



Thema: Tätigkeitssequenz zur Inbetriebnahme eines selektiven 90%igen Ständererd-
Subject: Schlusses nach dem Erdstrom- Differential- Verfahren

Datum: 11.08.2025
Date:

1. Allgemeines zur Wirkungsweise

Speisen mehrere Energieerzeugungsanlagen eine gemeinsame Sammelschiene, so werden die Ständererdschluss- Funktionen eines jeden Energieerzeugers mit einer zusätzlichen Selektivität versehen.

Dadurch soll verhindert werden, dass bei einem eingetretenen Erdschluss im Drehstromsystem, alle Energieerzeuger gleichzeitig vom Netz getrennt werden, auch die, welche gar nicht erdschlussbehaftet sind.

Dazu wird zwischen dem Sternpunkt des Energieerzeugers und dem Maschinenhaus- Erdpotential ein so genannter Erdstromerzeuger angeordnet, der bei Eintritt eines Erdschlusses aus der am Maschinensternpunkt anliegenden Verschiebespannung einen begrenzten und definierten primären Erdstrom generiert, der je nach Lage der Erdschluss- Stelle, über diese zur Maschinenhaus- Erde abfließt und über diese wieder zum Erdstromerzeuger zurückkehrt.

Weiterhin befinden sich im sternpunktseitigen Erdkreis ein geometrisch geeigneter Kabelumbauwandler, meist mit dem Übersetzungsverhältnis 60 / 1 A, mit einer Kernleistung von 1.2 bis 2.5 VA.

Unmittelbar unterhalb des GLS befindet sich ein zweiter Kabelumbauwandler mit dem gleichen Übersetzungsverhältnis, durch den die Generator- Ausleitungskabel hindurchgeführt sind.

Die beiden Sekundärwicklungen der Umbauwandler sind polaritäts- und phasenrichtig parallelgeschaltet und bilden somit an dieser Stelle den vektoriellen Subtraktionspunkt des Systems.

Zusätzlich ist an diesem Subtraktionspunkt noch der Erdstromeingang des Schutzgerätes angeschlossen. Da Stromwandler bekanntlich im „Stromzwang“ arbeiten, stellt sich an diesem vektoriellen Subtraktionspunkt immer die mathematische Beziehung der sekundären Erdströme wie folgt ein:

$$(3I0>_{\text{Sternp.}}) - (3I0>_{\text{Ausleit.}}) = (3I0>_{\text{Schutzger.}})$$

Sind also die sekundären Erdströme der beiden Umbauwandler amplituden-, phasen- und polaritätsgleich, so ist die vektorielle Differenz gleich Null, d.h. das Schutzgerät erhält keinen Erdstrom $3I0>$, vergleichsweise bei einem Erdschluss „außerhalb“. Bei einem Erdschluss „innerhalb“ wird der ausleitungsseitige Umbauwandler nicht vom primären Erdstrom durchflossen, so dass nach der vorstehenden Beziehung der gesamte sternpunktseitige primäre Erdstrom in den Erdstromeingang des Schutzgerätes hineinfließt und damit die SES- Funktion anregt und auslöst.

Aus den vorstehend beschriebenen physikalischen Gegebenheiten erklärt sich die selektive Wirkung der Erdstrom- Differentials- Schaltung, deren Einmessung nachfolgend beschrieben wird.

2. Erforderliche Messtechnik zum Abgleich und Inbetriebnahme einer SES-Erdstrom- Differential- Schaltung

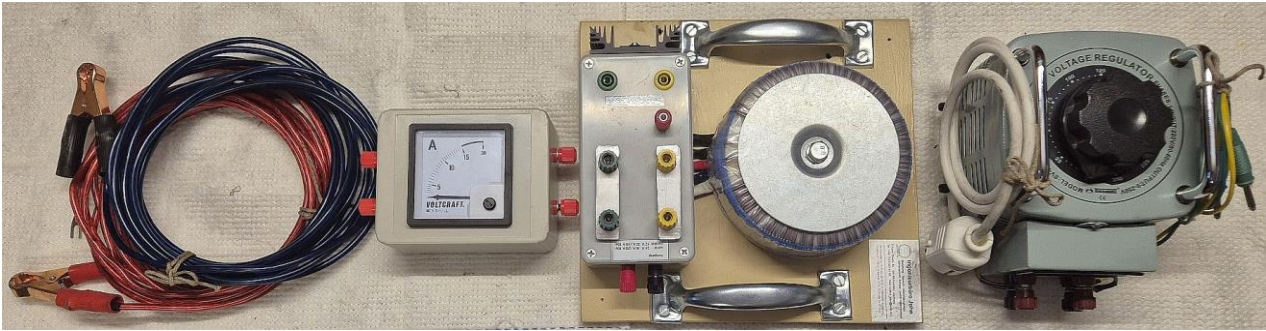
Das Einmessen einer Erdstrom- Differential- Schaltung erfolgt überwiegend im Stillstand des Energieerzeugers, d.h. vor dem Anfahren des Turbosatzes.

Da der so genannte originale Erdstrom- Erzeuger den Erdstrom aus der Verschiebespannung generiert und diese im Stillstand auch nicht vorhanden ist, muss der Inbetriebnehmer, oder sein Entsendungsbetrieb einen zweckentsprechenden externen Erdstromerzeuger beistellen.

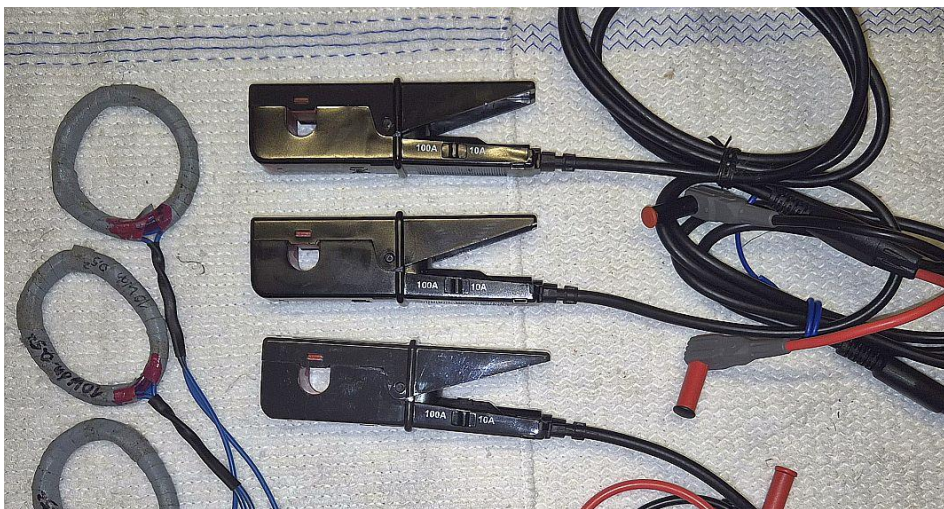
- 1 x Externer regelbarer Erdstrom- Erzeuger, Regelbereich sollte einen Bereich von 0 A bis 20 A AC umfassen
- 1 x Anzeigeeinheit für den eingespeisten primären Erdstrom
- 3 x Kleinstromzangen zum Messen der sekundären Erdströme ($3I0>_{\text{Sternp.}}$), ($3I0>_{\text{Ausleit.}}$) und ($3I0>_{\text{Schutzger.}}$)
- 1 x Durchführungs- Strommesser mit Rogowski- Stromsensor

Die vorstehend genannte messtechnische Ausrüstung des Ing.- Büros John ist nachfolgend abgebildet.

Externer Erdstrom- Erzeuger



Ministromzangen mit Multiplikatorspulen



Rogowski- Strommesser



3. Durchzuführende Messungen im Stillstand des Energie- Erzeugers (RDV- Drehzahl ist auch möglich)

3.1. Messung der Potentialausgleichsströme über die Schirmerden evtl. vorhandener Zuleitungskabel

Da sich der Aufstellungsort des Energieerzeugers in der Regel nicht unmittelbar neben dem generator- Leistungsschalter (GLS) befindet, sind zur Verbindung der beiden Baugruppen abgeschirmte HS- Kabel installiert.

Dabei können, je nach Größe des Energieerzeugers, mehrere Kabel pro Phase parallelgeschaltet sein.

Die Schirme aller Kabel sein am generatorseitigen Ende mit der Gehäuseerde des Generators und am anderen Ende mit der Potentialerde in Leistungsschalter- Nähe verbunden.

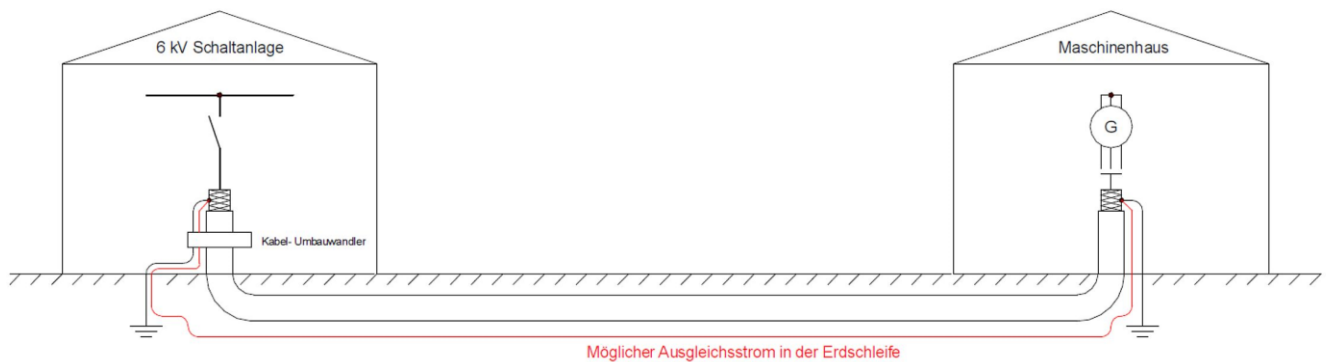
Je nach Entfernung der beiden Erdungsstellen können geringfügige Potentialunterschiede von mehreren Volt auftreten, die über die niederohmigen Kabelschirme Potential- Ausgleichsströme in bedeutender Höhe treiben können.

Diese Ausgleichsströme durchfließen auch die in der Leistungsschalter- Nähe angeordneten Kabelumbauwandler und würden somit als Störanteile auf die sekundären Erdströme aufaddiert.

Um dies zu vermeiden, müssen die Potentialleitungen der Kabelschirme in umgekehrter Flussrichtung wieder durch die Umbauwandler zurückgeführt und dann geerdet werden. Dadurch findet eine Subtraktion der Ausgleichsströme statt, damit diese nicht auf die Sekundärseite der Umbauwandler übertragen werden können.

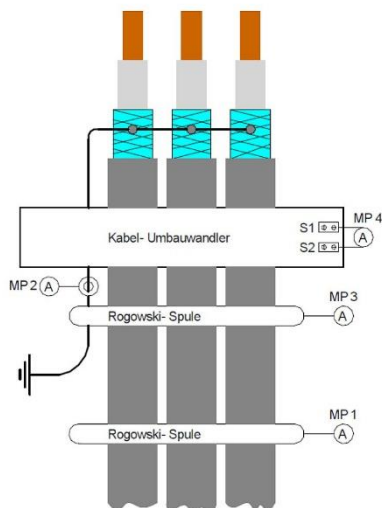
Die nachfolgenden Skizzen zeigen einen möglichen Kabelverlauf, wenn sich die Aufstellungsorte des Energieerzeugers und des GLS etwa in unterschiedlichen Gebäuden befinden.

Weiterhin ist das Prinzip der Subtraktion von Ausgleichsströmen in den Kabelschirmen durch die Kabelumbauwandler dargestellt.



Die vorstehende Skizze eine mögliche Konstellation zur Entstehung von Ausgleichsströmen infolge einer so genannten Erdschleife, in der über die Kabelschirmerde zwei Erdungspunkte mit abweichenden Potentialen miteinander verbunden werden.

Im linken Teil des Bildes ist auch die prinzipielle Rückführung des Schirmstromes durch den Umbauwandler, zu erkennen.



Das nebenstehende Bild zeigt die obige Kompensation der, in den Kabel-Schirmen fließenden Ausgleichströme und mögliche Messpunkte zur Erfassung dieser, im Grunde genommen Störgröße.

Im Ergebnis dieser Messungen an den einzelnen Messpunkten kann folgendes festgestellt werden:

- Bei Verwendung mehrerer Kabelumbauwandler besteht die Möglichkeit, die rückgeführten Schirmströme in der Zuordnung der Umbauwandler zueinander zu vertauschen.
- Werden die Schirmströme aller parallelgeschalteten Kabel in korrekter Richtung durch den Umbauwandler zurückgeführt?
- Entspricht das Ergebnis $MP1 - MP2 = MP3$?

3.1.1. Messung bei stehender Maschine und ohne Fremdeinspeisung

MP1 = A
 MP2 = A
 MP3 = A
 MP4 = mA

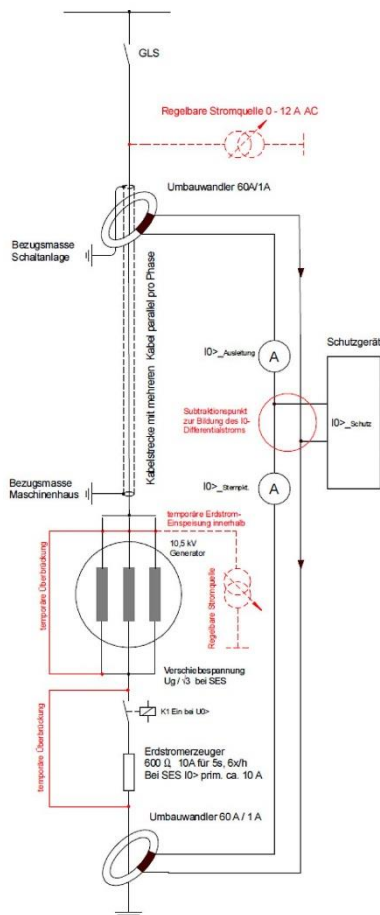
3.2. Messung bei stehender Maschine mit eingespeisten Erdströmen vom externen Erdstromerzeuger

3.2.1. Vorbereitung des Generators zur Durchführung der Messungen

Bei diesen Messungen wird der externe Erdstromerzeuger jeweils nacheinander an die Kabelenden der drei Phasen, unterhalb des GLS, angeschlossen und primäre Erdströme in den Größenordnungen zwischen 0 A und 12 A eingespeist. Dabei werden die sekundären Erdströme der Umbauwandler ($3I_{0>_Stemp.}$), ($3I_{0>_Ausleit.}$) und ($3I_{0>_Schutzger.}$) gemessen.

Damit der Erdstromerzeuger die vorstehenden Primärströme, vom GLS beginnend bis zum sternpunktseitigen Umbauwandler treiben kann, müssen die in diesem Kreis vorhandenen Impedanzen, wie die Ständerwicklung des Generators und die Primärwicklung des im Sternpunkt befindlichen originalen Erdstromerzeugers, kurzgeschlossen werden.

Die nachfolgende Skizze zeigt das Prinzip.



Die nebenstehende Skizze zeigt die Gesamtschaltung eines selektiven 90%igen Ständererdschlusses- Schutzes mit Erdstrom- Differential- Schaltung.

Damit die regelbare Erdstromquelle mit relativ geringer Kernleistung auch den eingespeisten Erdstrom vom GLS bis zum sternpunktseitigen Umbauwandler treiben kann, müssen dazu die im Erdstromkreis befindlichen Impedanzen überbrückt werden, in der nebenstehenden Skizze rot dargestellt. Danach kann mit den Messungen begonnen werden.

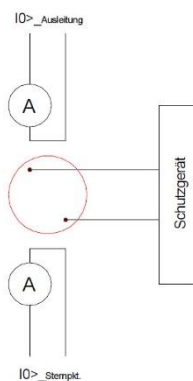
3.2.1.1. Messung, $I_{0>}$ prim. Einspeisung „außerhalb“

Zur ersten Messung wird der Sekundärkreis der Umbauwandler aufgetrennt und ein Amperemeter direkt an die Sekundäranschlüsse des ausleitungsseitigen Umbauwandlers angeschlossen. Sind an dieser Stelle mehrere Wandler verbaut, ist die Messung an jedem Wandler zu wiederholen.

Nun wird von der regelbaren Stromquelle ein primärer Erstrom in Stufen von 0 A bis ca. 12 A in die Kabelenden unterhalb des GLS eingespeist und der dazugehörige Sekundärstrom gemessen, d.h. die Übertragungsfunktion der ausleitungsseitigen Umbauwandler aufgenommen.

Ziel dieser Messung ist es, dass „Füllungsverhältnis“ des Umbauwandler-Durchführungs-Durchmessers zum Kabeldurchmesser zu beurteilen. Je ungünstiger dieses Verhältnis wird, umso mehr weicht das wirksame Übersetzungsverhältnis bei kleinen Strömen von der Nennübersetzung des Wandlers ab, so dass der physikalische Ansatz zur Wirkung der Erdstrom-Differential- Schaltung nicht mehr gegeben ist und dadurch der SES-Überwachungsbereich deutlich eingengt wird.

Nach Abschluss der Messungen ist der ausleitungsseitige Umbauwandler wieder in den Sekundärkreis einzubinden.



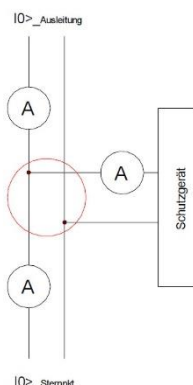
3.2.1.2. Messung, $I_{0>}$ prim. Einspeisung „außerhalb“

Die zweite Messung erfolgt im Schutzschrunk, direkt an der Klemmleiste, an der die Erdstrom- Differenz gebildet wird.

Wie im nebenstehenden Bild dargestellt, ist der Differenzierungspunkt zu öffnen die Zuleitungen von beiden Umbauwandlern mit einem Amperemeter, isoliert voneinander abzuschließen.

Nun wird von der regelbaren Stromquelle ein primärer Erstrom in Stufen von 0 A bis ca. 12 A in die Kabelenden unterhalb des GLS eingespeist und der dazugehörige Sekundärstrom gemessen, d.h. die Übertragungsfunktionen beider Umbauwandler aufgenommen.

Ziel dieser Messung ist die Beurteilung des Gleichlaufes beider Umbauwandler.



3.2.1.3. Messung, $I_{0>}$ prim. Einspeisung „außerhalb“

Zur dritten Messung wird der Differenzierungspunkt wieder geschlossen und zusätzliche Amperemeter, wie nebenstehend dargestellt, eingebaut.

Nun wird von der regelbaren Stromquelle erneut ein primärer Erstrom in Stufen von 0 A bis ca. 12 A in die Kabelenden unterhalb des GLS eingespeist und die Differentialbildung des Erdstroms aus den beiden Sekundärströmen kontrolliert.

Zusätzlich kann bei dieser Messung die polaritäts- und phasenrichtige Zusammenschaltung der beiden Sekundärwicklungen kontrolliert werden.

3.2.1.4. Messung, $I_{0>}$ prim. Einspeisung „innerhalb“

Die vierte Messung basiert darauf, dass der prim. Erdstrom nichtmehr unterhalb des GLS, sondern im Generatoranschluss-Kasten eingespeist wird. Die vorstehende Skizze zeigt auch diesen Einbauort.

Damit wird der ausleitungsseitige Umbauwandler nichtmehr, sondern nur noch der sternpunktseitige Umbauwandler vom Erdstrom durchflossen.

Diese Konstellation würde auftreten, wenn ein Erdschluss „innerhalb“ des Generators eintreten würde.

Die bei dieser Messung auf den sekundären Umbauwandler- Seiten eingebauten Strommesser entsprechen denen der [Messung 3.2.1.3](#).

Nun wird ebenfalls von der regelbaren Stromquelle erneut ein primärer Erstrom in Stufen von 0 A bis ca. 12 A in die Wicklungsanschlüsse im Generatoranschlusskasten eingespeist und die Differentialbildung des Erdstroms aus den beiden Sekundärströmen kontrolliert. Dabei darf nur der sternpunktseitige Umbauwandler einen Sekundärstrom liefern, der betragsgleich in das Schutzgerät einfließt.

3.3. Messungen bei Nenndrehzahl des Energieerzeugers

3.3.1. Messungen bei eingelegtem einpoligem Erdschluss „außerhalb“, Einbaustelle unterhalb des GLS

Falls sich bei den durchgeführten Messungen im Stillstand des Energieerzeugers keine physikalischen oder mathematischen Abnormalitäten ergeben haben, kann vor dem Anfahren des Turbosatzes unterhalb des GLS an der Phase L1 eine einpolige Erde eingebaut werden.

Weiterhin muss ein temporär ein Hutschienen- Taster im Schutzschrank installiert werden, mit dem der Schütz K1, gemäß vorstehender Skizze, der sich im Erdstromerzeuger (NER) befindet, ein und ausgeschaltet werden kann.

Die Instrumente zum Messen der sekundären Erdströme verbleiben wie in der [Messung 3.2.1.3](#) dargestellt.

Im Generator- Schutzgerät muss die 90%ige SES- Funktion temporär auf „AUS“ parametrieren werden.

Während der nachfolgenden Versuche wird zum Erregen des Generators das originale Erregergerät in der Betriebsart „Hand“ verwendet.

3.3.1.1. Aufnahme der Übertragungsfunktion von $(I_{0>Aussleit.})$, $(I_{0>Sternpkt.})$ und $(I_{0>Diff.}) = f(U_{0>})$

Dabei werden die drei $I_{0>}$ - Ströme an den drei Strommessern abgelesen und die sekundäre Verschiebespannung U_0 am Display des Generator- Schutzgerätes.

Wie bereits an anderer Stelle darauf verwiesen, generiert der im NER befindliche Erdstromerzeuger den primären Erdstrom aus der am Generatorsternpunkt vorhandenen Verschiebespannung U_0 und dem ebenfalls im NER befindlichen Belastungswiderstand, sobald der temporär installierte „Hutschientaster“ betätigt wird.

Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass die „Einzeit“ von K1 nur wenige Sekunden zum Ablesen der Instrumente betragen darf, damit der Belastungswiderstand nicht thermisch überlastet wird.

Als Messreihe schlagen wir folgende sekundären Werte für U_0 vor: 5 V, 10 V, 15 V, 20 V 25 V und 30 V.

Nach grafischer Darstellung der Übertragungsfunktion wird der restliche Teil der Übertragungsfunktion bis $U_0 = 100$ V extrapoliert.

Aus der erhaltenen Übertragungsfunktion kann nun der $I_{0>}$ Wert abgelesen werden, der sich bei einem Erdschluss im Sammelschienensystem einstellen würde, aber dabei noch keine SES- Auslösung generieren darf.

In der Literatur gehen die im Schutzgerät zu parametrierenden Schwellwerte für das Ansprechen der $I_{0>}$ - Funktion weit auseinander. Ein Schwellwert von 2 x dem zu erwartenden $I_{0>}$ Wert bei einem Erdschluss „außerhalb“ bei Nennspannung erscheint mir akzeptabel.

Soweit zur Versuchsdurchführung bei einem Erdschluss „außerhalb“ im Sammelschienensystem der speisenden Maschinen oder dem angeschlossenen Anlagensystem.

Im nachfolgenden Versuch wird nun nachgewiesen, dass bei einem Erdschluss „innerhalb“ der SES- Schutz mit den vorstehend bestimmten $I_{0>}$ Schwellwert auch sicher auslöst.

3.3.2. Messungen bei eingelegtem einpoligem Erdschluss „innerhalb“, Einbaustelle im Generatoranschlusskasten

An dem abgefahrenen und in der RDV- Drehzahl befindliche Turbosatz wird der zuvor unterhalb des GLS eingebaute einpolige Erdschluss wieder demontiert und in den Generatoranschlusskasten, am Wicklungsanschluss L1 montiert.

Die unter der Pos. 3.3.1. angeführten temporären Vorbereitungen behalten auch bei diesem Versuch ihre Gültigkeit.

Auch der Hutschienen- Taster wird bei diesem Versuch weiterhin benötigt.

3.3.2.1. Aufnahme der Übertragungsfunktion von $(I_{0>Ausleit.})$, $(I_{0>Sternpkt.})$ und $(I_{0>Diff.}) = f(U_{0>})$

Auch bei diesem Versuch schlagen wir zur Aufnahme der Übertragungsfunktion die gleiche Staffelung der Verschiebespannung U_0 vor: 5 V, 10 V, 15 V, 20 V 25 V und 30 V.

Bei jedem U_0 - Wert sind die drei $I_{0>}$ - Werte zu notieren, grafisch aufzutragen und ggf. bis zu dem im vorherigen Versuch ermittelten doppelten $I_{0>}$ Wert zu extrapolieren.

Aus dem sich daraus ergebenden U_0 - Wert kann nun der Schutzbereich für diese technische Konstellation bestimmt werden.