

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	1/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter	Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424	

Verteiler:			
Name:	Firma:	Bemerkung:	
H. Jörg Kaiser, Abt.: CC2 Power Plant Technologies	VGB PowerTech e.V.		

Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden vier Kurzschlussversuche an einem GAL-Prüfling vorgenommen, um die Kräfte auf die Stützkonstruktion im Kurzschlussfall zu ermitteln. Es war zu überprüfen, ob die Kräfte denen, die früher durch die Hochschule Coburg im Auftrag der PG in einer Modellrechnung ermittelt wurden, entsprechen.

Die Kräfte wurden während der Versuche an insgesamt 10 Auflagerstellen mit hoher zeitlicher Auflösung über den gesamten Zeitraum des Kurzschlusses erfasst und digital abgespeichert. Zeitsynchron wurden auch die Ströme in den drei Phasen und in den Kurzschlussbrücken zwischen den Hüllen (Hüllenströme) erfasst.

Die Ergebnisse zeigen,

- dass die Spitzen der auftretenden Kräfte in der Größenordnung in etwa den erwarteten Kräften entsprechen.
- Insbesondere zu Beginn des Kurzschlusses wird die Stützkonstruktion durch die von den Hüllen des Prüflings übertragenen Kräfte dynamisch sehr wechselhaft belastet.
- Die Kräfte an den beiden Auflagerstellen eines Hüllenstützpunktes verlaufen nicht gleich. Die Spitzen der Auflagerkräfte treten in der Regel nicht direkt zum Zeitpunkt des Spitzenwerts des Kurzschlussstroms auf, sondern erst zeitlich verzögert.



Bild 1: Prüfling in der Prüfzelle

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	2/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter	Dipl.-Ing. Michael Böer		Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	2
1. Veranlassung und Ziel des Projekts	3
2. Prüfling und dessen Aufbau im Prüffeld des Prüfinstituts	3
3. Messaufbau	7
4. Prüfprogramm, Vorbereitung und Ausführung der Prüfungen	11
5. Prüfergebnisse	14
6. Bewertung der Ergebnisse und Ausblick	17
Anhänge.....	19
1. Anordnung der Messaufnehmer und des Datenerfassungssystems	19
2. Detailzeichnungen Einbau der Kraftaufnehmer	19
3. Liste der verwendeten Messmittel und Identifizierung der Messkanäle	19
4. Liste der aufgezeichneten Datendateien	19
5. Oszillogramme	19
6. Prüfbericht des Prüfinstituts ICMET.....	19
7. Datenblätter und Prüfprotokolle	19
7.1. Datenblatt der Kraftaufnehmer	19
7.2. Prüfprotokolle der Kraftaufnehmer	19
7.3. Datenblatt der Rogowskispulen	20
7.4. Prüfprotokolle der Rogowskispulen	20
7.5. Prüfprotokolle der ICMET Shunts.....	20
8. Detailzeichnungen des Prüflings	20
9. Statische Berechnung der Stützkonstruktion	20
10. Prüfprogramm zum Forschungsantrag	20
11. Fotodokumentation.....	20
12. Videodokumentation.....	20
13. Messdaten	20

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	3/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

1. Veranlassung und Ziel des Projekts

Im Rahmen der Überarbeitung des VGB Standards „Einphasig gekapselte Generatorableitungen“ durch die Projektgruppe GAL wurde IBR durch den VGB PowerTech e.V. beauftragt, ein 3-phasiges Segment einer Ableitung als Prüfling im Detail zu planen, herzustellen, zum Prüflabor zu transportieren, ihn dort aufzubauen und die Kurzschlussversuche gemäß dem in der Projektgruppe beschlossenen Prüfprogramm in Zusammenarbeit mit dem Staatlichen Rumänischen Elektrotechnischen Institut für Forschung, Entwicklung und Prüfung „ICMET“ in Craiova, Rumänien durchzuführen.

Während der Durchführung der Versuche sollten die jeweiligen Messdaten (Ströme, Kräfte) durch geeignete Messdatenerfassungssysteme aufgenommen werden und für eine spätere Auswertung digital gespeichert und gesichert werden.

Die Vorgabe zur Auslegung des Prüflings erfolgte durch die VGB Projektgruppe GAL, die als Prüfling ein 3-phasiges Segment einer Ableitung mit einem 90 Grad Winkel vorgegeben hat. Die Abmessungen des Prüflings entsprechen dabei den Maßen eines GAL-Segmentes, welches auch in einer Modellberechnung der Hochschule Coburg genutzt wurde.

Zu diesem Zweck wurde das vorliegende Forschungsprojekt definiert. Der Zuwendungsvertrag zwischen dem VGB und IBR wurde am 10.01.2019 abgeschlossen. Die Versuche wurden am 19. und 20. Juni 2019 durchgeführt.

Der vorliegende Schlussbericht zum Zuwendungsvertrag wurde nach Durchführung der Prüfungen und Auswertung der Ergebnisse erstellt.

2. Prüfling und dessen Aufbau im Prüffeld des Prüfinstituts

Planung und Herstellung des Prüflings

Der Prüfling wurde in Abstimmung mit den Mitgliedern der Projektgruppe GAL ausgeführt. Im Anhang 8 befinden sich die Detailzeichnungen.

Beim Entwurf waren zum einen die Dimensionierung entsprechend dem Winkel, der in die Modellrechnung der Hochschule Coburg eingegangen ist, aber andererseits auch die Handhabbarkeit bei Transport und Aufbau im Prüffeld zu berücksichtigen. Die Konstruktion des Prüflings sieht vor, dass er für Transport und Aufbau in handhabbare Einzelteile zerlegt werden kann, ohne dass beim Aufbau im Prüffeld Schweißarbeiten erforderlich sind. Deshalb wurden die Kurzschlussbrücken zwischen den Phasenhüllen und auch die Stützkonstruktion selbst an geeigneten Stellen anschraubbar geteilt.

Da für die Stützkonstruktion bei den Versuchen größere dynamische Belastungen zu erwarten waren, wurde vor der Produktion eine statische Nachweisberechnung bei einem von IBR beauftragten Statikbüro durchgeführt.

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	4/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Als Lastfall wurden u.a. die erwarteten Kurzschlusskräfte (max. 10 kN) an jedem Schenkel des Winkels mit einer 50% Reserve angenommen (15 kN). Die rechnerischen Ergebnisse für die Auflagerkräfte aus der räumlichen Stabwerksberechnung werden im Kapitel 6 weiter betrachtet und zur Beurteilung der Messergebnisse mit herangezogen.

Die statische Berechnung findet sich im Anhang 9. In einem Auszug aus der Statischen Berechnung werden explizit die berechneten Auflagerkräfte an den Kraftmessdosen dargestellt. Die Datei „Kräfte an den Messdosen“ ist ebenfalls im Anhang 9 abgelegt.



Bild 2: Verpackungseinheit vor Abtransport im Werk

Besondere Aufmerksamkeit bekam die Auswahl und die Konstruktion des Einbaus der Kraftaufnehmer. Die Anforderungen an die Kraftaufnehmer wurden in der Projektgruppe abgestimmt und bereits im geplanten Prüfprogramm zum Forschungsantrag (siehe Anhang 10) vorgegeben.

Die ausgewählten Kraftaufnehmer für industriellen Einsatz U10M der Firma Hottinger-Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt (HBM) entsprechen diesen Anforderungen und können auf Druck und Zug belastet werden. Biegekräfte müssen soweit möglich vermieden werden. Deshalb ist die Anordnung zum Einbau der Aufnehmer so gestaltet, dass die Aufnehmer an einer Seite fest mit dem Auflager verbunden, und an der anderen Seite gleitend aber fixiert gelagert sind. In Anlage 2 sind die Detailzeichnungen zum Einbau der Aufnehmer zu finden.

Die Anordnung wurde mit dem Hersteller besprochen und dessen Hinweise berücksichtigt. Um die Auflage für die Kraftaufnehmer an den Isolatoren biegesteif zu gestalten, wurde die Befestigungsplatte für Stützer mit Kraftaufnehmern nicht wie üblich aus Aluminium, sondern aus Edelstahl gefertigt. Insgesamt wurde die Anordnung vom HBM als geeignet für die Kraftmessung erachtet.

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	5/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Errichtung des Prüflings im Prüflabor und Vorbereitung der Tests

Die Kraftaufnehmer wurden nicht bereits im Werk installiert, sondern erst kurz vor den Kurzschlussversuchen bei dem staatlichen Rumänischen Elektrotechnischen Institut für Forschung, Entwicklung und Prüfung „ICMET“ in Craiova, Rumänien. Als wesentliches Messmittel wurde neben den Kraftaufnehmern das dazugehörige Messdatenerfassungssystem QuantumX der Firma HBM eingesetzt. Um sicherzustellen, dass die Erfassung der auftretenden Kräfte und die Einrichtung und Bedienung des Messdatenerfassungssystems von Spezialisten der Kraftmesstechnik durchgeführt werden, beauftragte IBR die Rumänische Tochtergesellschaft der HBM Spectromas s.r.l., Bukarest, mit der Montage der Kraftaufnehmer am Prüfling vor Ort, sowie der Planung, dem Aufbau, der Kalibrierung und der Bedienung des Messdatenerfassungssystems während der Prüfungen.

Um die Tauglichkeit des Messdatenerfassungssystems nachzuweisen, führte HBM - Spectromas einige Tage vor den Versuchen eine Überprüfung der Kraftaufnehmer und ihrer Anschlusskabel hinsichtlich Beeinflussung durch elektromagnetische Felder im Prüfinstitut ICMET durch. Dort hatte sich die Gelegenheit ergeben, an einem anderen Test teilzunehmen und die Aufnehmer versuchsweise einzusetzen. Es zeigte sich, dass Aufnehmer und Anschlusskabel zwar ein gewisses Grundrauschen übertragen aber auch bei hohen elektromagnetischen Feldern verlässliche Kraftmesswerte liefern können.



Bild 3: Stützer mit Kraftaufnehmer



Bild 4: Kraftaufnehmer am vertikalen Schenkel

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	6/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter	Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424	

Der Einbau der Kraftaufnehmer wurde entsprechend den Vorgaben der Konstruktionszeichnungen vorgenommen. An einem der Aufnehmer (Kennzeichnung T08, siehe Anordnungszeichnung im Anhang 1) konnte wegen vorliegender Baulerlangen der Stahlkonstruktion keine exakt bündige Montage mit der Gleitplatte erreicht werden, ohne den Kraftaufnehmer vorzuspannen. Die Messwerte des Kanals T08 sind unter diesem Gesichtspunkt zu bewerten, erscheinen aber insgesamt dennoch unverfälscht zu sein.

Nach dem Errichten des Prüflings in der Werkstatt des Prüflabors und dem Einbau der Kraftaufnehmer durch Spektromas wurde der Prüfling in die Prüfzelle transportiert und dort an der Einspeisung vom Prüfgenerator angeschlossen.



Bild 5: Transport des Prüflings zur Prüfzelle



Bild 6: Transport des Prüflings zur Prüfzelle

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	7/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter	Dipl.-Ing. Michael Böer		Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Es ist zu vermerken, dass die Phasenbezeichnung des Prüflings L1, L2, L3 mit denen der Einspeiseanschlüsse in der Prüfwelle des Prüffeldes nicht übereinstimmen, die die Sequenz L3, L2, L1 haben (siehe Anordnungszeichnung im Anhang 1).

Zum Schutz vor möglichen Bewegungen des gesamten Prüflings während der Kurzschlussversuche wurde er in der Prüfwelle an den vorhandenen Halteeisen im Boden in der Nähe der Anschlüsse verschraubt und an der Seite der Winkel mit vorhandenen Gewichten beschwert. Aufgrund dieser Maßnahmen konnte auf ein Verdübeln mit Stahlnägeln verzichtet werden.

Die Erdung des Prüflings wurde an einer Hüllen-Kurzschlussbrücke und an der Stahlkonstruktion durch Erdungskabel vorgenommen.

Nach der endgültigen Positionierung des Prüflings in der Prüfwelle wurde er mit dem Messsystem verkabelt.

3. Messaufbau

Der Messaufbau ist schematisch in der Anordnungszeichnung im Anhang 1 zu entnehmen. Der Prüfling ist in der Prüfwelle positioniert. Die Hochstrom-Anschlüsse erfolgen an der rückwärtigen Seite des Raums mit 5 Kabeln pro Phase. Die Kabel sind wegen des großen Querschnitts und der Ummantelung nur bedingt flexibel.

Das Prüfinstitut registriert selbst die beaufschlagten Prüfströme mit Mess-shunts und Spannungswandlern und führt sie dem hausinternen Messdatenerfassungs- und Verarbeitungssystem zu. Das Prüfinstitut sichert dabei eine Gesamtgenauigkeit der von ihm erfassten Messwerte von 3% zu. Der Aufbau des Prüfstromkreises des Prüffeldes ist dem Prüfbericht von ICMET im Anhang 6 zu entnehmen.

Durch die einstellbaren und bei Bedarf zuschaltbaren Widerstands- und Kapazitätskomponenten kann die Impedanz des Prüfstromkreises mit Prüfling eingestellt werden, um das gewünschte Verhältnis von Anfangskurzschlusswechselstrom zu Spitzenwert zu erreichen.

Unabhängig vom Prüfinstitut wurden durch das von IBR / Spectromas bereitgestellte Messdatenerfassungssystem nicht nur die Messwerte der Kraftaufnehmer, sondern auch die eingespeisten Ströme in den Phasen L1 bis L3 sowie die Hüllenströme zwischen den Hüllen L1/L2 und L2/L3 mittels vom Prüfinstitut zur Verfügung gestellten Rogowskispulen erfasst. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die erfassten Kräfte absolut zeitsynchron mit dem Stromverlauf dargestellt und ausgewertet werden können.

Bei dem IBR-Messdatenerfassungssystem ist von einer Gesamtgenauigkeit von insgesamt 1% für die Kraftmesswerte und von 1,5% für die Strommesswerte auszugehen (Genauigkeit Kraftaufnehmer 0,1%, siehe Datenblatt und Prüfprotokolle im Anhang 7, Genauigkeit Messverstärker 0,1%, Genauigkeit Rogowskispulen mind. 1%)

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	8/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Die Messleitungen - vorkonfektionierte geschirmte Kabel mit Bajonettverschluss zu den Aufnehmern – von den Kraftmessdosen und von den Rogowskispulen wurden in die von der Prüfzelle benachbarten, getrennten Messzelle geführt, wo die Messverstärker geschützt positioniert wurden. Die Messdaten werden vom Messverstärker wegen der hohen Abtastraten (9600 Hz pro Kanal) zwischengespeichert und seriell über eine Ethernet- Verbindung mit hoher Übertragungsrate zum Auswerte-Rechner übertragen. Dort werden die Daten auf der Festplatte abgespeichert.

Um die Datenübertragung vor EMV-Einflüssen zu schützen, erfolgte die Übermittlung über eine optische Glasfaserstrecke.

Eine vom Prüffeld unabhängige Stromversorgung für die Messkanäle, die Messverstärker und die Übertragungsgeräte wurde mit zwei Autobatterien und einem entsprechenden Netzteiladapter gewährleistet.



Bild 7: Verkabelung Kraftaufnehmer

Vom Hersteller der Kraftaufnehmer HBM wird für die Datenerfassung das System der Quantum X-Reihe eingesetzt, welches auch hierbei zum Einsatz kam. Es umfasst neben den Messverstärkern auch über eine passende Software „catman“ zum Konfigurieren, Kalibrieren der Messkanäle, Online-Beobachtung von Messwerten, sichere Abspeicherung der Messdaten und deren spätere

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	9/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Analyse und Auswertung. Die Firma Spectromas verfügt über umfangreiche Erfahrung mit dem Einsatz des Systems.

Aus der Zeichnung „Anordnung Sensoren A“ im Anhang 1 ist die Lage der Messaufnehmer am Prüfling und deren Bezeichnung zu entnehmen. Die Zeichnung beinhaltet auch eine Zuordnungsliste der Bezeichnungen der Messaufnehmer und deren logischen Kanalnamen im Messdatenerfassungssystem.

Die ebenfalls im Anhang 1 vorhandene Anschlussliste zeigt die Zuweisung der Messkanaleingänge der Messverstärker zu den logischen Kanalnamen und den Markierungen der Aufnehmer an. Da die logischen Kanalnamen in den Messdatensätzen mit abgespeichert werden, ist somit eine lückenlose, eindeutige Identifizierung und Zuordnung der erfassten Messdaten zu den Aufnehmern gegeben.

Die exakte Auflistung aller eingesetzten Messmittel mit Hersteller, Produktbezeichnung und deren Seriennummern sowie der Zuordnung zu den einzelnen Messkanälen mit logischen Namen findet sich im Anhang 3.

Datenblätter und Prüfprotokolle der Kraftaufnehmer finden sich im Anhang 7. Dort ist auch ein Datenblatt der verwendeten Rogowskispulen abgelegt.

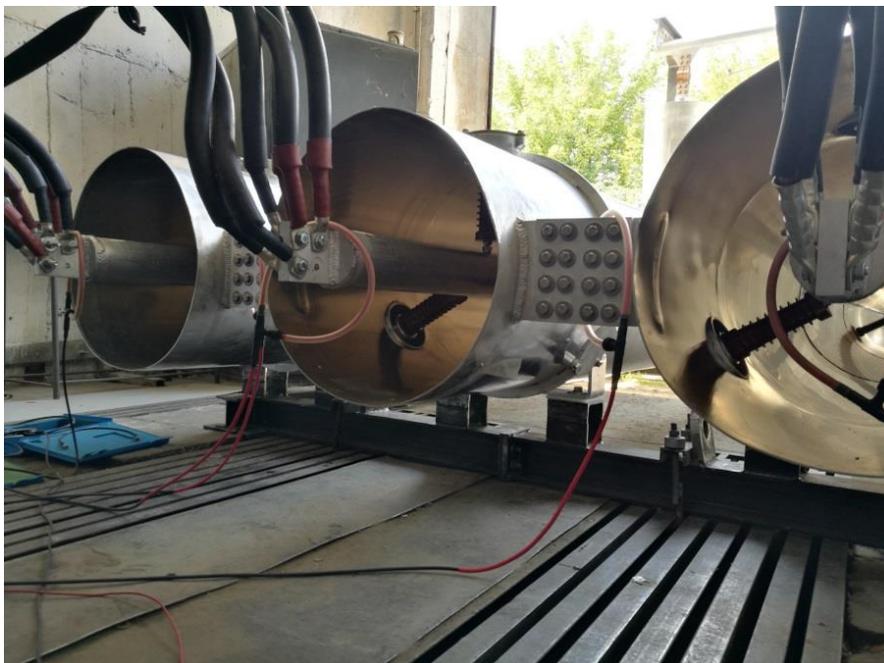


Bild 8: Hochstromanschlüsse und Rogowskispulen

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	10/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		



Bild 9: Prüfling in der Prüfzelle

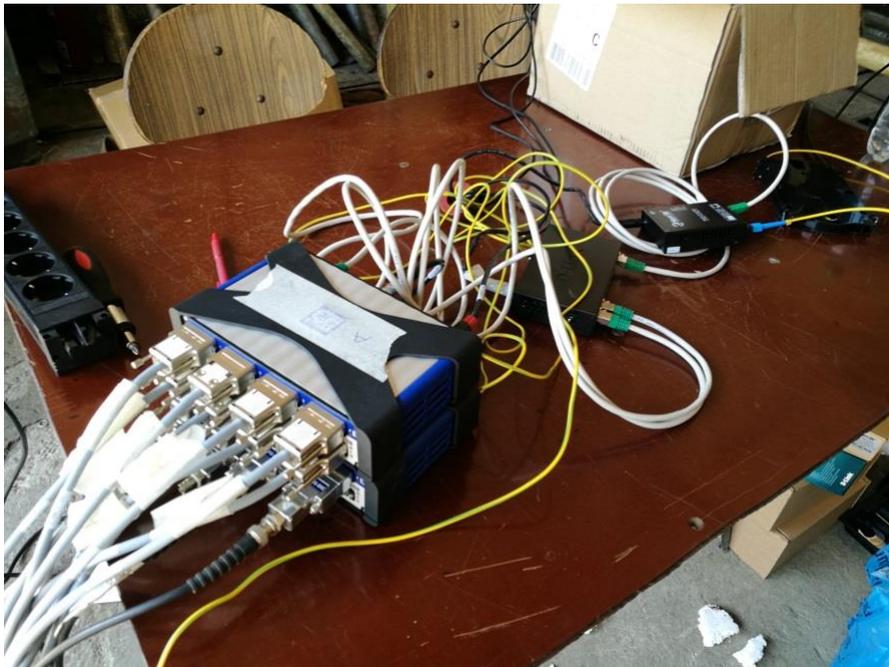


Bild 10: Messverstärker, Fiberoptisches Übertragungssystem

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	11/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter	Dipl.-Ing. Michael Böer				Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424

4. Prüfprogramm, Vorbereitung und Ausführung der Prüfungen

Prüfprogramm, Randbedingungen:

Im Prüfprogramm (siehe Anhang 10) waren zunächst in der Projektgruppe sechs Kurzschlussprüfungen vorgesehen, um den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen Kurzschlussströmen und den Kräften auf die Stützkonstruktion nachzuweisen aber eventuell auch unbekannte Gesetzmäßigkeiten zu erkennen.

Da Kurzschlussströme größer, als 100 kA rms oder 200 kA Spitze nur in wenigen Prüflaboren dargestellt werden können, wurde im Vorfeld von der Projektgruppe eine Beschränkung auf zwei Kurzschlussversuche beschlossen, zu deren Durchführung auch ein konkretes Angebot des Prüfinstituts vorlag:

Versuch Nr.	I_p [kA]	I_k'' [kA]	Dauer [Sek.]
1	150 +/- 5%	55 ... 75	3
2	200 +/- 5%	75 ... 100	3

Während der Durchführung der Prüfungen wurde das Angebot des Prüflabors angenommen, vier Kurzschlussversuche fahren zu können, falls die Dauer der Prüfungen auf je 1 Sekunde beschränkt werde. Die tatsächlich durchgeführten Versuche waren deshalb:

Versuch Nr.	I_p [kA]	I_k'' [kA]	Dauer [Sek.]	Daten File
1	150,8 in L1 (ICMET L3)	60,3	1	No 38
2	175,3 in L1 (ICMET L3)	71,3	1	No 43
3	195,5 in L1 (ICMET L3)	80,5	1	No 47
4	197,9 in L2 (ICMET L2)	81,1	1	No 50

Kalibrierung des Prüfaufbaus und des Messdatenerfassungssystems:

Es wurden insgesamt fünf Kurzschlussversuche zur Kalibrierung des Messdatenerfassungssystems und des Hochstrom Prüfstromkreises des Prüfinstituts durchgeführt. Die Daten dieser Versuche wurden aufgezeichnet.

Bei der Vorbereitung der Prüfungen wurde das Messdatenerfassungssystem in folgenden Schritten eingerichtet:

- Alle Sensoren wurden mit ihrer Seriennummer, charakteristischen Daten aus dem Prüfprotokoll und einem logischen Namen in die Kanaldatenbank mit Hilfe der catman Software eingegeben.
- Die Abtastrate der Kanäle wurde auf 9600Hz (9600 Werte pro Sekunde) eingestellt
- Ein kurzer Belastungstest für jeden Kraftsensor bestätigte, dass der Sensor funktionsfähig ist und erfasst wird.
- Jeder Kraftaufnehmer wurde mit einem Markierungsschild 01 10 markiert. Die Nummern und Kanäle wurden sinnvoll entsprechend der mechanischen Anordnung vergeben.
- Anschließend wurden die Sensoren montiert und nach dem Einbau erneut durch einen kurzen Belastungstest überprüft

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	12/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter	Dipl.-Ing. Michael Böer	Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424			

- Kalibrieren der einzelnen Messverstärkerkanäle auf Null
- Aufnahme der Rogowskispulen und Überprüfung der Kalibrierung der Kanäle durch einige Niedriglastprüfungen unter Primärstrom
- Wiederholung der Niedriglastprüfungen unter Primärstrom auch zwischen den Hauptprüfungen, um die Funktionsfähigkeit des Systems zu gewährleisten.

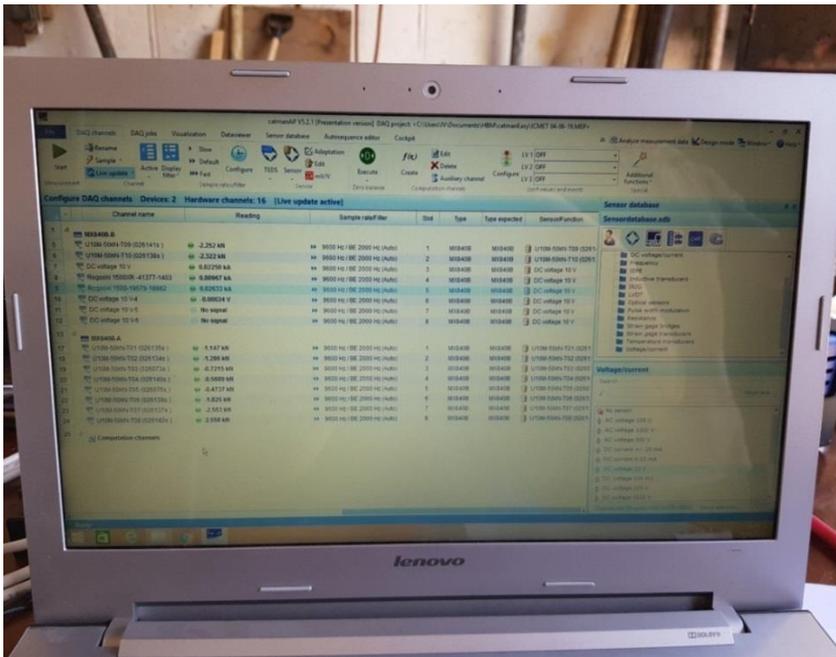
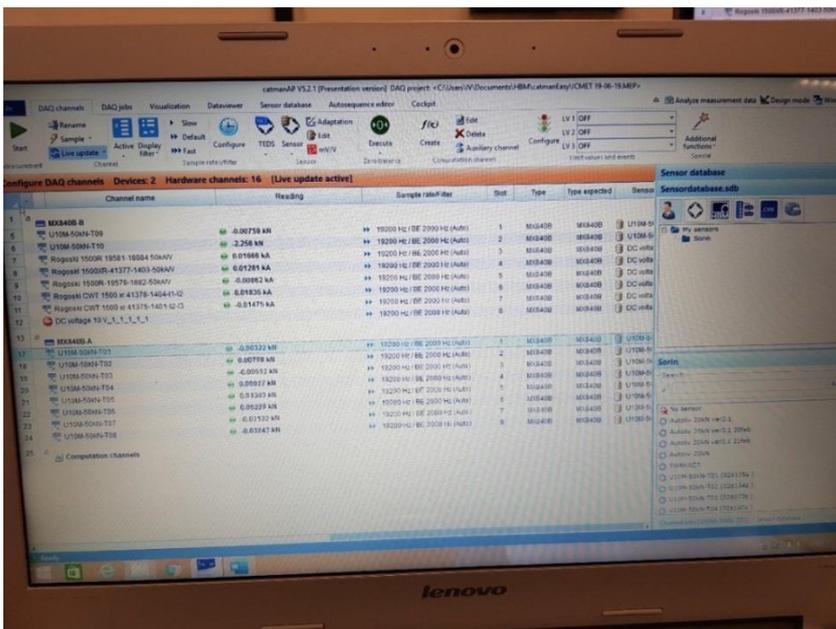


Bild 11: Ausgelesene Kanäle ohne Last vor der Kalibrierung



Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	13/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Bild 12: Ausgelesene Kanäle ohne Last nach der Kalibrierung

Die Kalibrierprüfungen fanden am 19.06 und am 20.06. morgens statt.

Der Vergleich des Verlaufs der mit dem Datenerfassungssystem erfassten Ströme mit den Oszillogrammen des Prüfinstituts hat ergeben, dass deren Polarität umgekehrt dargestellt wird. Dies ist beim Lesen des Testberichts des Prüfinstituts zu berücksichtigen.

Durchführung der Prüfungen:

Am 20.06. um 11:28 Uhr konnte der erste „scharfe“ Kurzschlussstest im Beisein mehrerer Mitglieder der Projektgruppe gestartet werden.

Der Start der Messdatenaufnahme erfolgte durch mündliche Koordination mit dem Schaltmeister des Prüflabors der das Zuschalten des Kurzschlussstroms durch Herunterzählen ankündigte. Das Messsystem wurde jeweils ca. 0,5 Sekunden vor dem Eintreten des Kurzschlusses gestartet. Nach dem Abschalten des Kurzschlussgenerators wurde die Aufzeichnung des jeweiligen Versuches manuell gestoppt.

Während der Aufzeichnung wurden ausgewählter Kanäle auf dem Bildschirm des Auswerterechners online dargestellt und mit Videoaufnahmen des Verlaufs festgehalten.

Die Messdaten aller Kanäle werden in Messdatendateien im ASCII – Format (.TXT) und im Catman – Format .TSX abgelegt. Die Namen der Messdatendateien werden dabei automatisch mit Zeitstempel im Namen erzeugt.

Alle Dateien mit den erfassten Messdaten sind in der „Liste der aufgezeichneten Datendateien“ im Anhang 4 gelistet. Eine kurze Beschreibung des Inhalts der Datei und der Name der zugehörigen Videoclip-Datei sind vermerkt.

Die Messdaten sind in dem allgemein lesbaren ASCII-Format, Datei-Erweiterung .txt, abgelegt. Die entsprechenden Verweisdateien mit der Datei-Erweiterung .tsx ermöglicht das Einlesen der Daten in das catman-Programm.

Alle Dateien mit den Messdaten sowie die entsprechenden Videodateien wurden dem VGB durch Hochladen auf dessen Website https://www.vgb.org/PG_Generatorableitung_upload.html zur Verfügung gestellt. Dort wurden auch die Aufnahmen der Fotodokumentation des Projekts abgelegt. Der Zugang zu den Messdaten durch Dritte ist noch zu regeln.

Die Dateien stehen auch bei IBR auf elektronischem Datenträger zur weiteren Auswertung zur Verfügung und sind dort als Back-up gesichert. Das Volumen der Messdaten ist ca. 2 GB, das der Videodateien ca. 650 MB. Die Fotodokumentation hat ca. 200 MB.

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	14/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		



Bild 12: Mitlaufende Beobachtung der Messwerte beim Versuch

5. Prüfergebnisse

Die erste Auswertung der Messdaten wurde mit einer kostenlosen Evaluierungsversion des Programms catman durchgeführt. Die Auswertung beschränkt sich auf die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Messdaten in Oszillogrammen, die im Anhang 5 abgelegt sind.

Für jeden der vier Kurzschlussversuche wurden je 8 Oszillogramm-Blätter erstellt, auf denen die folgenden kurven dargestellt sind (für xxkA steht jeweils für 150kA, 175kA, 200kA:

- Dateiname xxkA L1 H L1: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Horizontalen** Auflagern der Hülle der Phase **L1** (Kraftaufnehmer T01 und T02)
- Dateiname xxkA L1 H L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Horizontalen** Auflagern der Hülle der Phase **L2** (Kraftaufnehmer T05 und T06)
- Dateiname xxkA L1 V L1: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Vertikalen** Auflagern der Hülle der Phase **L1** (Kraftaufnehmer T03 und T04)
- Dateiname xxkA L1 H L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Vertikalen** Auflagern der Hülle der Phase **L2** (Kraftaufnehmer T07 und T08)

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	15/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

- Dateiname xxkA L1 IS L1 L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden Stützer-Isolatoren der Leiter der Phasen **L1** und **L2** (Kraftaufnehmer T09 und T10)
- Dateiname xxkA L1 Hüllenströme: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit den gemessenen Hüllenströmen zwischen den Hüllen der Phasen **L1** und **L2** bzw. **L2** und **L3**
- Dateiname xxkA L1 Überlagerung Auflager L1: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden horizontalen Auflagern der Hülle der Phase **L1** und der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden vertikalen Auflagern der Hülle der Phase L1
- Dateiname xxkA L1 Überlagerung Auflager L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L1** zeitlich korreliert mit der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden horizontalen Auflagern der Hülle der Phase **L2** und der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden vertikalen Auflagern der Hülle der Phase L2

Bei dem zweiten Versuch mit 200 kA war das Kurzschlussstrom-Maximum in der Phase L2. Die entsprechenden Oszillogramm-Dateien lauten daher:

- Dateiname 200kA L2 H L1: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Horizontalen** Auflagern der Hülle der Phase **L1** (Kraftaufnehmer T01 und T02)
- Dateiname 200kA L2 H L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Horizontalen** Auflagern der Hülle der Phase **L2** (Kraftaufnehmer T05 und T06)
- Dateiname 200kA L2 V L1: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Vertikalen** Auflagern der Hülle der Phase **L1** (Kraftaufnehmer T03 und T04)
- Dateiname 200kA L2 H L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden **Vertikalen** Auflagern der Hülle der Phase **L2** (Kraftaufnehmer T07 und T08)
- Dateiname 200kA L2 IS L1 L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit den gemessenen Kräften an den beiden Stützer-Isolatoren der Leiter der Phasen **L1** und **L2** (Kraftaufnehmer T09 und T10)
- Dateiname 200kA L2 Hüllenströme: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit den gemessenen Hüllenströmen zwischen den Hüllen der Phasen **L1** und **L2** bzw. **L2** und **L3**

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	16/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter	Dipl.-Ing. Michael Böer		Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

- Dateiname 200kA L2 Überlagerung Auflager L1: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden horizontalen Auflagern der Hülle der Phase **L1** und der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden vertikalen Auflagern der Hülle der Phase L1
- Dateiname 200kA L2 Überlagerung Auflager L2: Drei Phasenströme mit Kurzschlussstrom-Maximum in Phase **L2** zeitlich korreliert mit der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden horizontalen Auflagern der Hülle der Phase **L2** und der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden vertikalen Auflagern der Hülle der Phase L2

In dem Oszillogramm „Vergleich 1“ wird beispielhaft das Ergebnis einer weitergehenden Auswertung der Messdaten mit dem Kurzschlussstrom-Maximum in Phase L1 dargestellt. Hier sind zeitlich korreliert:

Die Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden vertikalen Auflagern der Hülle der Phase L1, überlagert mit der Summierung der gemessenen Kräfte an den beiden vertikalen Auflagern der Hülle der Phase L2 jeweils für drei Kurzschlussversuche mit 150kA, 175kA und 200kA. Alle Messwertsummierungen wurden mit einem gleitenden Mittelwertverfahren aus jeweils 16 Datenwerten im Fenster gefiltert, um die Darstellung zu glätten. In den Kurven sind jeweils die Maxima der gemessenen Kräfte mit Angabe des Zeitpunktes und Wertes in kN angegeben.

Bei allen Oszillogrammen wird der zeitliche Bereich von ca. 250 ms ab Eintritt des Kurzschlusses dargestellt. Die gespeicherten Messwertdateien umfassen natürlich den gesamten Zeitbereich von ca. 0,5 Sekunden vor Eintritt des Kurzschlusses bis ca. 2 Sekunden nach Abschaltung des Kurzschlussstromes.

Es ist zu beachten, dass die Zeitachse in den Oszillogrammen bei den unterschiedlichen Kurzschlussversuchen verschoben ist, da die Zeit bei den Versuchen jeweils ab Start des Messdatenaufnahmesystems mit Null beginnt und nicht mit dem tatsächlichen Eintritt des Kurzschlusses.

In der folgenden Tabelle sind zusammenfassend die gemessenen Maximal-Werte der Kräfte an den einzelnen Messpunkten dargestellt (geglättete Kurven):

Versuch Nr.	Sensor T01 [kN]	Sensor T02 [kN]	Sensor T03 [kN]	Sensor T04 [kN]	Sensor T05 [kN]	Sensor T06 [kN]	Sensor T07 [kN]	Sensor T08 [kN]	Sensor T09 [kN]	Sensor T10 [kN]
1	4,30	3,08	3,75	3,68	2,80	3,24	3,40	3,32	1,30	5,41
2	4,63	3,11	4,92	3,66	4,16	3,86	3,75	3,70	1,69	4,72
3	5,98	2,34	5,44	6,07	4,91	4,82	4,95	4,55	2,56	6,60
4	5,73	3,63	5,14	4,16	3,43	4,29	3,76	3,06	2,72	7,21

Es ist hier zu beachten, dass die Maxima zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftraten.

Die weiterführende wissenschaftliche Analyse der Messdaten ist nicht Gegenstand dieses Projekts und sollte durch weitere Fachleute aus dem Kreis der Projektgruppe oder auch denen des bereits früher involvierten Instituts an der Uni Coburg durchgeführt werden.

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	17/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

6. Bewertung der Ergebnisse und Ausblick

Die Bewertung der Ergebnisse kann durch Vergleich mit erwarteten Werten durchgeführt werden.

Dabei stehen die rechnerischen Ergebnisse der IBR Berechnung und nach der „Simelectro-Formel“ für den gegebenen Prüfling und die tatsächlich aufgetretenen Kurzschlussströme zur Verfügung. (Die Berechnungsmethoden sind firmenintern):

Versuch Nr.	I_p [kA]	$I_{k''}$ [kA]	F im Winkel IBR Berechnung [kN]	F im Winkel Simelectro [kN]
1	150,8 in L1 (ICMET L3)	60,3	5,15	6,46
2	175,3 in L1 (ICMET L3)	71,3	6,95	8,72
3	195,5 in L1 (ICMET L3)	80,5	8,65	10,85
4	197,9 in L2 (ICMET L2)	81,1	8,86	11,12

Die angegebenen Kräfte sind dabei nicht die Auflagerkräfte an den Kraftaufnehmern, sondern die Kräfte an den Schenkeln des Leiters in geringem Abstand vom Winkel. Da beim Prüfling die Hüllenstützpunkte sehr nah an den Stützisolatoren liegen, werden die am Leiter angreifenden Kräfte in erster Näherung direkt auf die Hüllenstützen übertragen. Demzufolge müssten Kräfte in etwa der Hälfte der angegebenen Kräfte an beiden Kraftaufnehmern eines Stützpunkts zu erwarten sein, die Summierung der Kräfte an beiden Kraftaufnehmern eines Stützpunkts dagegen sollten mit den berechneten Werten näherungsweise übereinstimmen.

In der folgenden Tabelle sind die tatsächlich gemessenen maximalen Kräfte den theoretisch berechneten Werten gegenübergestellt.

Vers. Nr.	I_p [kA]	$I_{k''}$ [kA]	Maximale Kraft gemessen* [kN]	F im Winkel IBR Berechnung [kN]	F im Winkel Simelectro [kN]
1	150,8 in L1 (ICMET L3)	60,3	3,98	5,15	6,46
2	175,3 in L1 (ICMET L3)	71,3	7,02	6,95	8,72
3	195,5 in L1 (ICMET L3)	80,5	8,07	8,65	10,85
4	197,9 in L2 (ICMET L2)	81,1	8,18	8,86	11,12

* Summierung der Kräfte an den beiden Stützpunkten am vertikalen Auflager der Hülle, geglättete Kurven (siehe auch Oszillogramm „Vergleich 1“)

Die Tabelle zeigt: Die erfassten Werte liegen in der erwarteten Größenordnung.

Die Bewertung der Oszillogramme ergibt zudem: Wegen der asymmetrischen Belastung des Prüflings, durch das Auftreten der Spitzenwerte der Ströme in den 3 Phasen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und in unterschiedlicher Größe, werden dynamische Schwingungen in die Stützkonstruktion eingetragen, die zu zeitlich ungleicher Belastung der Fußpunkte führen.

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	18/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Insbesondere zu Beginn des Kurzschlusses wird die Stützkonstruktion durch die von den Hüllen des Prüflings übertragenen Kräfte dynamisch sehr wechselhaft belastet. Die Kräfte an den beiden Auflagerstellen eines Hüllenstützpunktes verlaufen nicht gleich. Die Spitzen der Auflagerkräfte treten in der Regel nicht direkt zum Zeitpunkt des Spitzenwerts des Kurzschlussstroms auf, sondern erst zeitlich verzögert.

Wie oben erwähnt, wurde für die Stützkonstruktion eine dreidimensionale statische Nachweisberechnung mit dem Programm RSTAB durchgeführt. Die nachfolgende Bewertung bezieht sich auf die Statikberechnungen in der Datei „Kräfte an den Messdosen.pdf“ im Anhang 9.

Als Lastfall wurden u.a. die erwarteten Kurzschlusskräfte (10 kN) an jedem Schenkel des Winkels mit einer 50% Reserve angenommen (15 kN). Die Angriffspunkte der Kräfte am Leiter gingen dabei gemäß der IBR Standardkalkulation der Kurzschlusskräfte ein: auf beiden Schenkeln ca. 20 cm von der Ecke des Winkels entfernt. Der Lastfall LF5 beispielsweise simuliert die Kurzschlusskräfte im Winkel in Phase L1. Die statische Berechnung ergibt für diesen Lastfall maximale Auflagerkräfte an den beiden horizontalen Fußpunkten unten an Phase L1 (Knoten 81 und 73) in Höhe von 5,90 kN und 5,45 kN und an den beiden vertikalen Fußpunkten der Befestigung der Phase L1 (Knoten 79 und 71) in Höhe von 11,55 kN und 13,37 kN. Daraus ist bereits zu entnehmen, dass sich die auf die Hülle übertragenen Kräfte nicht gleichmäßig auf die beiden Hüllen-Stützpunkte verteilen, sondern wegen der asymmetrischen Beaufschlagung des Prüflings in der Außenphase Verwindungen der Stützkonstruktion auftreten, die sich so niederschlagen. Die Entlastung der horizontalen Fußpunkte ist durch die im vertikalen Leiterschlenkel durch die angenommenen vertikalen Kräfte an den flexiblen Anschlüssen zur Leiterkurzschlussbrücke, die ebenfalls bei der statischen Berechnung berücksichtigt wurden, zu erklären.

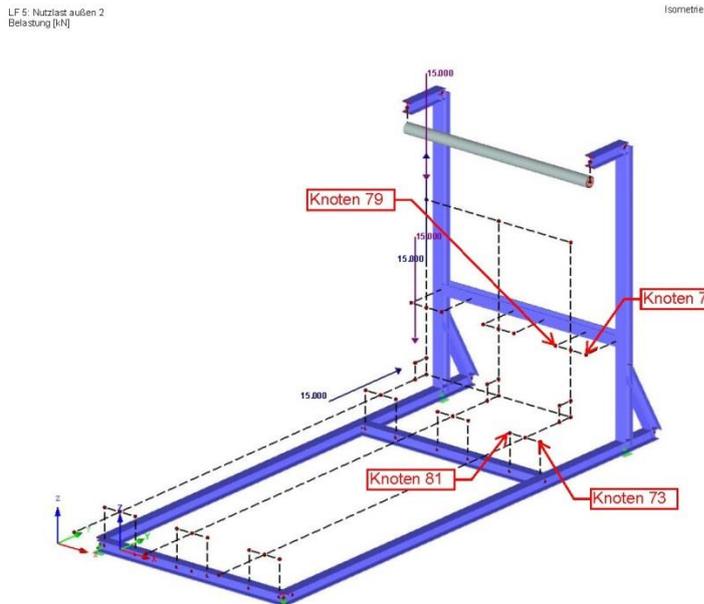


Bild 13 Darstellung LF 5 aus der Statikberechnung

Die tatsächlich gemessenen dynamischen Vorgänge bestätigen die sich bereits in der Statikberechnung ergebenden asymmetrischen Belastungen der Stützkonstruktion.

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	19/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

Anhänge

1. Anordnung der Messaufnehmer und des Datenerfassungssystems

3 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname

“Anhang 1 Anordnung der Messaufnehmer und des Daten-erfassungssystems.pdf“

2. Detailzeichnungen Einbau der Kraftaufnehmer

2 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname “Anhang 2 Detailzeichnungen Einbau der Kraftaufnehmer.pdf“

3. Liste der verwendeten Messmittel und Identifizierung der Messkanäle

2 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname „Anhang 3 Liste der verwendeten Messmittel.pdf“

4. Liste der aufgezeichneten Datendateien

1 Seite, Pdf-Portfolio mit Dateiname „Anhang 4 Liste der aufgezeichneten Datendateien.pdf“

5. Oszillogramme

33 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname „Anhang 5 Oszillogramme.pdf“

6. Prüfbericht des Prüfinstituts ICMET

10 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname „Anhang 6 Prüfbericht des Prüfinstituts ICMET.pdf“

7. Datenblätter und Prüfprotokolle

78 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname „Anhang 7 Datenblätter und Prüfprotokolle.pdf“, gegliedert in folgende Unterordner:

7.1.Datenblatt der Kraftaufnehmer

12 Seiten, Datenblatt der Kraftaufnehmer

7.2.Prüfprotokolle der Kraftaufnehmer

10 Seiten, Prüfprotokolle der Kraftaufnehmer

Berichtart	Datum	Sprache	Ä-Ind	Kurzzeichen	Seite
Prüfbericht	06.05.2020	DE	02	mb/se	20/20
Titel: Schlussbericht VGB Forschungsprojekt Nr. 424		Doc-Id-No: 517004-00-10800088_02			
Projekt-Produkt: Prüfling für Kurzschlussstest – PG GAL Kurzschlussversuche					
Berichter: Dipl.-Ing. Michael Böer			Ref.: Zuwendungsvertrag Proj. Nr 424		

7.3. Datenblatt der Rogowskispulen

2 Seiten, Datenblatt Rogowskispule CWT

7.4. Prüfprotokolle der Rogowskispulen

27 Seiten, Prüfprotokolle der Rogowskispulen

7.5. Prüfprotokolle der ICMET Shunts

27 Seiten, Prüfprotokolle der ICMET Shunts

8. Detailzeichnungen des Prüflings

7 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname "Anhang 8 Detailzeichnungen des Prüflings.pdf"

9. Statische Berechnung der Stützkonstruktion

52 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname "Anhang 9 Statische Berechnung der Stützkonstruktion.pdf"

10. Prüfprogramm zum Forschungsantrag

6 Seiten, Pdf-Portfolio mit Dateiname "Anhang 10 Prüfprogramm zum Forschungsantrag"

11. Fotodokumentation

Die während der Prüfungen aufgenommenen Fotos sind bei Interesse beim VGB anzufragen (www.vgb.org, joerg.kaiser@vgb.org).

12. Videodokumentation

Die während der Prüfungen aufgenommenen Videos sind bei Interesse beim VGB anzufragen (www.vgb.org, joerg.kaiser@vgb.org).

13. Messdaten

Die während der Prüfungen gespeicherten Messdaten-Dateien sind bei Interesse beim VGB anzufragen (www.vgb.org, joerg.kaiser@vgb.org).