

**Anwendung der Stromeinspeisung
(Bulk-Current-Injection)
zur Störfestigkeitsprüfung bei
unterschiedlichen Prüfbedingungen**

Vom Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
der Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Thomas Zwemke
geboren am 31. August 1962 in Hamburg

2001

**Anwendung der Stromeinspeisung (Bulk-Current-Injection)
zur Störfestigkeitsprüfung
bei unterschiedlichen Prüfbedingungen**

	Seite
1 Einleitung.....	1
1.1 Stand von Forschung und Technik	3
1.2 Aufgabenstellung dieser Arbeit	6
2 Stromeinspeisung als Störfestigkeitsprüfverfahren.....	8
2.1 Prinzip der Stromeinspeisung	8
2.2 Stromeinspeisung und Feldeinstrahlung	11
2.2.1 Stromeinspeisung und Feldeinstrahlung bei einfachen Anordnungen.....	13
2.2.2 Stromeinspeisung und Feldeinstrahlung bei komplexen Systemen	18
2.3 Einflussgrößen	24
2.4 Übertragungseigenschaften der Stromzangen	28
2.4.1 Stromeinspeisezange	28
2.4.2 Strommesszange	31
2.5 Kalibriereinrichtung	36
2.5.1 Übertragungseigenschaften des Kalibrierhalters	38
2.5.2 Einfluss der Kalibriereinrichtung auf die Einfügungsdämpfung der Stromeinspeisezange.....	40
3 Normen zur Stromeinspeisung.....	46
3.1 Anwendungsbereiche	46
3.2 Elektrische und geometrische Daten.....	48
3.3 Prüfschärfewerte	54
3.4 Kalibrierung und PrüfpegelEinstellung	57

4	Untersuchungen bei unterschiedlichen Prüfbedingungen	62
4.1	Versuchsmethodik.....	62
4.2	Versuchseinrichtung.....	63
4.2.1	Aufbau.....	63
4.2.2	Messgeräte	65
4.2.3	Unterschiede gegenüber Normaufbauten	66
4.3	Verwendete Stromzangen und Kalibrierhalter	67
4.3.1	Technische Daten der Stromzangen.....	67
4.3.2	Kalibrierhalter	68
4.3.3	Einfügungsdämpfung.....	71
4.3.4	Transferimpedanz	73
4.3.5	Einfügeimpedanz.....	75
4.4	Aufbau und Eigenschaften von Prüfling und Zusatzgerät	76
4.4.1	Aufbau des Prüflings	76
4.4.2	Schaltswellen der Schwellwertdetektoren	77
4.4.3	Eingangsimpedanzen des Prüflings.....	79
4.4.4	Aufbau des Zusatzgerätes	82
4.5	Versuchsablauf.....	83
4.6	Versuchsauswertung	85
4.7	Versuchsparameter.....	86
4.8	Unsicherheitsbetrachtungen	89
4.9	Versuchsergebnisse	95
4.9.1	Anzahl der Adern im Kabelbaum.....	97
4.9.2	Länge des Kabelbaumes	98
4.9.3	Abstand des Kabelbaumes von der Massefläche	100
4.9.4	Abstand der Stromeinspeisezange vom Prüfling	102
4.9.5	Verwendung zusätzlicher Strommesszangen.....	105
4.9.6	Eingangsimpedanzen von Prüfling und Zusatzgerät.....	106
4.9.7	Referenzparameter für die Einstellung des Prüfpegels	108
4.9.8	Unterschiedliche Stromeinspeisezangen und Verstärker	109
5	Hinweise zur Anwendung der Stromeinspeisung	111
6	Zusammenfassung	113

Literaturverzeichnis	116
Anhang	124
A1 Induktivität und Gegeninduktivität von Strommesszangen	124
A2 Einfügeimpedanz von Strommesszangen	127
A3 Übertragungseigenschaften der Kalibriereinrichtung.....	128
A4 Einfügungsdämpfung einer Stromeinspeisezange ohne Einfluss der Kalibriereinrichtung	130
A5 Kombinierte Standardunsicherheit und erweiterte Unsicherheit	133
Lebenslauf des Verfassers.....	137

Kurzfassung

Zwemke, Thomas

Anwendung der Stromeinspeisung (Bulk-Current-Injection) zur Störfestigkeitsprüfung bei unterschiedlichen Prüfbedingungen

In dieser Arbeit wird die Anwendung der Stromeinspeisung (Bulk-Current-Injection, BCI) zur Störfestigkeitsprüfung bei unterschiedlichen Prüfbedingungen im Frequenzbereich 100 kHz...400 MHz untersucht.

Bei der Stromeinspeisung ergeben sich unterschiedliche Prüfbedingungen durch Änderungen der Eigenschaften des Prüfaufbaus, der Prüfeinrichtung, der Prüfumgebung, der Art der Prüfstörgröße sowie des Prüfablaufes. Diese Änderungen können durch die Wirkungen geometrischer und elektrischer Einflussgrößen beschrieben werden.

Zur Einstellung der Prüfströme müssen die Stromeinspeisezangen vor der Prüfung kalibriert werden. Hierbei sind grundsätzlich auch die Einflüsse durch die verwendete Kalibriereinrichtung in den Kalibrierdaten enthalten. Ein Korrektionsverfahren ('deembedding') ermöglicht die getrennte Bestimmung der Einflüsse der Kalibriereinrichtung und der Übertragungseigenschaften der Stromeinspeisezangen. Dadurch kann die während der Prüfung an das zu prüfende System abgegebene Leistung genauer angegeben werden.

Für die experimentellen Untersuchungen wird ein Prüfling mit genau bekanntem Störfestigkeitsverhalten aufgebaut, der die Überschreitung eines bestimmten Störpegels an den Prüflingseingängen bei der Stromeinspeisung detektiert. Die Einflüsse unterschiedlicher Einflussgrößen werden bewertet anhand des Prüfstromes, der jeweils zu einer Reaktion des Prüflings im Gesamtsystem führt (frequenzabhängige Störfestigkeitsschwelle).

Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende Einflussgrößen experimentell untersucht: Anzahl der Adern im Kabelbaum, Länge des Kabelbaumes, Abstand des Kabelbaumes von der Massefläche, Abstand der Stromeinspeisezange vom Prüfling (EUT), Verwendung zusätzlicher Strommesszangen, Eingangsimpedanzen von Prüfling und Zusatzgerät (AE), Referenzparameter bei der Prüfpegelinstellung.

Änderungen der Eingangsimpedanzen von Prüfling und Zusatzgerät können die frequenzabhängige Störfestigkeitsschwelle des Gesamtsystems erheblich beeinflussen. Dabei hängt die Resonanzfrequenz des Systems von der Länge des Kabelbaumes ab. Änderungen geometrischer Einflussgrößen in den Toleranzbereichen der Normen (DIN EN 61000-4-6, DIN ISO 11452-4) führen unterhalb der Resonanzfrequenz zu Unterschieden der Störfestigkeitsschwellen bis zu 4 dB. Oberhalb der Resonanzfrequenz ergeben sich hierbei Unterschiede von mehr als 10 dB.

Deskriptoren: Störfestigkeitsprüfung, Stromeinspeisung, Prüfbedingungen

Abstract

Zwemke, Thomas

Application of Bulk Current Injection (BCI) for electromagnetic susceptibility testing at varying test conditions

This paper describes the application of Bulk Current Injection (BCI) for electromagnetic susceptibility testing at varying test conditions in the frequency range from 100 kHz to 400 MHz.

Varying test conditions in BCI tests result from variations of the test set-up, test instrumentation, test surrounding, test signal and test method. These variations can be described by geometrical and electrical influence quantities.

A calibration of the bulk current injection clamps has to be performed prior to the equipment testing to adjust the test level (current). Principally the calibration data include effects of the calibration fixture. A correction procedure (deembedding) is applied to separate the effects of the calibration fixture and the characteristic properties of the bulk current injection clamps. The effective power transferred to the system under test so can be determined with higher accuracy.

The Equipment Under Test (EUT) constructed for the experimental investigation detailed in this paper has a well known susceptibility behaviour. It indicates the exceeding of a certain disturbance level at the EUT input ports. The effects of different influence quantities can be estimated by the test current, which is necessary for a response of the EUT (susceptibility profile).

The experimental work investigates the following influence quantities: number of wires of the wiring harness, length of the wiring harness, wiring harness elevation above ground plane, distance of the bulk current injection clamp from the EUT, use of current monitoring probes, input impedances of Equipment Under Test and Auxiliary Equipment (AE), reference parameter for applying test level.

Variations of EUT and AE input impedance may have strong effects on the system susceptibility profile. The system resonance frequency depends on the length of the wiring harness. At frequencies below resonance variations of geometrical influence quantities within the tolerances of standards (DIN EN 61000-4-6, DIN ISO 11452-4) change the system susceptibility profile up to 4 dB. Measurements above resonance frequency show differences of more than 10 dB.

Index Terms: Susceptibility Testing, Bulk-Current-Injection, Test Conditions

1 Einleitung

Zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) von elektrischen und elektronischen Geräten und Systemen sind Messungen der Störaussendung (Emission) sowie Prüfungen der Störfestigkeit bzw. Störempfindlichkeit (Suszeptibilität) gegen äußere elektromagnetische Felder erforderlich.

In der elektromagnetischen Umwelt elektronischer Systeme erfolgt die Störbeaufschlagung i. Allg. durch äußere eingestrahlte elektromagnetische Felder. Zur Sicherstellung der Störfestigkeit der Systeme werden deshalb Prüfungen mit Feldeinstrahlungen im Freifeld, in geschirmten Absorberhallen sowie in TEM-Zellen und Streifenleitungen durchgeführt. Diese sollen so weit wie möglich die Bedingungen des Fernfeldes nachbilden.

Bei der Prüfung von Geräten und Systemen mit großen Abmessungen ist hierbei ein hoher Aufwand erforderlich, um Fernfeldbedingungen mit Feldhomogenität sicherzustellen sowie die erforderliche Prüffeldstärke zu erzeugen.

Als Alternative zur direkten Einstrahlung elektromagnetischer Felder wurde deshalb das Prüfverfahren mit Stromeinspeisung (Bulk Current Injection / BCI) entwickelt [40]. Hierbei wird die Störbeaufschlagung des Prüflings durch transformatorische Einkopplung leitungsgeführter Störgrößen in Leitungen und Kabelbäume des zu prüfenden Systems mit Hilfe von Stromeinspeisezangen nachgebildet.

Dabei ergeben sich mehrere Vorteile der Stromeinspeisung gegenüber Prüfverfahren mit gestrahlten Störgrößen:

- Die mit Stromeinspeisung erreichbare Störbeaufschlagung entspricht einer Feldeinstrahlung von ca. 2 V/m pro Watt Verstärkerleistung. Mit handelsüblichen Verstärkern können somit Prüffeldstärken bis zu mehreren kV/m nachgebildet werden [12].
- Aufgrund der hohen Kopplungswirkung der Stromeinspeisezangen sind für BCI-Prüfungen niedrigere Verstärkerleistungen als für Einstrahlungsprüfungen erforderlich. Die erforderlichen Prüfeinrichtungen (Generatoren, Verstärker, Stromzangen, Messgeräte) sind deshalb erheblich kostengünstiger.
- Störfestigkeitsprüfungen mit Stromeinspeisung sind leicht automatisierbar, weniger zeitaufwendig als Einstrahlungsprüfungen und daher ökonomischer [6] [55].

- Die Stromeinspeisung kann für einzelne über einer Massefläche montierte Komponenten oder direkt am gesamten System durchgeführt werden. Störfestigkeitsprüfungen am System sind damit bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess (Prototypphase) möglich, so dass Zeit und Kosten etwaiger späterer Redesigns reduziert werden können.
- Bei Einstrahlungsprüfungen in Absorberhallen, TEM-Zellen oder Streifenleitungen hängen die maximal zulässigen Abmessungen der Prüflinge von den jeweiligen Prüfeinrichtungen ab. Dagegen kann die Stromeinspeisung auch zur Prüfung von Systemen und Komponenten mit sehr großen Abmessungen (z.B. Nutzfahrzeugen, Flugzeugen) verwendet werden.
- Für die Einkopplung der Störgrößen mit Stromeinspeisezangen sind keine Eingriffe in das zu prüfende System erforderlich, wie z.B. das Auftrennen der Kabelbäume zum Einfügen von Koppelnetzwerken.

Die Stromeinspeisung wird als Störfestigkeitsprüfverfahren aufgrund dieser Vorteile bereits seit mehr als 20 Jahren in der Flugzeugindustrie [11] und in der Automobilindustrie [6] verwendet. Der Einsatz erfolgt hierbei nicht nur zur Störfestigkeitsprüfung einzelner elektronischer Geräte und Komponenten (bench test) sondern auch zur Prüfung dieser Komponenten im gesamten System Flugzeug oder Fahrzeug (system test) [4] [13]. Der Anwendungsbereich erstreckt sich von 10 kHz bis 400 MHz.

Bei der Übertragung der Prüfergebnisse von Komponentenprüfungen mit Stromeinspeisung auf die tatsächlich auftretende Störbedrohung für das Gesamtsystem sind folgende Einschränkungen zu beachten:

- Zwischen Stromeinspeisung und Feldeinstrahlung bestehen prinzipielle Unterschiede hinsichtlich der Einkopplung der Störgrößen in die Kabelbäume (siehe Kapitel 2.2) .
- Die Prüfanordnungen bei Komponentenprüfungen (Prüfling mit angeschlossenem Kabelbaum montiert über einer Massefläche) unterscheiden sich von den tatsächlichen Installationsbedingungen des Prüflings im System. Diese Unterschiede sind besonders gravierend, wenn für die Komponentenprüfungen ein Prüfkabelbaum statt des später im System tatsächlich installierten Kabelbaumes verwendet wird.

1.1 Stand von Forschung und Technik

Durch Normen und Richtlinien sind sowohl die Stromeinspeisung als auch die Verfahren mit Feldeinstrahlung zur Störfestigkeitsprüfung auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene festgelegt (z.B. IEC 1000 Teil 4, ISO 11451, ISO 11452, EN 61000 Teil 4, Richtlinie 95/54/EG der Europäischen Union, DIN ISO 11451, DIN ISO 11452, DIN EN 61000 Teil 4). Außerdem bestehen auf dem militärischen Sektor umfangreiche, detaillierte Vorschriften zu den Störfestigkeitsprüfverfahren (z.B. MIL-STD-461D und MIL-STD-462D, DEF STAN 59-41). Dadurch sollen gleiche Prüfbedingungen und reproduzierbare Prüfergebnisse bei der Anwendung dieser Verfahren erreicht werden.

Änderungen der Prüfbedingungen bei der Stromeinspeisung ergeben sich durch die Wirkungen elektrischer und geometrischer Einflussgrößen.

Sultan beschreibt in einer theoretischen Untersuchung [86] die Auswirkungen unterschiedlicher Einflussgrößen auf den Strom in den einzelnen Adern und den Strom in einem Kabelbaum (Stromsumme, bulk current). Seine Berechnungen (Simulationen) erfolgen für eine monofrequente Störeinkopplung durch Stromeinspeisung in eine Anordnung mit einer 3-adrigen Leitung parallel über einer Massefläche. Die Leitung ist beidseitig mit unterschiedlichen Impedanzen abgeschlossen. Ihre Länge beträgt 1,8 m, der Abstand zur Massefläche 60 mm.

Unterschiedliche Positionen der Stromeinspeisenzange (Abstand vom Kabelbaumende bzw. Prüflingsanschluss 0,1 m ; 0,5 m ; 0,9 m ; 1,3 m) haben starken Einfluss auf die Stromverteilung in den Adern, auf die Stromsumme entlang des Kabelbaumes sowie insbesondere auf den Strom in den Abschlussimpedanzen.

Dagegen wirken sich unterschiedliche Positionen der Strommesszange (Abstand vom Kabelbaumende 0,7 m ; 1,15 m ; 1,65 m) weniger auf die Stromverteilung aus. Der über die Strommesszange ermittelte Wert des Stromes im Kabelbaum hängt stark von der Position der Zange ab. Da dieser Wert i. Allg. direkt das Prüfergebnis beeinflusst, sollte die Strommesszange so dicht wie möglich am Prüfling montiert werden.

Weitere Berechnungen erfolgen für unterschiedliche Abschlussimpedanzen (Leerlauf, Kurzschluss), Leitungslängen im Bereich 1,2...2,2 m sowie Abstände des Kabelbaumes zur Massefläche (50 mm ; 100 mm ; 150 mm). Hierbei zeigt sich, dass unterschiedliche Abschlussimpedanzen sowie unterschiedliche

Leitungslängen großen Einfluss auf die Stromverteilung haben. Dagegen wirken sich die Änderungen des Abstandes zur Massefläche weniger stark aus.

Kuvedu-Libla [54] untersucht die Auswirkung unterschiedlicher Einflussgrößen bei der Stromeinspeisung sowie der Feldeinstrahlung auf die Strom- und Spannungsverteilung in einem Kabelbaum. Hierbei werden die Änderungen der Höhe des Kabelbaumes über der Massefläche, unterschiedliche Längen der Leiter im Kabelbaum, Verzweigungen, Isolationsschichten, Abmessungen der Zangen bei der Stromeinspeisung, Masseverbindungen, unterschiedliche Einstrahlwinkel sowie Schirmwirkungen bei Feldeinstrahlung betrachtet.

Die Änderung des Abstandes des Kabelbaumes von der Massefläche im Bereich 25...100 mm führt zu einer Änderung der Strom- und Spannungsverteilung im Kabelbaum um ca. 20 %.

Trotz gleicher Summenströme im Kabelbaum können sich die Ströme in den einzelnen Adern, die durch Feldeinstrahlung oder durch Stromeinspeisung hervorgerufen werden, bis zu 45 dB unterscheiden.

Bittinger [7][8] untersucht den Einfluss elektrischer und geometrischer Größen bei der Stromeinspeisung an einem komplexen Kfz-Reglersystem (Prüfling) mit einem 3 m langen Kabelbaum und diversen Zusatzgeräten (Peripherie).

Hierzu ermittelt er experimentell als Übertragungsfunktionen den Zusammenhang zwischen 'eingekoppelter Leistung' und 'induziertem Strom' bei unterschiedlichen Anordnungen im Frequenzbereich 1...400 MHz. Folgende Parameter werden variiert: Anzahl der Leitungen, die durch die Stromzangen geführt werden, Abschlussimpedanzen des Kabelbaumes, Abstand des Kabelbaumes zur Massefläche (0...50 mm), Abstand zwischen Stromeinspeisung und Strommesszange (20...200 mm). Der Abstand zwischen Prüfling und Stromeinspeisung (150 mm) wird nicht verändert.

Es ergeben sich große Unterschiede der Übertragungsfunktionen (mehr als 10 dB) bei Änderungen der Höhe des Kabelbaumes über der Massefläche sowie bei Änderungen der Anzahl der Leitungen, die durch die Zangen geführt werden. Demgegenüber wirken sich Änderungen der Abschlussverhältnisse an der Peripherie (Ende des Kabelbaumes, Zusatzgeräte) nur geringfügig aus. Änderungen des Abstandes zwischen Stromeinspeisung und Messzange im Bereich 20...200 mm ergeben Unterschiede der Übertragungsfunktion bis zu 10 dB (100...400 MHz) bzw. 4 dB (bis 100 MHz). Änderungen des Zangenabstandes im Bereich 50...100 mm führen bis 200 MHz zu Unterschieden kleiner als 3 dB, oberhalb von 200 MHz zu Unterschieden kleiner als 5 dB.

Carter [11] führt Untersuchungen der Eigenschaften von Stromzangen sowie des Kalibrier- und Prüfaufbaus bei der Stromeinspeisung bis 400 MHz durch. Hierbei erfolgt zunächst eine Kalibrierung verschiedener Stromeinspeisungen in einer entsprechenden Anordnung (Kalibrierhalter bzw. calibration jig) mit einem Strom von 1 mA. Die jeweilige Vorlaufleistung wird anschließend in einen 3,3 m langen Prüfkabelbaum aus 6 Drähten eingekoppelt. Diese sind beidseitig mit Widerständen von $1\ \Omega$... $10\ \text{k}\Omega$ sowie Kurzschluss gegen Masse beschaltet. Im Abstand 50 mm von diesem Leitungsende wird mit verschiedenen Strommesszangen jeweils der Strom im Kabelbaum gemessen. Hierbei ergeben sich Differenzen bis zu 12 dB. Carter führt diese Differenzen auf die unterschiedlichen Serienimpedanzen zurück, die durch die Stromzangen in den relativ niederohmigen Kabelbaum eingefügt werden. Daraus ergibt sich für ihn die Notwendigkeit, die Spezifikationen genau festzulegen, um die Unsicherheiten von Prüfergebnissen gering zu halten.

In einer weiteren Messanordnung werden durch Carter die Einflüsse der Position der Stromeinspeisung untersucht. Hierzu ist ein 1 m langer Draht im Abstand 50 mm über einer Massefläche montiert, einseitig kurzgeschlossen und auf der anderen Seite mit einem Widerstand von $2,2\ \text{k}\Omega$ beschaltet. Eine Strommesszange befindet sich im Abstand 50 mm vom kurzgeschlossenen Leitungsende. Bei Änderungen des Abstandes zwischen Strommesszange und Stromeinspeisung von 50 mm auf 100 mm werden Unterschiede des Stromes im Draht von 7 dB oberhalb von 200 MHz gemessen. Diese Unterschiede werden auch bei Variation der Position der Strommesszange im Abstand 50...100 mm vom kurzgeschlossenen Leitungsende festgestellt. Die gleichen Untersuchungen an einem Kabelbaum eines Navigationssystems zeigen Abweichungen des gemessenen Stromes oberhalb von 200 MHz bis zu 10 dB. Oberhalb von 200 MHz sind daher erhebliche Differenzen der gemessenen Ströme zwischen der Komponentenprüfung und der Systemprüfung zu erwarten.

In der Literatur sind außerdem zahlreiche Untersuchungen zur Anwendung der Stromeinspeisung und der Feldeinstrahlung bei der Störfestigkeitsprüfung sowie zur Äquivalenz beider Verfahren angegeben. Diese werden im Kapitel 2.2 näher betrachtet.

1.2 Aufgabenstellung dieser Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Anwendung der Stromeinspeisung (Bulk-Current-Injection) bei unterschiedlichen Prüfbedingungen.

In den Normen zur Stromeinspeisung bestehen Unterschiede u.a. hinsichtlich der elektrischen und geometrischen Größen sowie der zulässigen Toleranzen des Prüfaufbaus. Störfestigkeitsprüfungen mit Stromeinspeisung können daher zu unterschiedlichen Prüfergebnissen aufgrund unterschiedlicher Prüfbedingungen führen, obwohl die Prüfungen normenkonform durchgeführt werden.

Daher soll der Einfluss geometrischer und elektrischer Einflussgrößen bei der Stromeinspeisung auf die Störfestigkeit des gesamten Systems bestehend aus dem Prüfling, dem Kabelbaum und weiteren Komponenten (Zusatzgeräten) untersucht werden. Die Betrachtungen umfassen den Frequenzbereich 0,1...400 MHz. Außerdem ist zu prüfen, in wie weit Störfestigkeitsprüfungen mit Stromeinspeisung nach verschiedenen Normen vergleichbare Ergebnisse liefern.

In der Literatur angegebene experimentelle Untersuchungen der Einflussgrößen bei der Stromeinspeisung betrachten den Betrag des Stromes in den einzelnen Adern oder die Stromsumme im Kabelbaum jeweils in der Nähe des Prüflings. Die Messungen werden mit Hilfe einer Strommesszange durchgeführt. Dabei erfolgt keine Trennung der Einflüsse, die durch die Zange und andere Einflussgrößen hervorgerufen werden.

Um einzelne Einflussgrößen getrennt untersuchen zu können, soll in dieser Arbeit als Prüfling (EUT) ein Detektor aufgebaut werden, der das Erreichen eines bestimmten Störpegels an den einzelnen Prüflingseingängen signalisiert.

Der Einfluss unterschiedlicher Einflussgrößen kann dann – bei gleichem Störpegel an den Prüflingseingängen – über die hierfür mit der Stromeinspeisung in den Kabelbaum einzukoppelnden äußeren Störgrößen verglichen und bewertet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Einflussgrößen des Prüfaufbaus sowie des Prüfablaufes experimentell untersucht werden:

- Anzahl der Adern im Kabelbaum
- Länge des Kabelbaumes
- Abstand des Kabelbaumes von der Massefläche
- Abstand der Stromeinspeisung vom Prüfling

- Verwendung zusätzlicher Strommesszangen
- Eingangsimpedanzen von Prüfling und Zusatzgerät
- Referenzparameter bei der PrüfpegelEinstellung

Die bei den Messungen wirksamen einzelnen Unsicherheitskomponenten der verwendeten Mess- und Prüfgeräte sind zu ermitteln und bei der Bestimmung der Gesamt-Messunsicherheit zu berücksichtigen.

Zur Einstellung des Prüfpegels (Prüfstromes) bei der Stromeinspeisung müssen die Stromeinspeisezangen vor der Prüfung in einer entsprechenden Kalibriereinrichtung kalibriert werden. Hierbei sind auch die Einflüsse der Kalibriereinrichtung in den Kalibrierdaten mit enthalten. Bei der Störfestigkeitsprüfung ergeben sich daraus zusätzliche Unsicherheiten des Prüfergebnisses.

Daher soll in dieser Arbeit außerdem untersucht werden, wie eine getrennte Bestimmung der Eigenschaften der Stromeinspeisezangen und der Einflüsse der Kalibriereinrichtung erfolgen kann.