen, dass die Schaltung wiederholt wird. Die 2. Schaltung wurde dann erfolgreich hochaufgelöst aufgenommen. Bild 8 zeigt den Verlauf der Spannung und Strom zum Zeitpunkt der Inselnetzschtaltung in einer Auflösung von 128 Samples pro Netzperiode.

In Bild 8 ist erkennbar, dass der Strom am Netzverknüpfungspunkt mit einem Rauschen gegen 0 A geregelt wurde. Die Inselnetzschtaltung ist daran erkennbar, dass schlagartig kein Strom mehr über den Netzverknüpfungspunkt fließt (um 15:23 h und 38.298 s). Währenddessen sind keine Änderungen im Verlauf der Spannung zu erkennen. Somit verlief der Übergang vom Verbund in den Inselnetzbetrieb sehr stabil und unterbrechungsfrei.

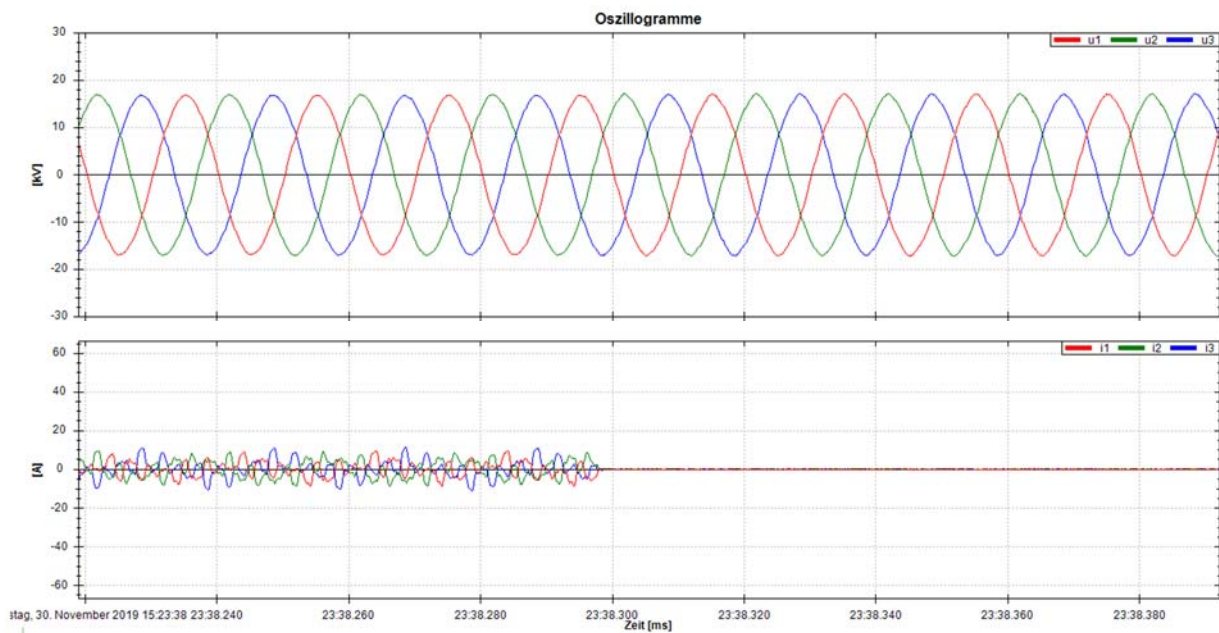


Bild 8: Messergebnisse beim Inselnetzversuch: Spannung und Strom am Netzanschlusspunkt beim Übergang zum Inselnetz ohne Residuallast.

4.2. Resynchronisation

Um den Inselnetzbetrieb zu beenden wurde um ca. 15:57 Uhr die Resynchronisation durch die Batterieanlage eingeleitet. Dabei regelt die Batterie Spannung und Frequenz des Inselnetzes auf die Spannung und Frequenz des Verbundnetzes. Erst bei Übereinstimmung von Spannungs- und Frequenzhöhe und Phasenlage kann das Inselnetz erneut nahtlos dem Verbundnetz zugeschaltet werden.

Bild 9 und Bild 10 zeigen den zeitlichen Verlauf von Frequenz und Spannungshöhe vor, während und nach dem Resynchronisationsvorgangs (blau hinterlegt). Die Zuschaltung zum Verbundnetz erfolgte am Ende des blau hinterlegten Bereichs (um 15:58 Uhr und 38 Sekunden).

In Bild 9 lässt sich gut erkennen, wie die netzbildende Batterieanlage die Frequenz des Inselnetzes sehr stabil zwischen 50,005 und 50,01 Hz hält und mit dem Start der Resynchronisation die Inselnetzfrequenz aktiv der schwankenden Netzfrequenz im Verbundnetz anpasst.

In Bild 10 ist zu sehen, dass die dreiphasige Drehspannung im Resynchronisationsprozess um ca. 30 V je Phase abgesenkt wird und nach der erneuten Zuschaltung zum Verbundnetz auf Spannungshöhen von 11,67 kV, 11,98 kV und 11,78 V für die einzelnen Phasen springt. Bei diesem Spannungssprung ist ein Einschwingvorgang über ca. 10 Sekunden zu sehen.

Eine hochaufgelöste Messung der erneuten Zuschaltung zum Verbundnetz ist in Bild 11 gezeigt. In diesem Bild ist zu erkennen, dass im Moment der Zuschaltung über einen Zeitraum von ca. 60 ms (3 Netzperioden) ein höherer Ausgleichstrom fließt. Im Peak fließen dabei kurzfristig bis zu 60 A und normalisiert sich schnell auf bis zu 10 A im Peak. Gleichzeitig ist im hochaufgelösten Spannungsverlauf keine Änderung zu erkennen. Damit verlief auch die Zuschaltung zum Verbundnetz stabil und ohne Störungen.

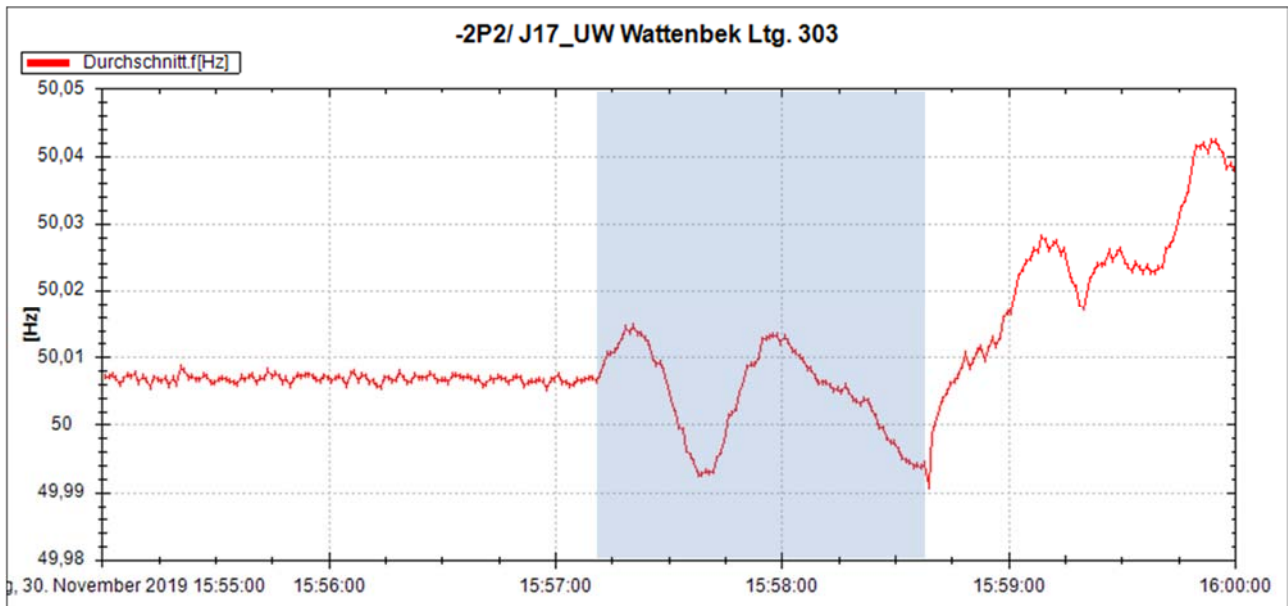


Bild 9: Messergebnisse beim Inselnetzversuch: Netzfrequenz am Netzanschlusspunkt beim Rücksynchronisieren vom Inselnetz zum Verbundnetzbetrieb

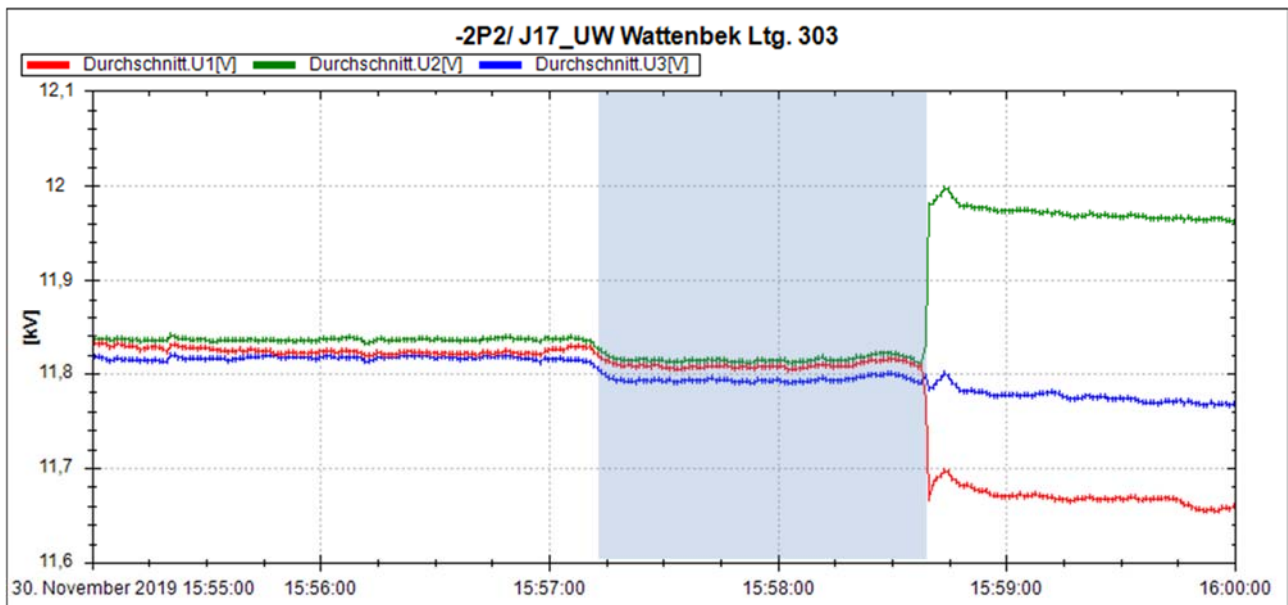


Bild 10: Messergebnisse beim Inselnetzversuch: Effektivwerte der Netzspannungen am Netzanschlusspunkt beim Rücksynchronisieren vom Inselnetz zum Verbundnetzbetrieb

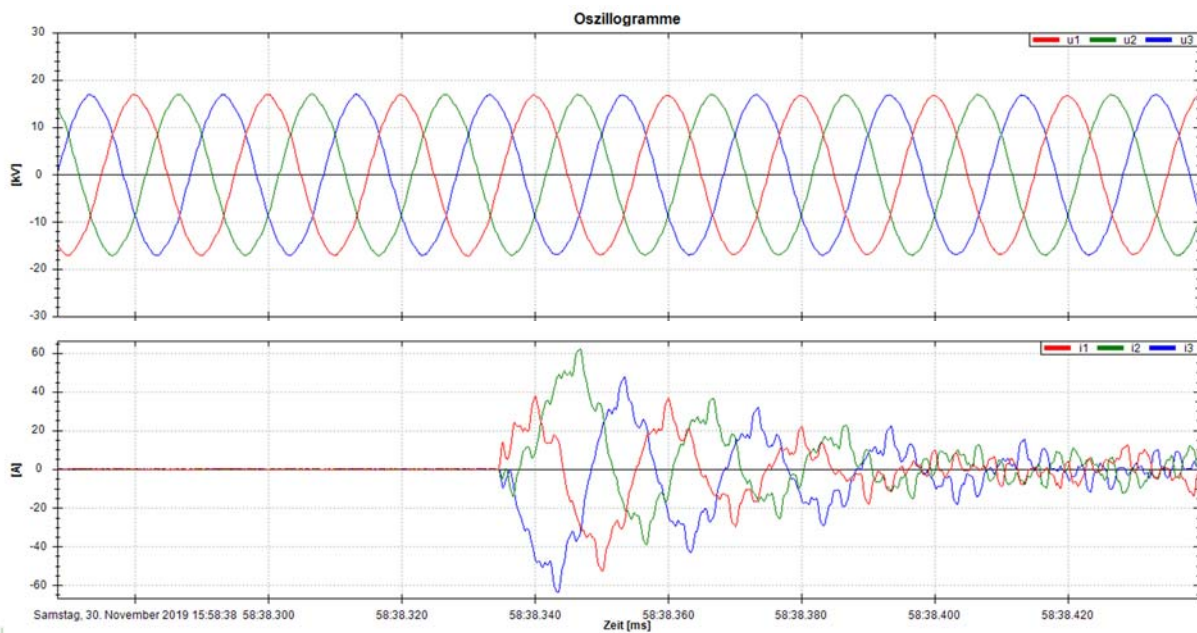


Bild 11: Messergebnisse beim Inselnetzversuch: Spannung und Strom in hoher Zeitaufösung am Netzanschlusspunkt beim Rücksynchronisieren vom Inselnetz zum Verbundnetzbetrieb

4.3. Im Inselbetrieb

Im Folgenden zeigen Bild 12, Bild 13 und Bild 15 den Verlauf von Frequenz, Spannungshöhe und Spannungsverzerrung über den gesamten Zeitraum des Inselnetzversuchs.

Beim ersten Übergang in den Inselbetrieb konnten (wie erwähnt) nicht alle geplanten Messungen vollständig durchgeführt werden. Daher wurde zwischen ca. 15:22 h und 15:24 h das Netz der Gemeinde Bordesholm wieder mit dem Verbundnetz synchronisiert und verbunden, um im Anschluss den Übergang in den Inselnetzbetrieb ein zweites Mal durchzuführen. Bei dieser zweiten Trennung vom Verbundnetz konnten alle vorgesehenen Messungen wie geplant durchgeführt werden. Diese zeitweilige Unterbrechung ist deutlich im Spannungs- und Frequenzverlauf zu erkennen.

In Bild 12 ist zu sehen, dass die Frequenz in den zwei Perioden des Inselnetzbetriebs sehr konstant und stabil zwischen 50,005 und 50,01 Hz gehalten wird, wogegen die Frequenz im Verbundbetrieb deutliche Schwankungen aufweist. Im Besonderen lässt sich das Phänomen beobachten, dass im Verbundnetz hohe Frequenzsprünge immer zur vollen Stunde auftreten, dann immer neue Auktionen auf Basis von Lastprognosen am Spotmarkt stattfinden. Die Abweichung zwischen Prognose und realen Lastflüssen verursachen dann diese Frequenzsprünge.

In Bild 13 sieht man, dass im Verbundbetrieb die Spannung je Phase unterschiedlich hoch ist. Die Spannungsspitzen vor 15:00 h sind vermutlich auf die Abschaltungen der Schaltfelder als parallele Koppelstellen zum vorgelagerten Stromnetz der Schleswig-Holstein Netz AG zurückzuführen. Mit der Inselnetzschaltung übernimmt die netzbildende Batterieanlage die alleinige Spannungsregelung. Der Batteriewechselrichter *Central Storage* der Firma SMA ist in der Lage jede Phasenspannung gesondert zu regeln und kann so die Unsymmetrie in der Spannungshöhe aufheben. Im Verlauf ist zu erkennen, dass die

Spannung am Netzverknüpfungspunkt im Inselnetzbetrieb sehr stabil auf ca. 11,82 kV pro Phase geregelt wird (entspricht einer verketteten Spannung von ca. 20,47 kV).

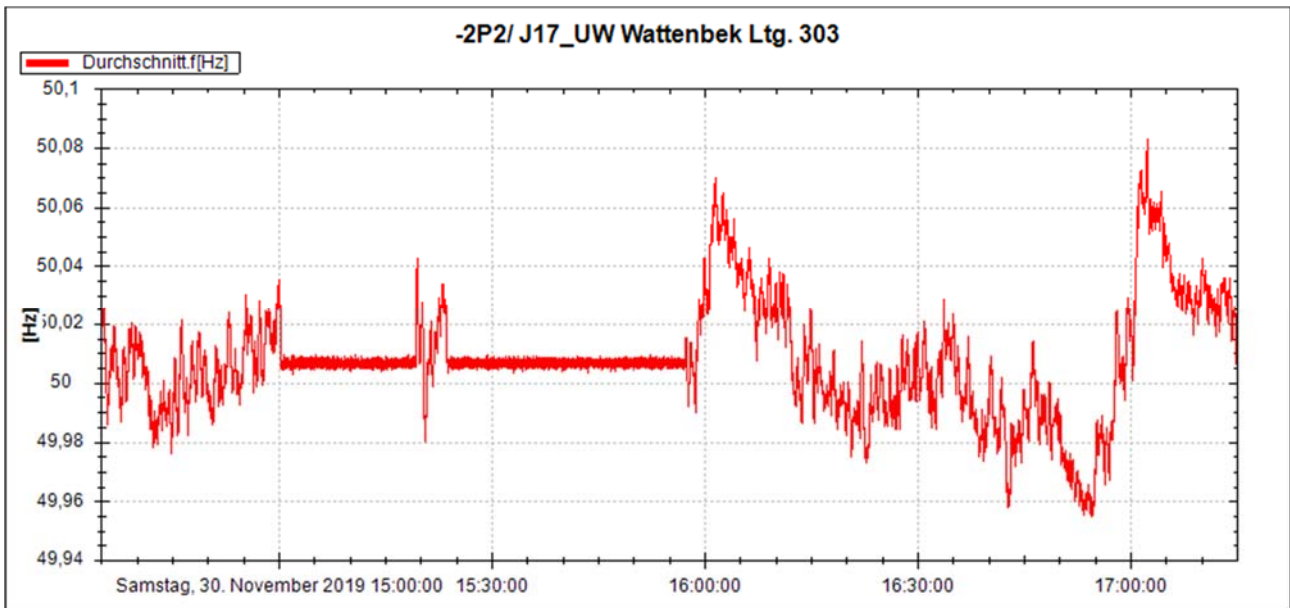


Bild 12: Messergebnisse beim Inselnetzversuch: Netzfrequenz der Netzspannungen am Netzanschlusspunkt während des ganzen Inselnetzversuches

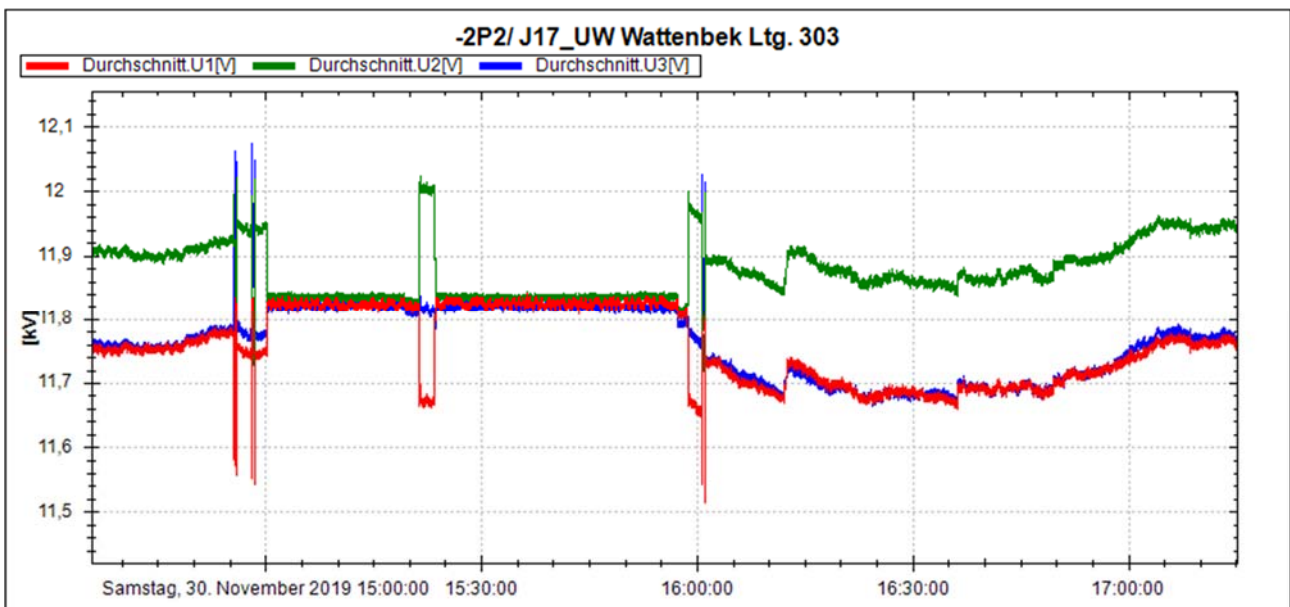


Bild 13: Messergebnisse beim Inselnetzversuch: Effektivwerte der Phasenspannungen am Netzanschlusspunkt während des ganzen Inselnetzversuches.

Bild 14 zeigt die jeweilige Summe der Phasenströme an Batteriezuleitung 1 (oben) und Batteriezuleitung 2 (unten) während des ganzen Inselnetzversuches. Über Batteriezuleitung 1 sind die Batteriestränge 1 bis 3 und über Batteriezuleitung 2 sind die Batteriestränge 4 bis 7 angeschlossen. Die Summe der beiden Kurven ergibt den Gesamtstrom, den die Batterie liefert. Über der gesamten Versuchsdauer fließen die Ströme von der Batterie ins Netz. Man erkennt zum einen, dass der Strom sich über die gesamte Dauer sehr gleichmäßig auf die jeweiligen Batteriestränge verteilt. Weiterhin sieht man, dass mehrere kleine und ein größerer Lastsprung auftraten. Die größeren Lastsprünge wurden größtenteils durch das Biomassekraftwerk verursacht. Dieses wurde weiterhin von

einem Vermarkter so gesteuert, als wenn es sich am Verbundnetz befinden würde. Die Versuchsdurchführenden hatten keinen Einfluss auf dessen Leistung. Ärgerlicherweise trat ein besonders großer Lastsprung just in dem kurzen Zeitraum auf, als der Inselbetrieb unterbrochen wurde. Daher konnte dieser Lastsprung nicht genutzt werden, um die Reaktion der Batterieanlage zu testen. Trotzdem traten mehrere Lastsprünge und Änderungen während des Inselbetriebs auf. Im Vergleich mit Bild 12 und Bild 13 sieht man, dass diese Laständerungen kaum messbare Unterschiede in Netzfrequenz und Netzspannung hervorrufen. Dies zeigt die hervorragenden Eigenschaften der Wechselrichter-Regelung.

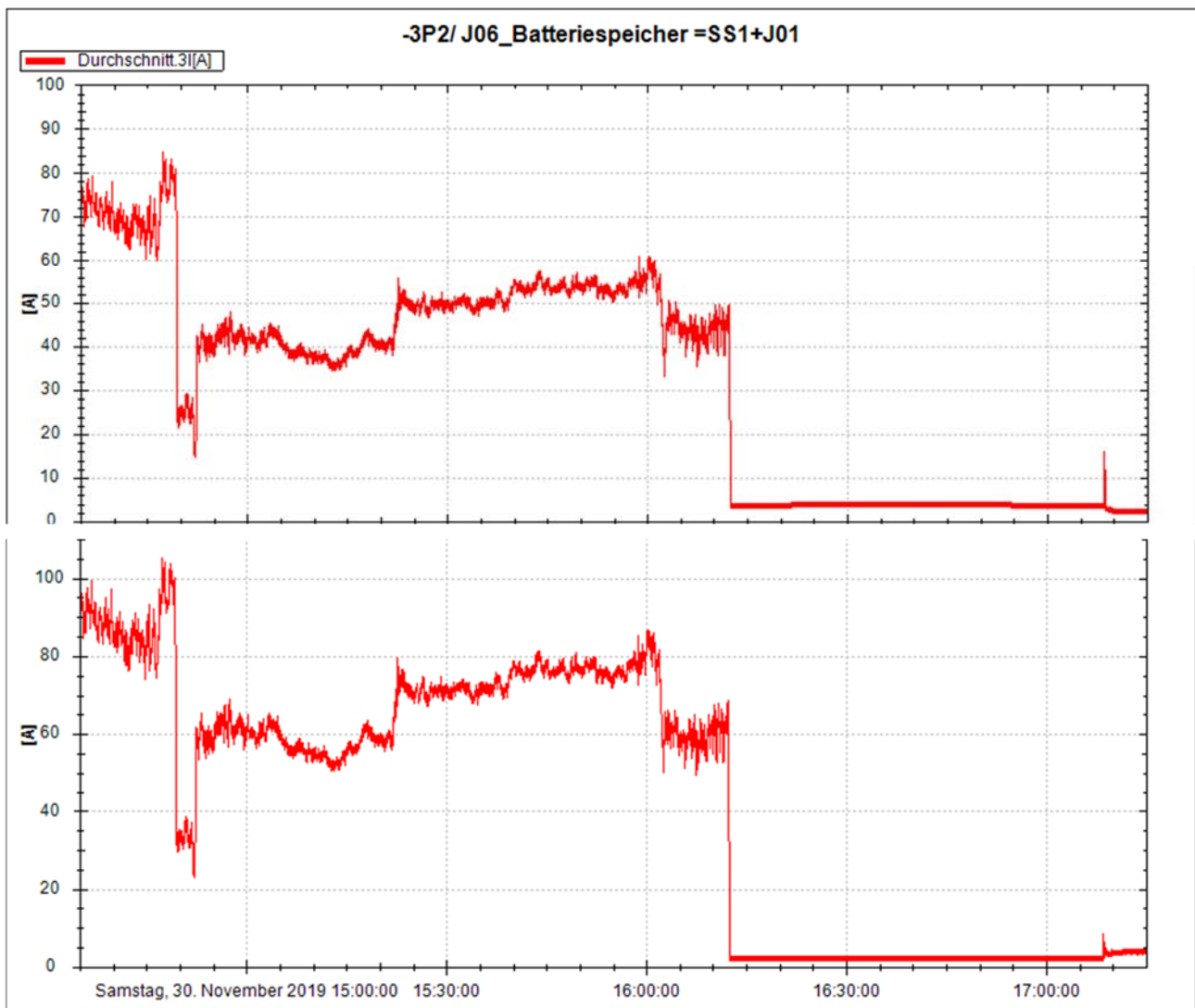


Bild 14: Messergebnisse beim Inselnetzversuch: Summe der Phasenströme an Batterie-zuleitung 1 (oben) und Batterie-zuleitung 2 (unten) während des ganzen Inselnetzversuches.

Zusätzlich interessant ist es, den Verlauf der Total Harmonic Distortion der Phasenspannung (THDU) zu betrachten. Diese beschreibt die gesamte harmonische Verzerrung des Spannungssinus. In Bild 15 ist der Verlauf der Total Harmonic Distortion der Phasenspannung über den gesamten Inselnetzversuch am Netzverknüpfungspunkt gezeigt. Aus Bild 15 wird erkennbar, dass die THDU von ca. 0,7-1,2 % im Verbundbetrieb während der Inselnetzbetriebe auf 1,3-1,8 % steigt. Das lässt sich zum größten Teil vermutlich auf die Regelstufung des Batteriewechselrichters zurückführen. Denn in den

hochaufgelösten Messungen ließ sich an dem Spannungssinus ein deutlicher Ripple erkennen, der durch diese Regelungsstufen erklärbar wäre. Die Total Harmonic Distortion der Phasenspannung von 1,8 % überschreitet jedoch keine kritischen Grenzwerte.

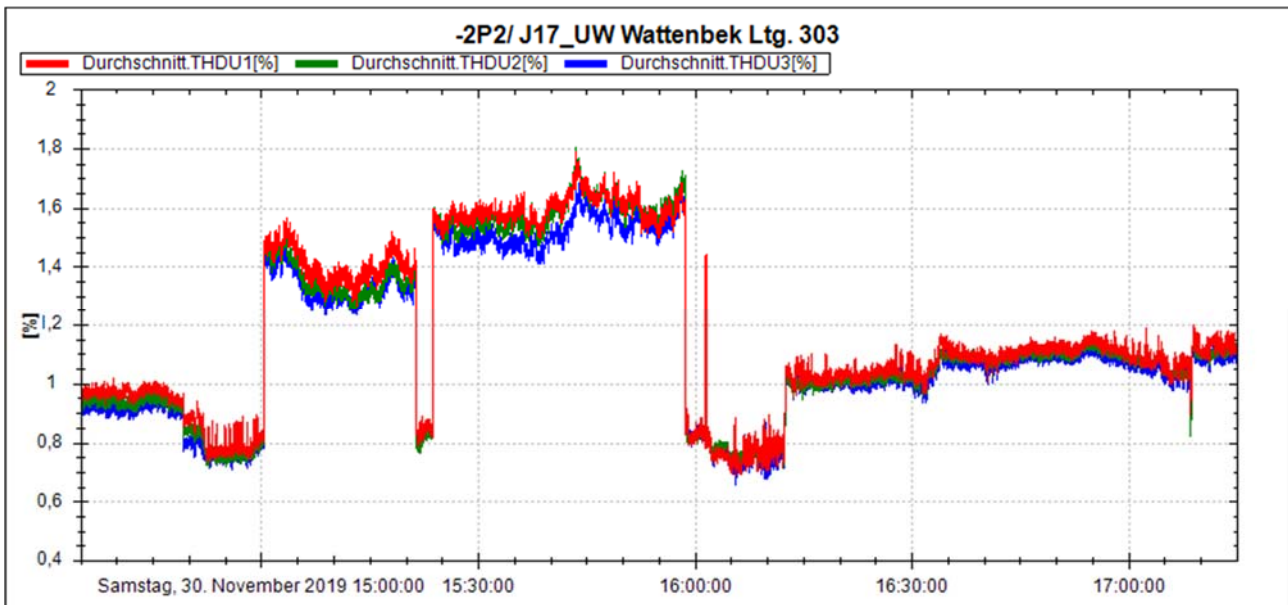


Bild 15: Verlauf der dreiphasigen Total Harmonic Distortion der Spannung (THDU) während des gesamten Inselnetzversuchs am Netzverknüpfungspunkt

4.4. Dezentrale Einspeiser

Während der gesamten Versuchsdurchführung wurde ein Wechselrichter einer Photovoltaik (PV) -Anlage mit einer Videoaufzeichnung beobachtet. Die PV-Anlage befindet sich auf dem Dach der Halle, von der aus der Versuch koordiniert wurde. Dieser Wechselrichter blieb durchgehend im netzverbundenen Modus und die Inselnetzenerkennung hat in keinem Fall ausgelöst, was auch beabsichtigt war. Es ist anzunehmen, dass die anderen Wechselrichter im Bordscholmer Stromnetz auch im Inselbetriebsversuch weitergearbeitet haben und die Gemeinde mit erneuerbarem, Strom versorgt haben. Auch die Biogasanlage hat einwandfrei weiter Strom eingespeist. Das bedeutet, dass die Batteriewechselrichter in der Lage sind, das Inselnetz so aufrecht zu erhalten, dass dezentrale Einspeiser weiterhin am Netz bleiben und so zu einer längerfristigen Stromversorgung auch im Inselbetrieb beitragen können.

Während und nach dem Versuch gab es keine negativen Rückmeldungen von Kunden. Diese waren zwar informiert, konnten jedoch die Inselnetzschtaltung nicht wahrnehmen.

5. Zusammenfassung und Fazit

Bei diesem Versuch wurde eine ganze Gemeinde mit Hilfe von dezentralen erneuerbaren Einspeisern und einer Batterie über nahezu eine Stunde autark mit elektrischem Strom versorgt. Dabei hat die Batterie sowohl den Ausgleich zwischen Einspeisung und Verbrauch im Stromnetz übernommen als auch für die Ausregelung und die Netzstabilität des Stromnetzes gesorgt. Trotz Laständerungen blieb die Netzfrequenz und die Netzspannung stabiler als im Verbundnetzbetrieb.

Der Übergang vom Verbundnetzbetrieb und die Rücksynchronisation erfolgten nahtlos und ohne dass die Stromkunden die Übergänge wahrnehmen konnten. Der Verlauf der Netzspannung zeigte dabei keine Überspannung oder Spannungseinbrüche und blieb

weiterhin sinusförmig. Auch in einer hochaufgelösten Messung konnten keine Störungen im Verlauf der Netzspannung erkannt werden.

Die Batteriewechselrichter der Firma SMA wurden dazu in einem spannungsgeregelten Modus betrieben, welcher sowohl den Verbundnetzbetrieb als auch den Inselnetzbetrieb mit einem nahtlosen Übergang ermöglicht. Im alltäglichen Betrieb befinden sich die Wechselrichter jedoch im stromgeregelten Modus. Daher ist der nahtlose Übergang in den Inselbetrieb derzeit nur geplant möglich. Ein spontaner Inselnetzbetrieb, z.B. bei einem ungeplanten Blackout, kann derzeit nicht nahtlos gewährleistet werden. Nach einem Blackstart der Batterie könnte die Gemeinde Bordesholm jedoch kurzfristig wieder mit Elektrizität versorgt werden.

Insgesamt zeigt dieser Versuch, dass eine stabile Netzregelung auf der Basis von dezentralen erneuerbaren Einspeisern ohne Großkraftwerke möglich ist.