

Wir regeln das.



Power Quality Dienstleistungen

# Power Quality Audit

Projekt XYZ

**Wichtig: Es handelt sich hierbei um einen anonymisierten Beispiel-Messbericht.  
Kundendaten sind entfernt/geschwärzt.**

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Auftrag .....</b>	<b>3</b>
1.1	Aufgabenstellung .....	3
1.2	Angewandte Normen.....	3
1.3	Messtechnik .....	4
1.4	Auftrag .....	4
<b>2.</b>	<b>Erklärungen - Definitionen.....</b>	<b>5</b>
2.1	Messpunkte.....	5
<b>3.</b>	<b>Messung Maschinenschrank XXX.....</b>	<b>6</b>
3.1	Normbericht zur allgemeinen Standortbestimmung.....	6
3.2	Ursache des erhöhten Oberschwingungsaufkommens .....	9
3.3	Wirkung auf die angeschlossenen Verbraucher .....	10
3.4	Gegenüberstellung des Betriebsverhaltens mit und ohne Galvanik .....	11
3.5	Betrachtung der Strommaximalwerte .....	14
<b>4.</b>	<b>Messung am Gleichrichter 2 .....</b>	<b>15</b>
<b>5.</b>	<b>Lösungsvorschläge .....</b>	<b>17</b>
5.1	Verdrosselung der Gleichrichter .....	17
5.2	Sicherungsfall .....	18
5.3	Nachweismessung.....	18
<b>6.</b>	<b>Protokoll.....</b>	<b>19</b>

# 1. Auftrag

## 1.1 Aufgabenstellung

Innerhalb der Hauptverteilung fielen bereits mehrfach die Sicherungen des Abgangs XXX zur XXX Allgemein Kraftverteilung XXX. Der Abgang ist mit NH3 315 A gG gesichert. Die Ursache hierfür soll gefunden werden. Des Weiteren ist ein gehäufter Ausfall von Frequenzumrichtern und Netzteilen zu beklagen, welche an der XXX angeschlossen sind. Es soll überprüft werden, ob eine mangelhafte Spannungsqualität hierfür verantwortlich ist.

## 1.2 Angewandte Normen

Die Bewertung der Spannungsqualität und Grenzwerte wurden nach den folgenden Normen durchgeführt:

### **IEC 61000-2-2 (DIN EN 61000-2-2; VDE 0839 Teil 2-2:2020-05)**

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 2-2: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen.

Anzuwenden auf den Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetz (PCC).

Es sind Verträglichkeitspegel für Störgrößen definiert, die in öffentlichen Niederspannungs-Energieversorgungsnetzen im Bereich bis 150 kHz erwartet werden können.

### **IEC 61000-2-4 (DIN EN 61000-2-4; VDE 0839 Teil 2-4:2003-05)**

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 2-4: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen in Industrieanlagen.

Anzuwenden auf anlageninterne Verknüpfungspunkte (IPC).

Es sind Verträglichkeitspegel für Störgrößen definiert, die im industriellen und nicht-öffentlichen Stromversorgungsnetzen im Bereich bis 9 kHz erwartet werden können.

Es wird nach der elektromagnetischen Umgebungsklasse 2 bewertet, die für Komponenten geeignet ist, welche für den Betrieb am öffentlichen Netz entwickelt wurden und in industrieller Umgebung benutzt werden.

## 1.3 Messtechnik

Netzanalysator PQ-Box 300

IEC61000-4-30, Klasse A Messgerät

Abtastrate Spannung / Strom: 40,96 kHz

Abtastrate Transiente Spannungssignale: 409,6 kHz

Hersteller: A. Eberle GmbH & Co. KG, Nürnberg

Genauigkeit Spannungsmessung: < 0,1 %

Genauigkeit Harmonische / Rundsteuersignal: < 2 %



## 1.4 Auftrag

**Auftragsnummer**

**Auftraggeber und Messort**

**Auftragnehmer**

A. Eberle GmbH & Co. KG  
Frankenstraße 160  
90461 Nürnberg

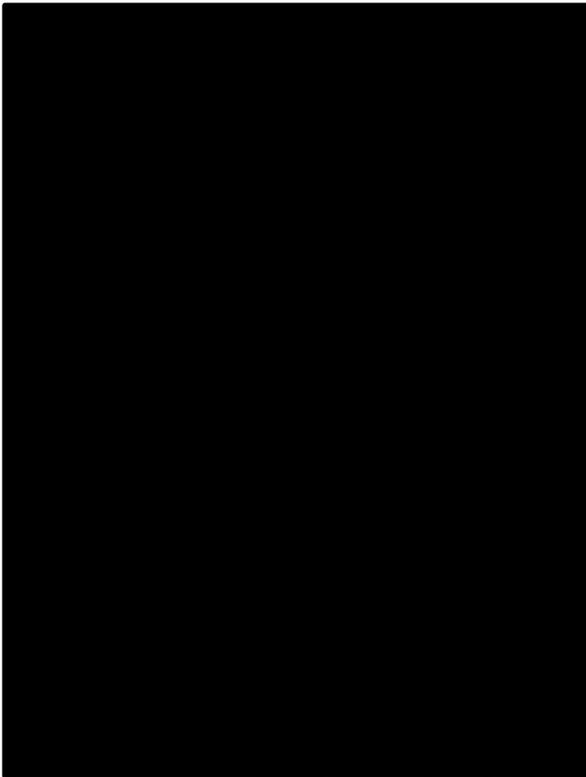
Manuel Polinski  
Messingenieur Power Quality  
manuel.polinski@a-eberle.de  
Tel: 0911 / 6281 08-153  
Mobil: 0173 / 678 6086

## 2. Erklärungen - Definitionen

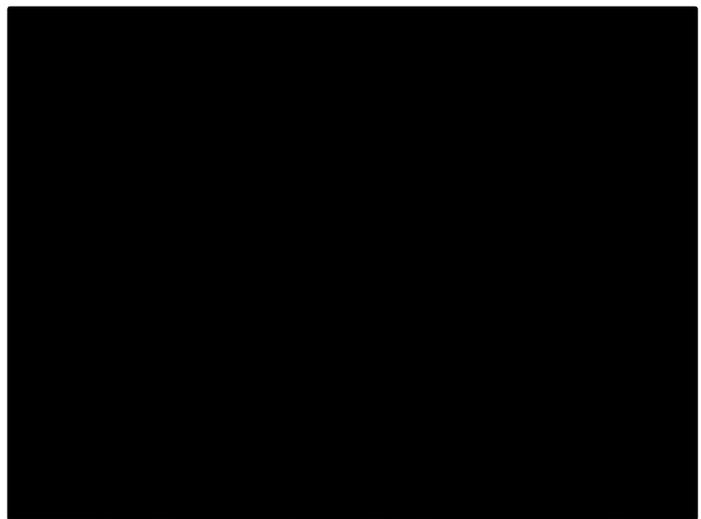
<b>Kontakt:</b>		<b>Softwareversion:</b>	5.1.1.0
<b>Spannungssystem:</b>	4 Leiter-Netz	<b>Messintervall:</b>	60 s
<b>Nennspannung LE / LL (Primär):</b>	230.00 V / 398.37 V	<b>Rundsteuerfrequenz:</b>	75 Hz
<b>Frequenz:</b>	50 Hz	<b>Messung Ende:</b>	27.05.2021 10:20:00
<b>Messung Beginn:</b>	06.05.2021 11:11:00	<b>Anzahl Messintervalle:</b>	28855
<b>Dauer:</b>	20d 23h 9m 0s	<b>Seriennummer Gerät:</b>	1808-206
<b>Messgerätetyp:</b>	PQ-Box 300: HF + RC + Wifi	<b>DSP-Version:</b>	4.053
<b>Firmware:</b>	4.120		

Alle Mittelwerte wurden auf Basis von 60 Sekunden, die Extremwerte auf Basis von 10 ms erfasst. Die Oszilloskopbilder wurden mit einer Abtastfrequenz von 40,96 kHz festgehalten. Transiente-Spannungseignisse wurden mit 409,6 kHz erfasst. Es wird davon ausgegangen, dass im Messzeitraum repräsentative Lastverhältnisse vorlagen.

### 2.1 Messpunkte



Einspeisefeld XXX

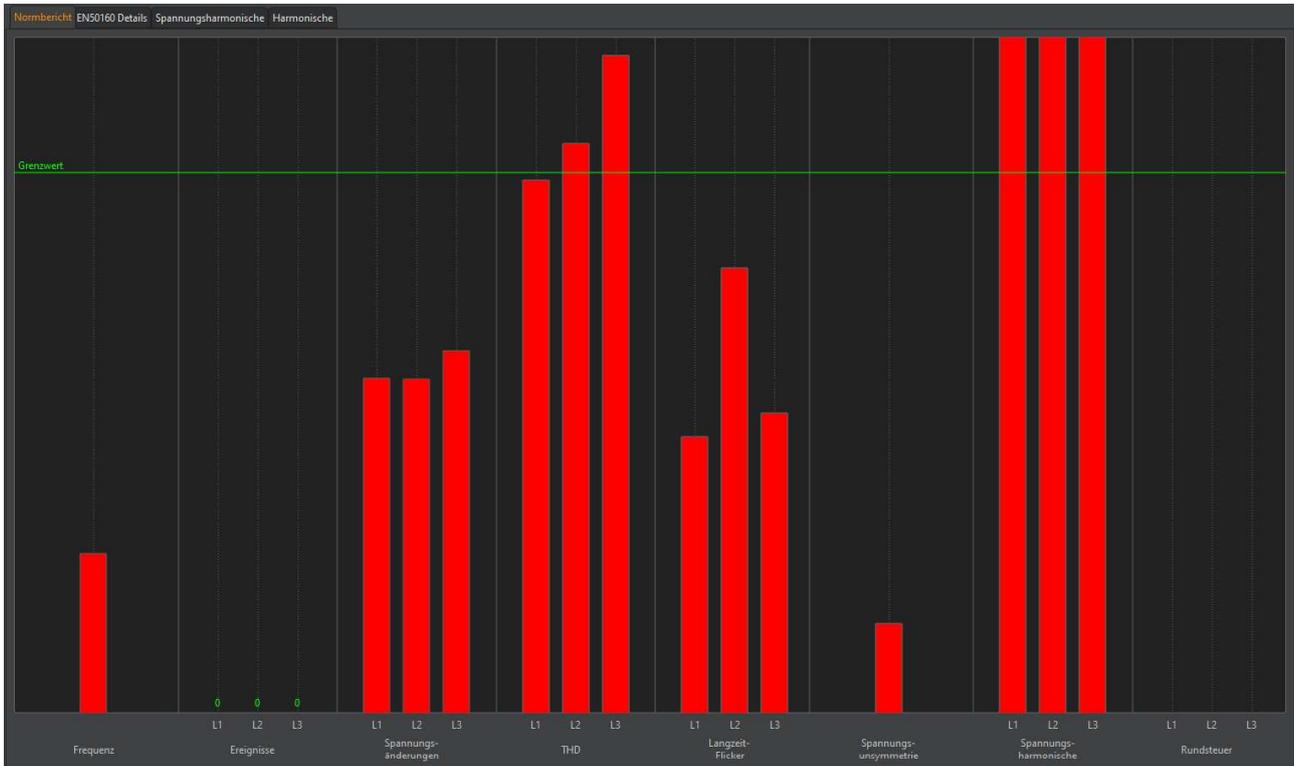


Einspeisefeld Gleichrichter 2

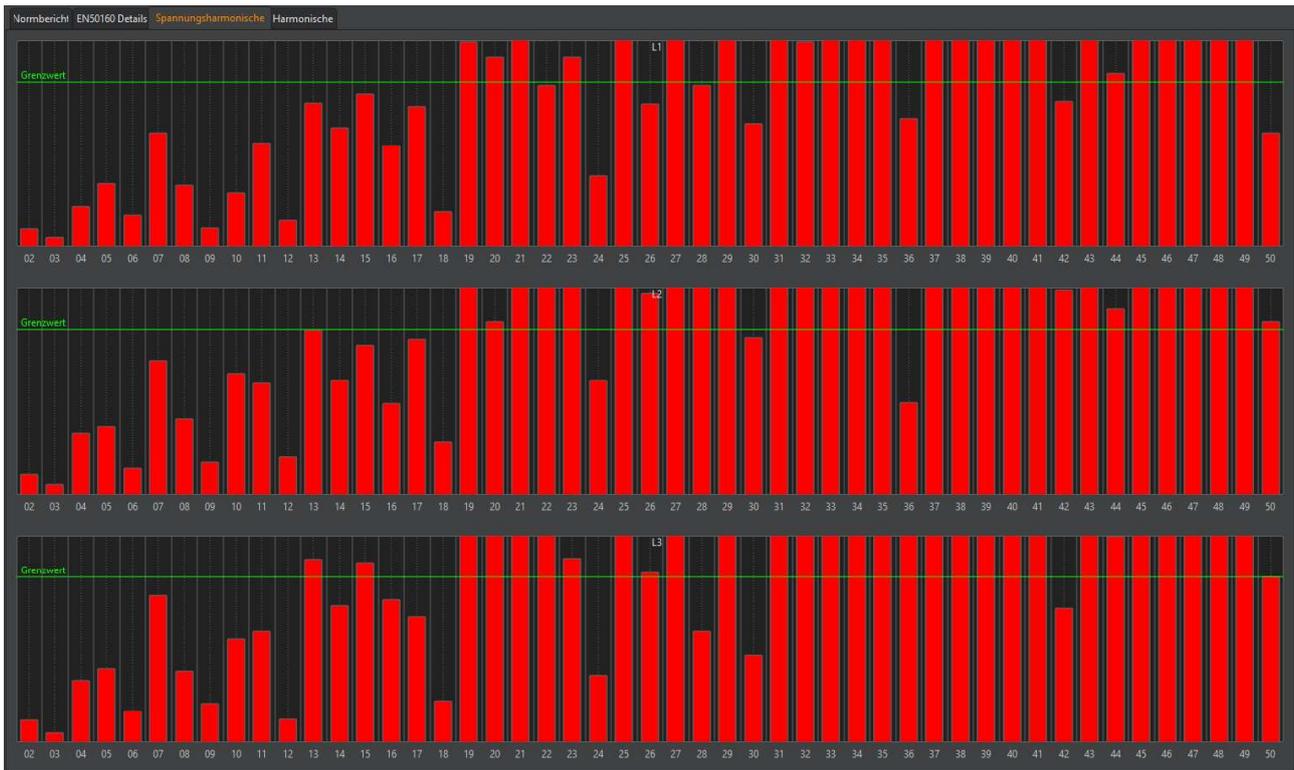
Der Messpunkt XXX wurde drei Wochen lang überwacht. Der Gleichrichter 2 wurde über 12 Minuten beobachtet. Da das Betriebsverhalten annähernd konstant ist, war der Beobachtungszeitraum für den Gleichrichter hinreichend.

### 3. Messung Maschinenschrank XXX

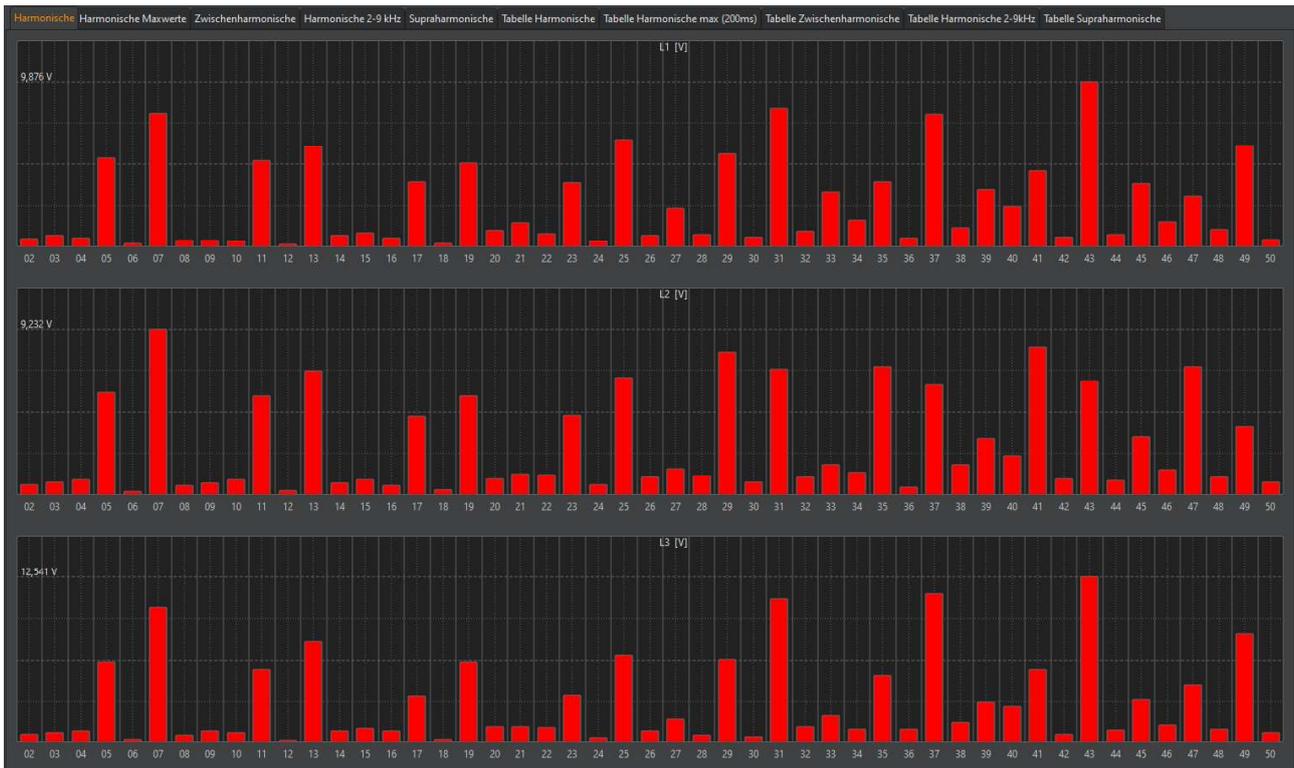
#### 3.1 Normbericht zur allgemeinen Standortbestimmung



Im Normbericht werden in übersichtlicher Weise alle für die Norm relevanten Messwerte mit den Grenzwerten abgeglichen und dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der THD-U, also die Summe aller Harmonischen, in den Außenleitern L2 und L3 den Grenzwert nicht einhalten kann. Wesentlich gravierender erscheinen jedoch die Normverletzungen der einzelnen Harmonischen, welche massiv über dem Grenzwert liegen. Im nachfolgenden Diagramm werden die Harmonischen einzeln dargestellt.



Ab der 13. Harmonischen aufsteigend liegen die allermeisten Ordnungen signifikant über ihrem jeweiligen Grenzwert. Die Spannungsqualität ist weitab jeglicher Normkonformität. Störungen und Defekte an den Betriebsmitteln sind damit zu erwarten. Im nachfolgenden Diagramm sind die Harmonischen nicht mehr in Relation zu ihrem Grenzwert, sondern auf einer gemeinsamen Skala dargestellt.



Typischerweise würden die Pegel des Spektrums zu den höheren Ordnungen hin kontinuierlich abfallen. An diesem Messpunkt hingegen sind sie über den gesamten Frequenzbereich nahezu konstant. Die 43. Harmonische ist mit 5,48 % am stärksten vertreten und verletzt damit ihren Grenzwert von 0,63 % um das 9-Fache! Das gleiche Verhalten tritt auch bei allen benachbarten Ordnungen auf.

Die hochfrequenten Harmonischen sind dafür verantwortlich, dass ebenfalls der Gesamtüberschwingungsgehalt THD-U über seinem Grenzwert zu liegen kommt.

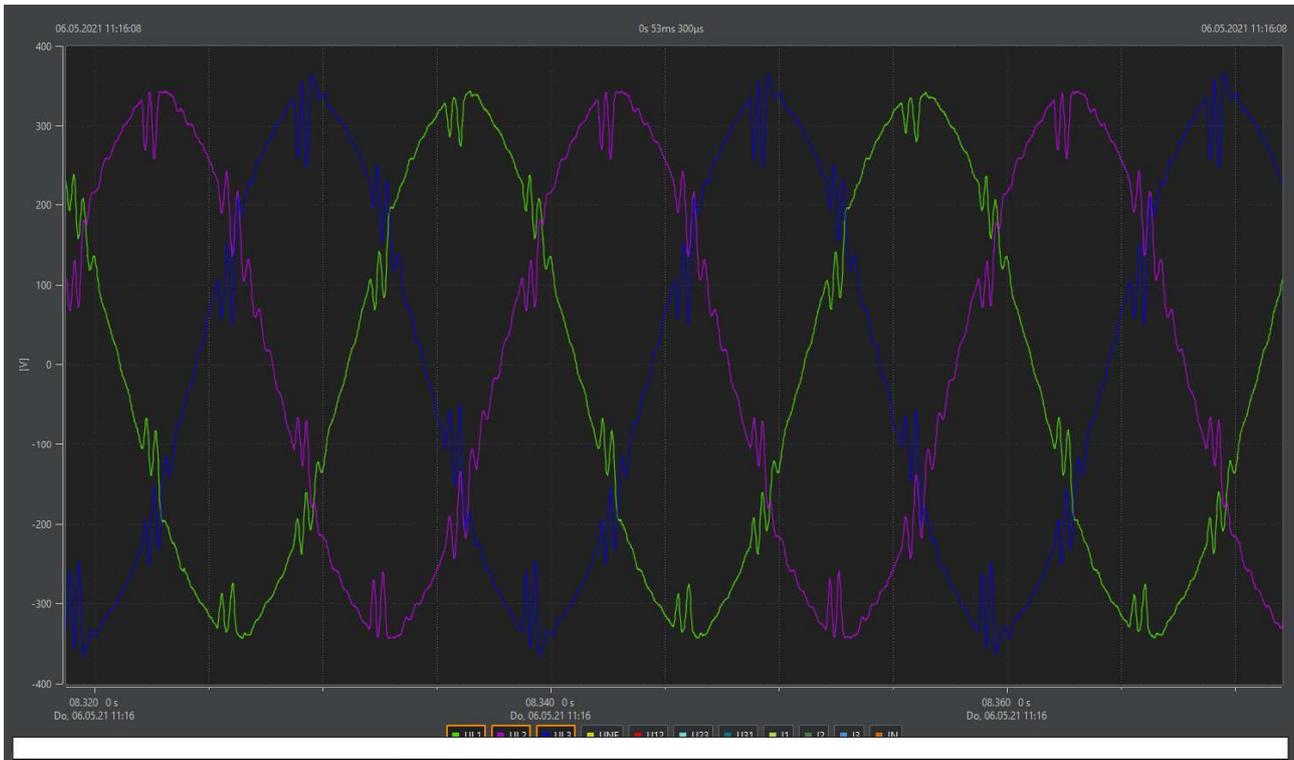
### 3.2 Ursache des erhöhten Oberschwingungsaufkommens



Oszilloskopbild der Strangspannungen in [V]

Zeitraum

06.05.2021 um 11:16 Uhr



Im Betrieb der Anlage war die Kurvenform der Spannung kontinuierlich mit starken Verzerrungen beaufschlagt. Diese Art der periodisch wiederkehrenden Einkerbungen werden als Kommutierungseinbrüche bezeichnet und stammen zumeist von gesteuerten Gleichrichtern in Thyristortechnik. Die Einkerbungen treten jeweils doppelt auf, weshalb auf zwei leistungsstarke Gleichrichter geschlossen werden kann. Nach Rücksprache kommen hierfür einzig die Gleichrichter der Galvanik in Frage, welche am gleichen Niederspannungsnetz angeschlossen sind.

Am Tag des Messgeräteeinbaus konnte dann auch anhand von Onlinemessdaten der Moment nachvollzogen werden, als die Galvanikgleichrichter anlässlich eines Rollenwechsels ausgeschaltet wurden. Die Störungen waren daraufhin nicht mehr vorhanden.

Die Kommutierungseinbrüche sind gleichbedeutend mit den hochfrequenten Harmonischen, je nachdem ob die Netzstörung im Zeitbereich oder im Frequenzbereich betrachtet wird.

### 3.3 Wirkung auf die angeschlossenen Verbraucher



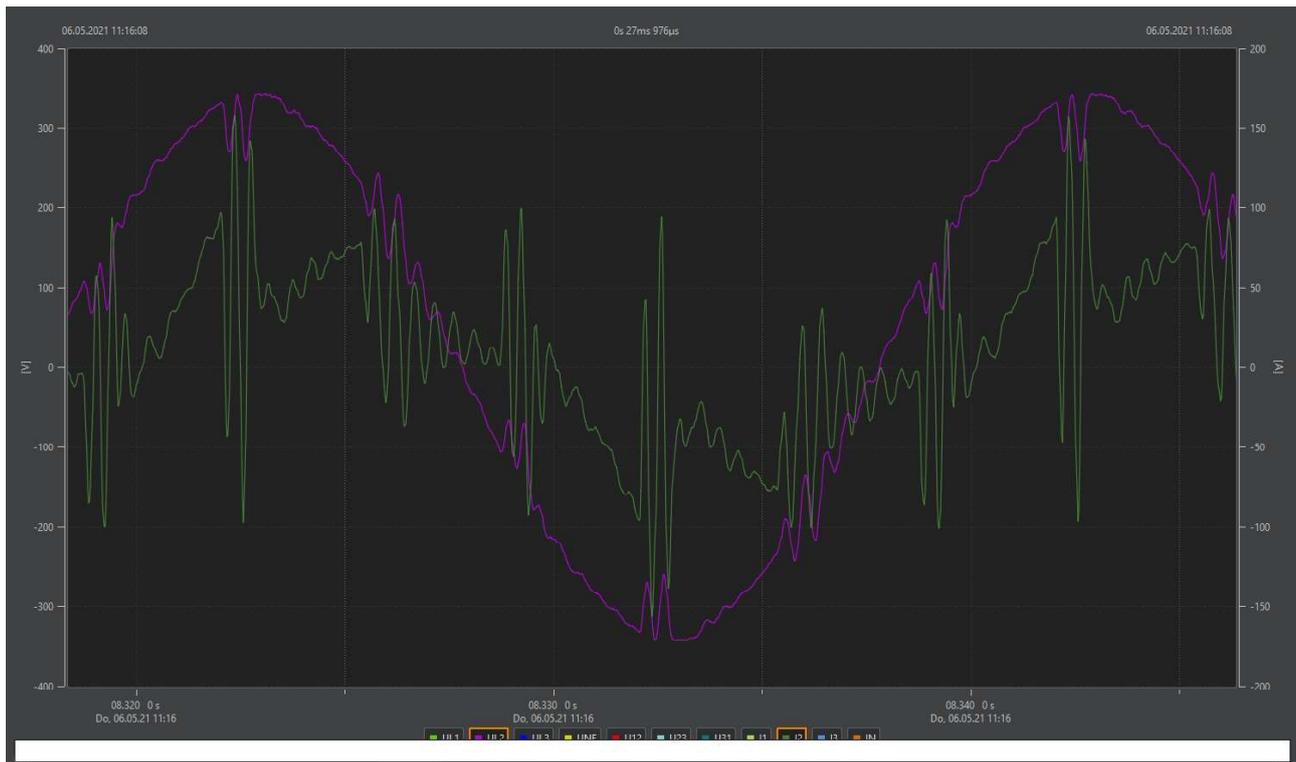
Oszilloskopbild der Strangspannung L2 in [V]



Oszilloskopbild des Stroms L2 in [A]

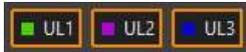
Zeitraum

06.05.2021 um 11:16 Uhr



Der Strom der angeschlossenen Verbraucher offenbart sehr steile Umladeflanken von mehreren hundert Ampere, welche durch die Spannungssprünge der Kommutierungseinbrüche hervorgerufen werden. Auf dem Spannungsscheitel sind hier im Wesentlichen die einphasigen Netzteile betroffen. Die Umladeeffekte auf den Flanken werden hauptsächlich zu Lasten der dreiphasigen Frequenzumrichter gehen. In beiden Fällen fließen sehr viel höhere Ströme durch das EMV-Filter im Eingangskreis und die Gleichrichterioden bis hin zum Zwischenkreiskondensator. All diese Komponenten erfahren damit eine sehr viel höhere Belastung als bei ihrer Dimensionierung vorgesehen und altern damit schneller. Die Folge ist ein vorzeitiger Defekt an den Betriebsmitteln, wie bereits beobachtet.

### 3.4 Gegenüberstellung des Betriebsverhaltens mit und ohne Galvanik



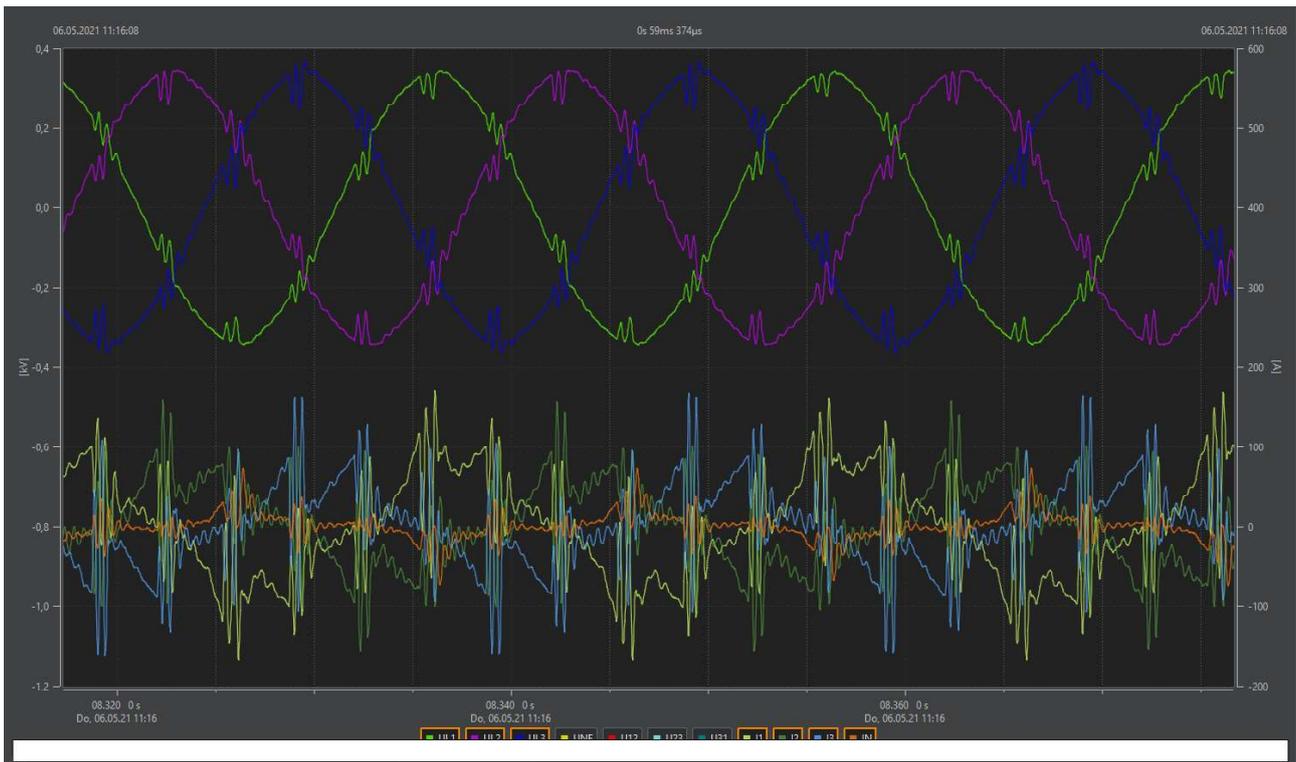
Oszilloskopbild der Strangspannungen in [V]



Oszilloskopbild der Ströme in [A]

Zeitraum

06.05.2021 um 11:16 Uhr





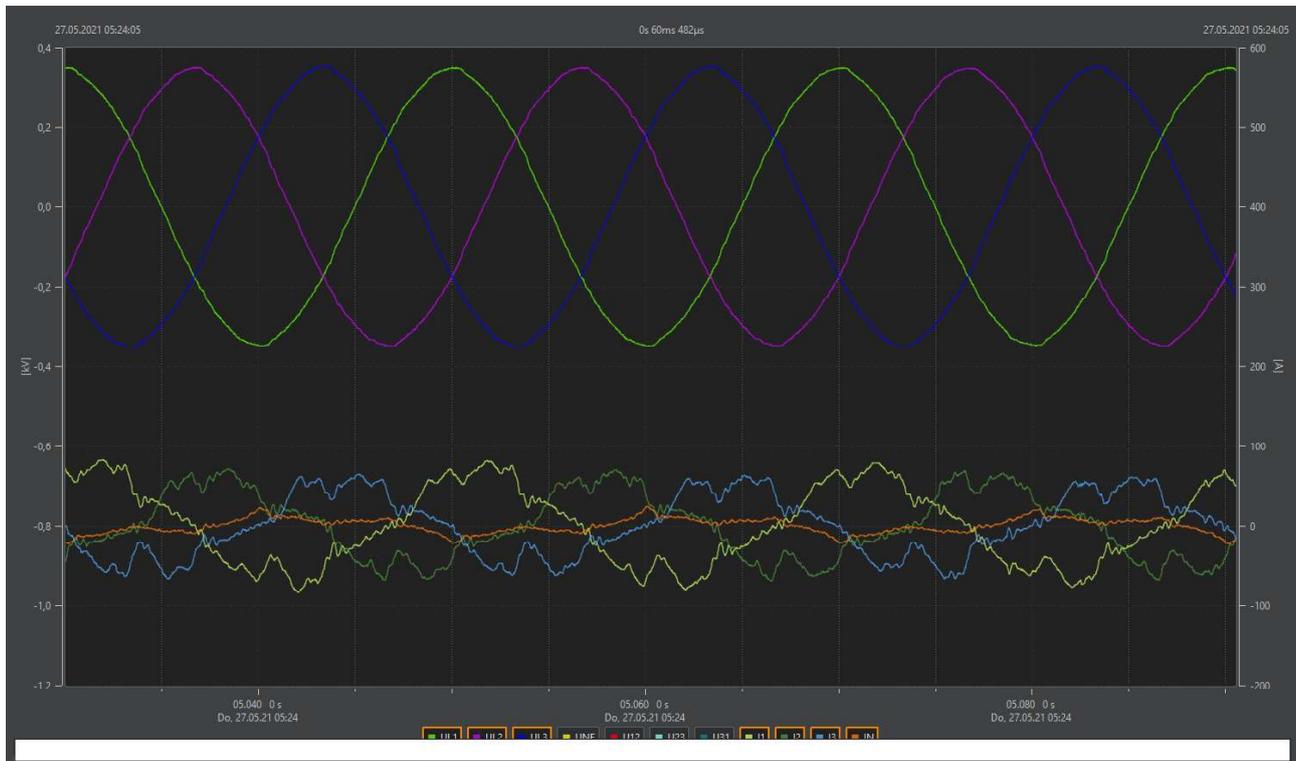
Oszilloskopbild der Strangspannungen in [V]



Oszilloskopbild der Ströme in [A]

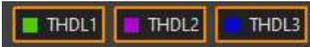
Zeitraum

27.05.2021 um 05:24 Uhr



Im Vergleich zum vorausgehenden Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass die Spannung bei abgeschalteter Galvanik eine nahezu perfekte Sinuskurvenform aufweist und somit nur geringe Oberschwingungsanteile beinhaltet. Die Ströme der Verbraucher weisen nun keine Umladeflanken mehr auf, die Scheitelwerte sind wesentlich geringer. Die verbliebene Verzerrung der Stromkurvenform geht auf die Betriebscharakteristik der Verbraucher selbst zurück und ist unkritisch.

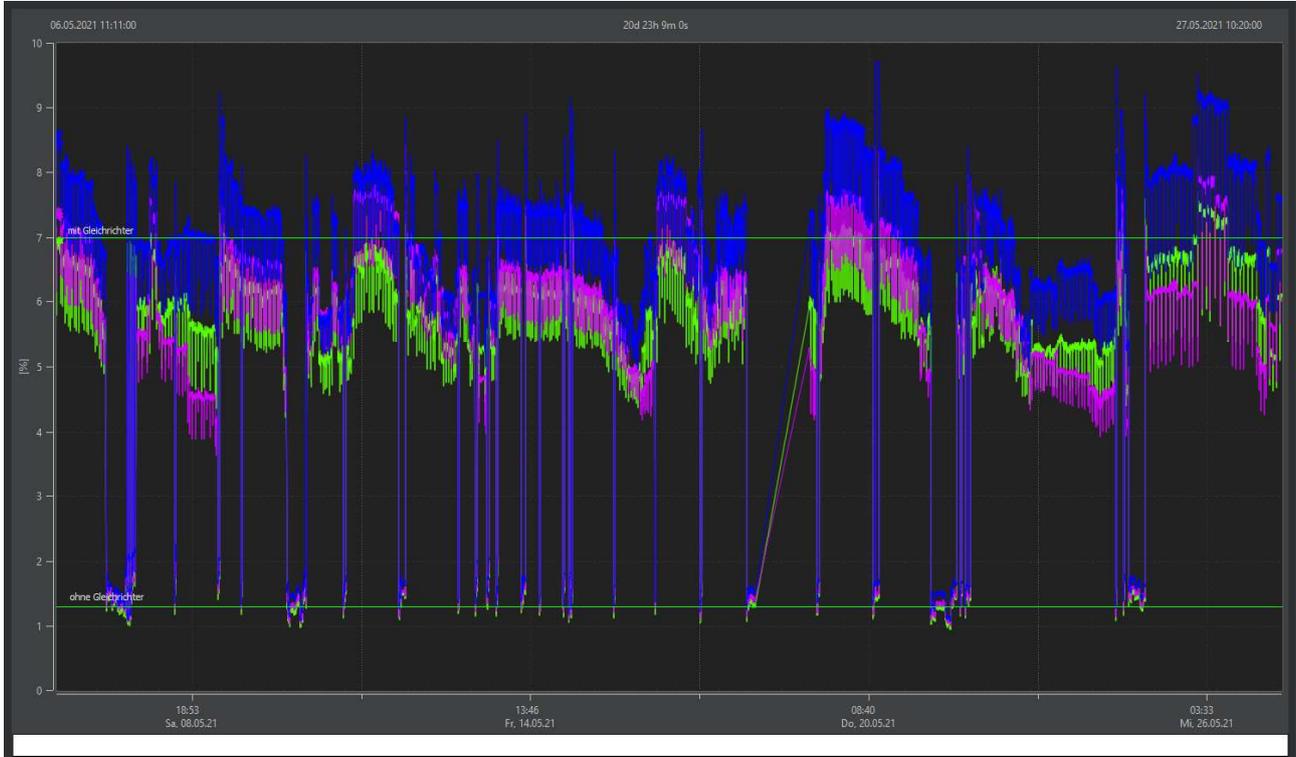
Es ist somit festzustellen, dass sich die durch die Galvanikanlage emittierten Kommutierungseinbrüche massiv auf das Betriebsverhalten der Verbraucher auswirken und sie damit schädigen. Aus einem anderen Blickwinkel könnte man sagen, dass sich die hier betriebenen Verbraucher unbeabsichtigt wie ein Filter für die Galvanikgleichrichter verhalten, ohne für die Mehrbelastung dimensioniert worden zu sein. Es ist also zielführend, die Galvanikgleichrichter vor Ort zu entstoren, um das restliche Netz zu entlasten.



Gesamtüberschwingungsgehalt der Spannung in [%]

Zeitraum

21 Tage



Im Verlauf des Gesamtüberschwingungsgehalts sind offensichtlich die beiden Betriebszustände mit und ohne Galvanikgleichrichter zu erkennen. Während der THD-U ohne Gleichrichter bei lediglich 1,3 % liegt, werden bei aktiver Anlage zwischen 5 und 9 % erreicht, je nach Außenleiter. Als Grenzwert gibt die Norm hier 8 % vor.

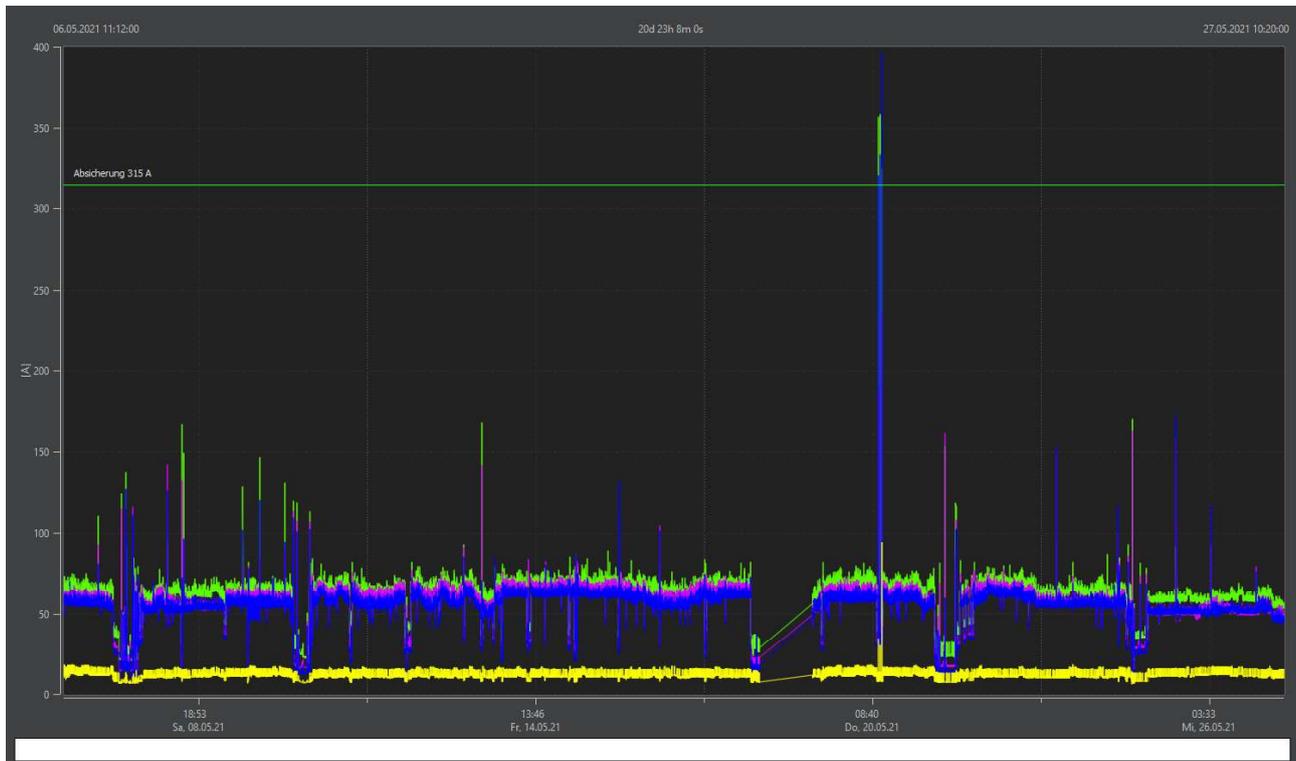
### 3.5 Betrachtung der Strommaximalwerte

■ IL1 max ■ IL2 max ■ IL3 max ■ I Neutral max

10 ms-Maximalwerte des Stroms

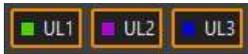
Zeitraum

21 Tage

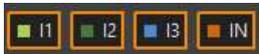


Im Messzeitraum gab es drei Ereignisse, die den Wert der Absicherung von 315 A überstiegen. Alle drei traten kurz hintereinander am Donnerstag, den 20.05.2021, um die Mittagszeit auf. Es wurde ein defekter Frequenzumrichter getauscht und wieder an das Netz geschaltet, was zu den hohen Einschaltströmen geführt hatte. Sie dauerten jeweils nur ca. 5 ms und sollten somit eine träge Schmelzsicherung nicht zum Auslösen bringen. Im restlichen Zeitraum stieg der Strom nie höher als 172 A an und lag damit weit entfernt vom Sicherungswert. Es kann somit nur spekuliert werden, was zu den Sicherungsfällen in der Vergangenheit geführt haben könnte. Eventuell stehen diese Ereignisse im Zusammenhang mit den Defekten der an dieser Verteilung angeschlossenen Betriebsmittel. Sollte dies der Fall sein, muss die Selektivität der Sicherungsorgane überprüft werden. Nach Norm darf nur die unmittelbar dem Verursacher vorgelagerte Sicherung auslösen und den Fehler abschalten, nicht aber eine Sicherung in einer überlagerten Verteilungsebene.

## 4. Messung am Gleichrichter 2



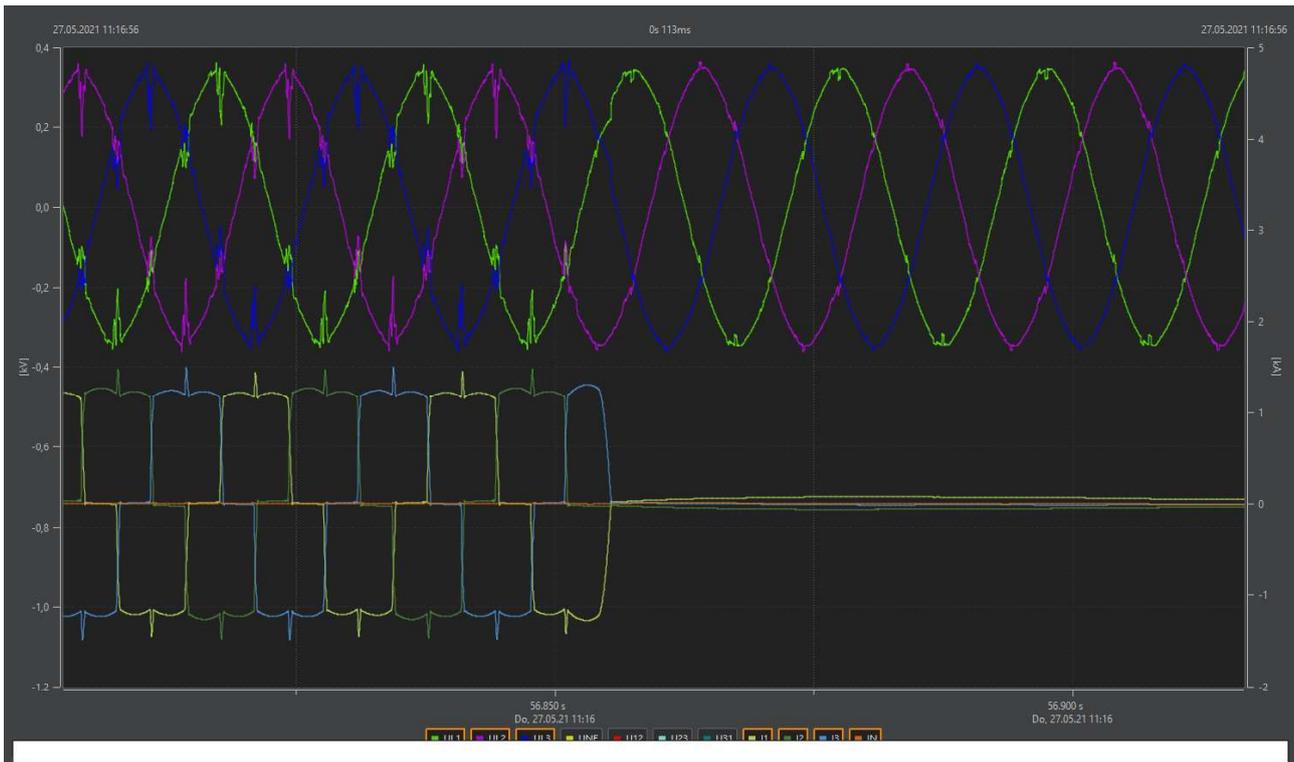
Oszilloskopbild der Strangspannungen in [V]



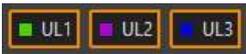
Oszilloskopbild der Ströme in [A]

Zeitraum

27.05.2021 um 11:16 Uhr



Um 11.56 Uhr wurde der Gleichrichter anlässlich der Messung kurzzeitig abgeschaltet. Während des Betriebs im ersten Teil des Diagramms traten die bereits bekannten Kommutierungseinbrüche auf, die hier am Ort des Störers natürlich nochmals ausgeprägter waren. Sowie der Stromfluss in der Mitte versiegt, ist auch die Spannung nicht mehr mit Kommutierungseinbrüchen beaufschlagt, was den Gleichrichter nachweislich zum Verursacher der Netzstörung qualifiziert. Die verbliebenen Einkerbungen, vor allem auf dem Außenleiter L2, sind dadurch begründet, dass der Gleichrichter 1 weiterhin in Betrieb war und dessen Netzurückwirkungen auch bis zu diesem Messpunkt eingetragen werden.



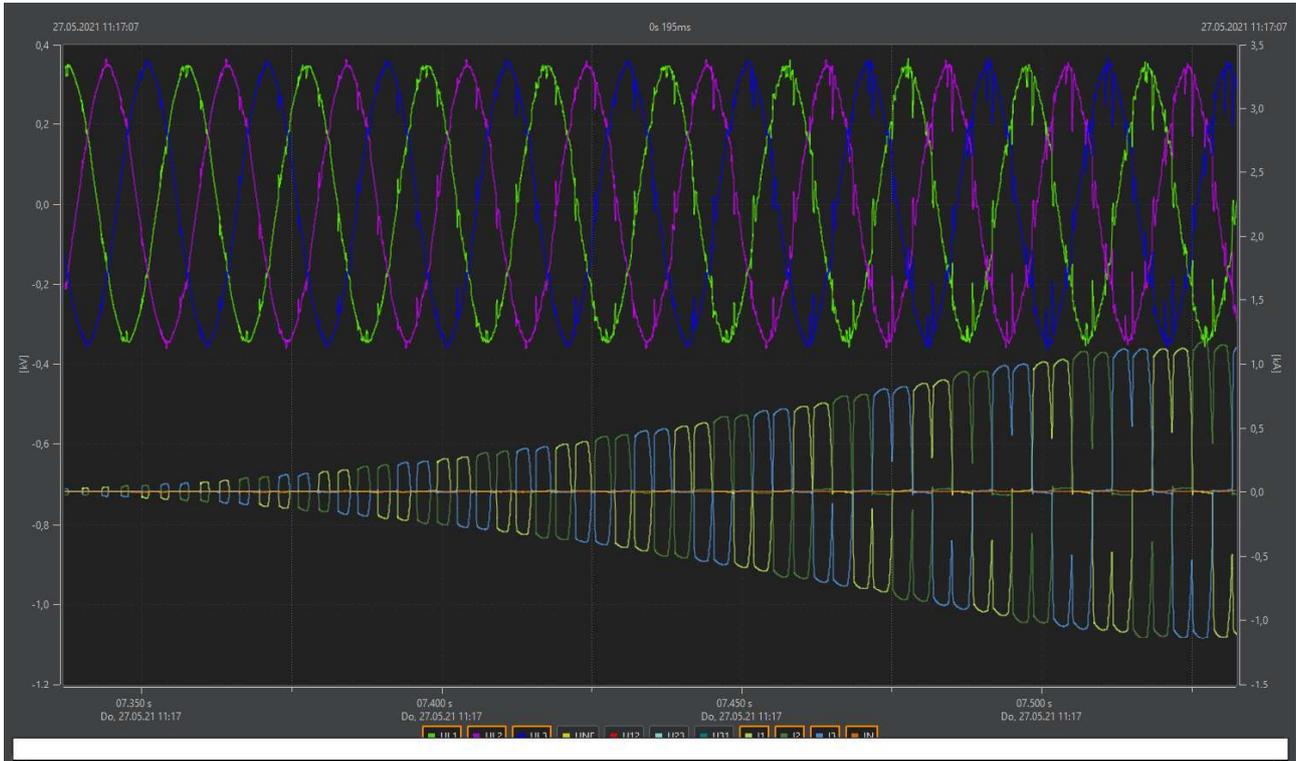
Oszilloskopbild der Strangspannungen in [V]



Oszilloskopbild der Ströme in [A]

Zeitraum

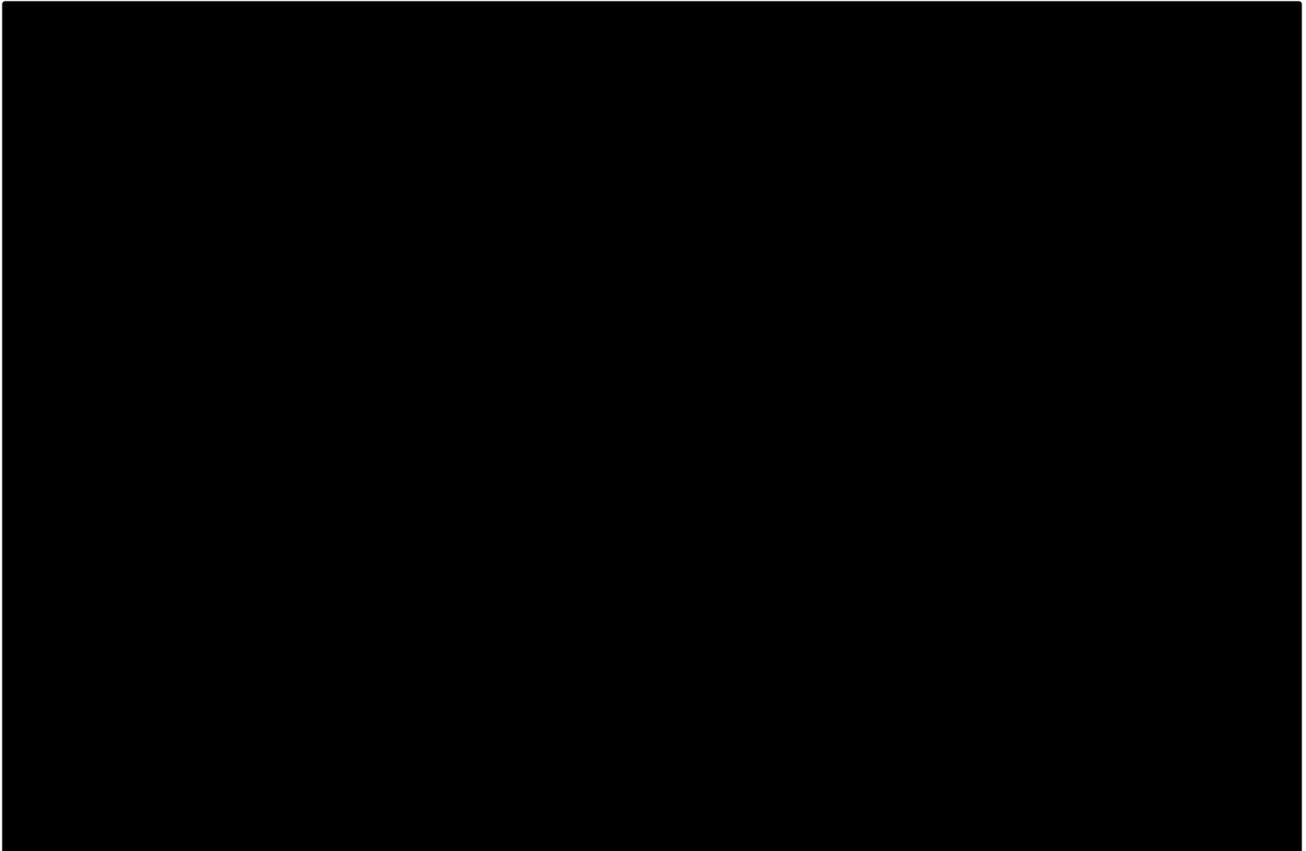
27.05.2021 um 11:17 Uhr



Die gleiche Beobachtung konnte auch beim Anfahren des Gleichrichters gemacht werden. Während die Spannung zunächst in Ordnung war, kann mit ansteigender Last beobachtet werden, wie sie immer mehr in Mitleidenschaft gezogen wird.

## 5. Lösungsvorschläge

### 5.1 Verdrosselung der Gleichrichter



Wie im Schaltbild des Gleichrichters zu erkennen, arbeitet die Phasenanschnittsteuerung –A1 im Eingangskreis ohne jegliche Entstörmaßnahme. Die steilen Lastflanken beim Zünden der Thyristoren führen zu den beobachteten Kommutierungseinbrüchen. Es ist somit zielführend, diese steilen Lastflanken abzuflachen, was typischerweise mit einer Netzdrossel erreicht wird. Ein Einbauvorschlag wurde in den Schaltplan eingezeichnet. Die Drossel besitzt ein stromträges Verhalten und dämpft damit jegliche Stromsprünge. In der Folge wird auch die Spannung weniger durch das Betriebsverhalten des Gleichrichters beeinflusst. Der Richtwert für die Höhe der Verdrosselung beträgt 4 %. Der Hersteller XXX empfiehlt die Netzdrosseln von XXX oder XXX. Leitfabrikat XXX

Sollten die Kommutierungseinbrüche trotz dieser Maßnahme noch nicht weit genug gesenkt werden können, besteht noch die Möglichkeit, die Spannung mit einem netzparallelen RC-Glied weiter zu glätten. Leitfabrikat XXX

## 5.2 Sicherungsfall

Innerhalb des Messzeitraums lagen keine Anzeichen dafür vor, warum der Strom die Sicherung im Abgang der Hauptverteilung im regulären Betrieb zum Auslösen bringen konnte. Selbst die Extremwerte lagen bei lediglich 55 % des Sicherungswerts. Es muss somit davon ausgegangen werden, dass es sich um Fehlerfälle gehandelt haben muss, die mit einem hohen Stromfluss einhergingen. Hierbei ist einzig zu bemängeln, dass aufgrund der vorgeschriebenen Selektivität von Sicherungen nur der fehlerhafte Teil einer Anlage abgeschaltet werden darf, jedoch nicht eine gesamte Unterverteilung. Die Sicherungen sind hierzu gemäß ihrer Auslösecharakteristik zu koordinieren.

Ein weiterer Ansatz wäre, dass das Kabel zwischen Hauptverteilung und Maschinenschrank einen Isolationsfehler aufweist und es dann, beispielsweise durch Feuchtigkeit, zu Überströmen kommen kann. Anzeichen wie beispielsweise Spannungseinbrüche waren jedoch nicht zu messen, es gab aber auch keinen Sicherungsfall im Messzeitraum.

## 5.3 Nachweismessung

Der Erfolg der Entstörmaßnahme sollte durch eine Nachweismessung dokumentiert werden. Hierbei ist festzustellen, ob die Spannungsqualität nun den normativen Anforderungen genügt und somit ein zufriedenstellender Betrieb der Anlage wieder möglich ist. Grundsätzlich empfiehlt es sich, eine permanente Überwachung der Spannungsqualität durchzuführen, um bei einer Störung der Anlage auch auf historische Daten zugreifen zu können und somit einen Bezug zwischen Spannungsqualität und Anlagenverfügbarkeit zu ermöglichen. Produkte zur mobilen und stationären Netzüberwachung finden Sie in unserem Portfolio.

## 6. Protokoll

Es wird versichert, dass alle gemachten Angaben nach Stand der Technik sowie bestem Wissen und Gewissen erfolgten.

Dieser Bericht darf nicht, auch nicht auszugsweise, ohne Genehmigung der A. Eberle GmbH & Co. KG vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

Nürnberg, den 04.10.2023

**A. Eberle GmbH & Co. KG**

i. A. Manuel Polinski

Power-Quality-Sachkundiger (VDE)

A. Eberle GmbH & Co. KG

Frankenstraße 160

D-90461 Nürnberg

Telefon +49(0)911 628108-0

Telefax +49(0)911 628108-99

e-mail [info@a-eberle.de](mailto:info@a-eberle.de)

web [www.a-eberle.de](http://www.a-eberle.de)