

**AiF-Forschungsvorhaben**

**11610N**

**Parametrierung von Schutzgeräten**  
**in elektrischen Energieversorgungsnetzen**

**Bearbeitung: Dipl.-Ing. Carsten Böse**

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	6
2	Einleitung .....	7
3	Problemstellung.....	9
3.1	Allgemeines.....	9
3.2	Kurzschlüsse und Fehlerklärung in vermaschten Netzen .....	9
3.3	Möglichkeiten für die Nachbildung von Schutzeinrichtungen .....	15
4	Datenmodelle .....	16
4.1	Allgemeines.....	16
4.2	Datenmodell für Netzberechnungen.....	16
4.2.1	Aufbau .....	16
4.2.2	Änderungen für die Ablage von Schutzdaten .....	19
4.2.3	Verknüpfung von DVG-Daten und Schutzdaten .....	21
4.3	Schutzdatenmodell .....	22
4.3.1	Schutzdatenbank.....	22
4.3.1.1	Allgemeines .....	22
4.3.1.2	Verbindung mit den DVG-Daten.....	23
4.3.1.3	Schutzdaten.....	25
4.3.1.4	Ablage von Schutzdaten .....	31
4.3.2	Dateneingabe und Datentausch .....	31
4.3.3	Schutzklassen .....	32
5	Funktionalität von Schutzeinrichtungen.....	36
5.1	Allgemeines.....	36
5.2	Überstromschutzeinrichtungen.....	36
5.2.1	UMZ-Schutz.....	36
5.2.2	AMZ-Schutz.....	38
5.2.3	IDTM-Überstromschutz .....	40

---

5.2.4	Sicherungen.....	42
5.3	Vergleichsschutz - Stromdifferentialschutz .....	43
5.4	Distanzschutz .....	45
5.4.1	Allgemeines.....	45
5.4.2	Anregung.....	45
5.4.3	Messschleifenwahl .....	47
5.4.4	Distanzentscheid.....	47
6	Nachbildung der Schutzeinrichtungen .....	49
6.1	Klassifizierung der Schutzeinrichtungen in Betrachtungseinheiten.....	49
6.1.1	Allgemeines.....	49
6.1.2	Eingangsgrößen .....	49
6.1.3	Ausgangsvariablen .....	51
6.1.4	Binäre Eigenschaften.....	51
6.2	Verfahren der Nachbildung der binären Eigenschaften .....	53
6.2.1	Verwenden von Blockschaltbildern .....	53
6.2.2	Einsatz von Dynamic Link Libraries .....	57
6.3	Anwendung für die betrachteten Schutzeinrichtungen .....	58
6.3.1	Stromzeitkennlinien .....	58
6.3.2	Stromdifferentialschutz .....	60
6.3.3	Distanzschutz .....	60
7	Softwarekonzeption.....	63
7.1	Allgemeines.....	63
7.2	Datenhaltung .....	65
7.2.1	Anforderungen .....	65
7.2.2	Datenumfang .....	68
7.2.2.1	Topologische Daten .....	68
7.2.2.2	Relevante Betriebsmitteldaten .....	71
7.2.2.3	Betriebsmittel innerhalb des Schaltfeldes.....	71
7.2.2.4	Schutzeinrichtungen .....	71
7.2.2.5	RIO .....	72

---

7.2.2.6	Daten zur Einstellung, Prüfung und Wartung.....	72
7.2.2.7	Quittierung.....	72
7.2.2.8	Sonstiges.....	72
7.2.3	Schnittstellen.....	72
7.2.3.1	Allgemeines.....	72
7.2.3.2	Parametriersoftware.....	73
7.2.3.3	Schutzdatenbank.....	74
7.2.3.4	Betriebsmitteldatenbank.....	74
7.2.3.5	Netzberechnung.....	74
7.2.3.6	Ausgaben.....	74
7.2.4	Zugriffsrechte.....	74
7.3	Nachbildung von Schutzeinrichtungen.....	76
8	Datenaustausch.....	79
8.1	Ziele.....	79
8.2	Verfahren des Datenaustauschs.....	79
8.2.1	Allgemeines.....	79
8.2.2	XML – Extensible Markup Language.....	81
8.3	Datenumfang.....	83
8.4	RIO.....	87
8.4.1	Beschreibung von Kennlinien mit RIO.....	87
8.4.2	Erweiterung von RIO.....	89
8.5	Definition des Tauschformats.....	91
8.5.1	Allgemeines.....	91
8.5.2	Daten für Netzplanungsrechnung.....	92
8.5.3	Wandler und Schalter.....	94
8.5.4	RIO.....	94
8.5.5	Schutzeinstellungen.....	95
9	Schutzbereiche und relevante Fehlerfälle.....	97
9.1	Netzformen und Fehlerkriterien.....	97
9.1.1	Netzgestaltung.....	97

---

9.1.2	Sternpunktbehandlung.....	98
9.2	Definition von Schutzobjekten.....	98
9.3	Schutzbereiche .....	100
9.4	Relevante Fehler.....	102
9.5	Auswahl der Fehlersituation.....	103
9.5.1	Allgemeines.....	103
9.5.2	Auswahl der Kurzschlussberechnung und des Schutzbereichs.....	104
9.5.3	Auswahl der Analyseart .....	104
9.5.4	Auswahl der Fehlersituation.....	104
9.5.5	Berechnungen.....	105
10	Visualisierung.....	107
10.1	.... Visualisierung der Schutzdaten .....	107
10.2	.... Visualisierung der Analyseergebnisse .....	107
11	Prototyp einer Analysesoftware .....	112
11.1	.... Allgemeines.....	112
11.2	.... Vorgaben für die Untersuchungen .....	112
11.3	.... Einzelanalysen.....	114
11.3.1	Suche der Fehlerorte und Schutzeinrichtungen.....	114
11.3.2	Setzen der Kurzschlüsse.....	115
11.4	.... Analyse.....	116
11.4.1	Analyseablauf.....	116
11.4.2	Kurzschlussstromberechnungen.....	117
11.4.3	Simulation der Schutzeinrichtungen .....	118
11.5	.... Analyseergebnisse .....	118
11.6	.... Test .....	119
12	Literatur.....	120
13	Indizes und Abkürzungen.....	124
13.1	.... Indizes .....	124

---

13.2.... Abkürzungen .....	124
14 Tabellen und Bilder.....	126
14.1 ... Tabellen.....	126
14.2.... Bilder.....	127

# 1 Zusammenfassung

Bei den Untersuchungen wurden Lösungen für alle Aufgabenstellungen des AiF-Forschungsvorhabens gefunden und in diesem Bericht detailliert beschrieben. Darüber hinaus werden verwandte Problemstellungen aufgegriffen und behandelt. Die Frage nach einer geeigneten Datenablage und eines Datenaustauschs ist umfassend bearbeitet worden und die Lösungsansätze werden vorgestellt. Der modulare Aufbau der Teillösungen verspricht eine vielseitige Verwendung für weitere Aufgaben in der Schutztechnik und wird als Grundlage für den nachfolgenden Forschungsantrag „Rechneroptimierte Synthese von Distanzeinstellungen“ genutzt werden.

Die Beschreibung von Schutzeinrichtungen kann nicht derart vereinfacht werden, dass eine genaue und **allgemeine Funktionsbeschreibung für Schutzeinrichtungen** zu nutzen ist. Durch die Einteilung in Teilfunktionen und die Trennung von Analyseprogramm und Schutznachbildung ist die Nutzung einer Funktionsbibliothek mit Matlab & Simulink ein probates Mittel um Schutzbeschreibungen detailliert und vielseitig verwendbar zu erstellen.

**Algorithmen zur Ermittlung relevanter Fehlerfälle** wurden derart erstellt, dass diese kritische Situationen für die zu untersuchenden Haupt- und Reserveschutzeinrichtungen darstellen.

Aufgrund der Erfahrungen durch Untersuchungen des Schutzverhaltens in Hochspannungsnetzen wurden die **Algorithmen für die Analyse** definiert.

**Auswertekriterien** können vom Anwender beeinflusst werden. Die **Visualisierungsfunktion** zeigt die Anregung und/oder Ausschaltung von Schutzeinrichtungen. Vorbereitungen für eine Aussage über die Qualität der Einstellungen wurden getroffen.

Mit Hilfe von C++, Matlab & Simulink und Microsoft Access wurde ein **Prototyp** erstellt und **Tests** der Algorithmen durchgeführt. Die Methoden der Trennung von Daten, Nachbildung und Applikation funktionieren einwandfrei. Die Performance ist durch die Einbindung der Simulationssoftware Matlab und Simulink allerdings noch nicht ausreichend.

Das AiF-Forschungsvorhaben 11610N wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

## 2 Einleitung

Das Forschungsvorhaben 11610N verfolgt als Zielsetzung die Entwicklung eines Konzepts zur Analyse und Auslegung von Schutzsystemen in elektrischen Energieversorgungsnetzen. Eine besondere Beachtung findet hierbei die Analyse von Schutzeinstellungen und Schutzkonzepten in stark vermaschten Hochspannungsnetzen.

Der Lösungsweg umfasst nach der Beschreibung des Antrags die folgenden Punkte:

- (1) Entwicklung einer allgemeinen Funktionsbeschreibung für Schutzeinrichtungen.
- (2) Definition von Algorithmen zur Ermittlung relevanter Fehlerfälle.
- (3) Definition von Algorithmen für die Analyse.
- (4) Entwicklung von Auswertekriterien und Visualisierungsfunktionen.
- (5) Entwicklung eines Prototyps und Test.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen wird auf die Analyse von Distanzschutzeinrichtungen gelegt. Diese Schutzgeräte zeichnen sich durch einen hohen Grad an Individualität und einen komplexen Aufbau ihrer Funktionalität aus. Hieraus ergeben sich spezielle Anforderungen an die Modellierung der Funktionalität. Hinzu kommt, dass bei der Einstellung der Distanzschutzeinrichtungen in vermaschten Hochspannungsnetzen immer wieder Probleme auftreten. Dies liegt zum einen an der großen Zahl von Einstellparametern und Funktionen und zum anderen an Anregeproblemen von ortsfernen Reserveschutzeinrichtungen, die nur kleine Teilkurzschlussströme messen.

Zur Analyse des Schutzsystems werden Berechnungen des stationären Kurzschlussstroms  $I_k''$  für ein- und mehrpolige Fehler mit und ohne Erdberührung nach DIN VDE 0102 /DIN VDE 0102/ herangezogen. Als Berechnungswerkzeuge werden die Kurzschlussstromberechnungsmodule /UNIFEH/ des interaktiven Netzberechnungsprogramms INTEGRAL /INTEGRAL/ der FGH e.V. verwendet.

Während der Arbeiten hat sich herausgestellt, dass eine Nutzung der Analysewerkzeuge in besonderem Maße von der Datenversorgung abhängt. Der mit der Liberalisierung des Energiemarktes zusammenhängende Kostendruck und die Personalreduzierung in den EVU zwingt zu einem effizienten Einsatz von Mitteln und Personal. Diesbezüglich war es unumgänglich, sich zusätzlich zu dem im AiF-Antrag beschriebenen Aufgabenfeld auch der Frage der effizienten Datenhaltung zu widmen. Gespräche mit Herstellern und Kunden, sowie die Mitarbeit in Arbeitsgremien haben schließlich zu einer Sammlung notwendiger Anforderungen an die Datenhaltung und an den Austausch von Schutzdaten geführt. Im Zusammenhang mit diesen Arbeiten wurde ein wichtiger Schritt in Richtung Schutzdaten-

austausch gemacht, indem eine Arbeitsgruppe gegründet und ein Anforderungskatalog definiert wurde (siehe Abschnitt 7.2 und Kapitel 8). Die Verwendung dieser Technik hat auch für mittelständische Energiedienstleister praktischen Nutzen.

Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeiten erläutert. Kapitel 3 beschreibt zunächst die Problemstellungen der Untersuchung. In anschließenden Kapitel 4 werden die Datenmodelle beschrieben, die für die Analyse der Schutzeinstellungen genutzt werden. In Kapitel 5, „Funktionalität von Schutzeinrichtungen“ werden verschiedene Typen von Schutzeinrichtungen beschrieben, die im Analyseprogramm zu untersuchen sind. Die Möglichkeiten, die statischen Funktionen nachzubilden, sind in Kapitel 6 dargestellt. Zum praktischen Teil der Arbeit wird in Kapitel 7 Stellung bezogen. Hier werden die Anforderungen und Lösungen beschrieben, die an eine Software zu stellen sind. Kapitel 9 beschäftigt sich mit der Definition von Schutzbereichen und der Beschreibung der für die Untersuchung relevanten Fehler. Kapitel 10 enthält die Untersuchungen zur Visualisierung der Schutzuntersuchungen. Kapitel 11 beschreibt die Funktionsweise eines Prototypen basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Ausführungen. Ein ausführlicher Test des Prototyps steht noch aus und wird nachgereicht.

### **3 Problemstellung**

#### **3.1 Allgemeines**

Zahlreiche Programme bieten z.Zt. die Möglichkeit, Einstellungen von Schutzeinrichtungen unter verschiedenen Gesichtspunkten zu analysieren, wobei allerdings einige Einschränkungen erkennbar sind. Zum einen bieten Analysetools oftmals nur die Möglichkeit, möglichst originalgetreue Nachbildungen der Funktionalität von Schutzeinrichtungen eines oder einiger weniger Herstellers zu analysieren und zum anderen sind Schutzeinrichtungen in ihrer Nachbildung oftmals derart abstrakt und vereinfacht implementiert, dass sie dem realen Verhalten eines bestimmten Geräts nicht entsprechen. Die auf dem Markt befindlichen Programme zur Erstellung von Staffelpänen arbeiten in stark vermaschten Netzen nicht immer korrekt, wie in den folgenden Abschnitten erläutert wird.

Innerhalb des Forschungsvorhabens wird vor allem auf Problemstellungen in stark vermaschten Hochspannungsnetzen eingegangen. Die Resultate lassen sich aber auch auf unvermaschte Netze anwenden. Aus den Ausführungen werden anschließend die relevanten Fehlersituationen und die Modellierung der Schutzeinrichtungen abgeleitet.

#### **3.2 Kurzschlüsse und Fehlerklärung in vermaschten Netzen**

Im Vorfeld der Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurden einige Hochspannungsnetze untersucht, aus denen die Probleme bei der Fehlererkennung durch Distanzschutzeinrichtungen, und hier vor allem durch Reserveschutzeinrichtungen in vermaschten Hoch- und Höchstspannungsnetzen deutlich wurden.

Kurzschlüsse in einem elektrischen Netz verursachen hohe Ströme, verbunden mit gleichzeitig auftretenden Spannungseinbrüchen. Dies führt sowohl zur (weiteren) Schädigung des fehlerbehafteten Betriebsmittels als auch eventuell zu Spannungseinbrüchen bei Kunden mit den möglichen Folgen hoher Schäden an Maschinen und Werkstücken der verarbeitenden Industrie. Ziel ist es, Fehler im Netz schnell, sicher und selektiv auszuschalten, um Schäden jedweder Art zu vermeiden, für die maßgeblich der Strom  $I$  und die Dauer  $t$  verantwortlich sind.

Für die Funktion der meisten Schutzeinrichtungen ist daher zunächst die Höhe des Stroms und speziell im Fehlerfall die Höhe des Kurzschlussstroms ausschlaggebend. Schutz-

richtungen, die auch die gemessene Impedanz überprüfen, sind in der Lage, anhand der Höhe der Messwerte auf den Kurzschlussort zu schließen und eignen sich daher gut zum Schutz von Betriebsmitteln in vermaschten Hochspannungsnetzen.

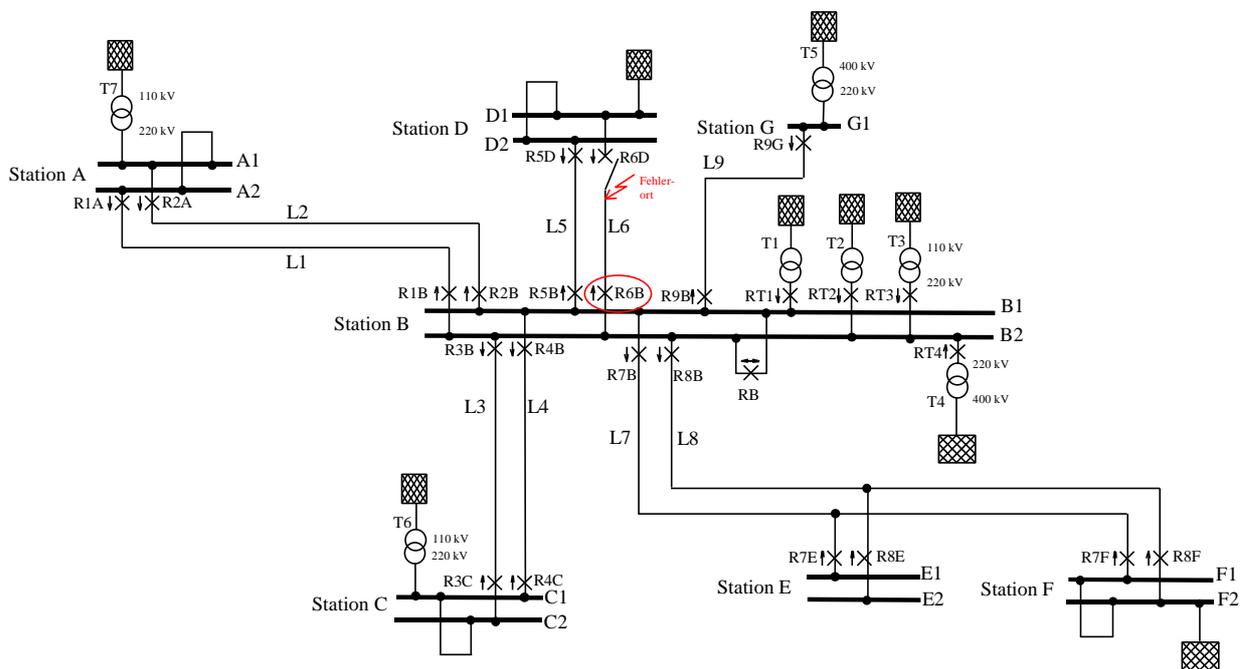
Ein anderes Schutzverfahren, das Vergleichsverfahren, arbeitet meist auf der Basis des Stromvergleichs. Alle auf einen Knoten (z.B. Sammelschiene) oder in ein Netzelement (z.B. Stromkreis oder Transformator) fließenden Ströme werden gemessen und geometrisch addiert. Ist die Stromsumme ungleich Null bzw. größer als ein einzustellender Schwellwert, wird auf einen Fehler am Knoten oder dem Netzelement geschlossen und das betrachtete Betriebsmittel ausgeschaltet. Die Abhängigkeit des Differenzstroms von einem Haltestrom stabilisiert das Verfahren. Schutzeinrichtungen, die auf einem solchen Vergleichsverfahren basieren, eignen sich nicht dazu, neben ihrer Funktion als Hauptschutz auch als Reservechutz für benachbarte Schutzobjekte zu dienen, sofern man lediglich das Versagen von Schutzeinrichtungen (Schutzversager) und nicht das Versagen von Leistungsschaltern betrachtet. In dieser Arbeit wird vor allem der Selektivschutz mit relativer Selektivität (Nicht-Vergleichsschutz) /IEC 60050-448:1995-12/ untersucht.

Der Leitungsschutz in deutschen Hochspannungsnetzen (Freileitungsnetzen) wird vor allem von Distanzschutzeinrichtungen an den Leitungsenden bereitgestellt. Mit Ausnahme des 380-kV-Netzes kommt es in der Regel nicht zum Einsatz eines Haupt- und Reserveschutzes in einem Feld. Ortsferne Reserveschutzeinrichtungen, die bei Unterfunktion des Selektivschutzes arbeiten sollen, sind die Distanzschutzeinrichtungen der benachbarten Betriebsmittel. Die Reserveschutzfunktion der Distanzschutzeinrichtungen wird durch Zeitstaffelung aufgrund der Größe der gemessenen Impedanzen erreicht.

Untersuchungen in deutschen Hochspannungsnetzen haben ergeben, dass Fehler im Hauptschutzbereich meist sicher von den entsprechenden Schutzeinrichtungen erkannt werden. Dies gilt besonders bei einfachen Leitungsanordnungen. Bei Sticleitungen mit mehr als zwei Einspeisungen ist die Parametrierung von Distanzschutzeinrichtungen schwieriger und erfordert zahlreiche Kurzschlussstromberechnungen.

Reserveschutzeinrichtungen erkennen Kurzschlüsse (Anregung) oft nicht direkt nach Fehlereintritt, was stark von der Netztopologie abhängt. Besonders in Schaltanlagen mit zahlreichen Einspeisungen zeigt sich, dass ein Kurzschluss erst nach Schalthandlungen anderer Schutzeinrichtungen mehr oder weniger schnell von den Reserveschutzeinrichtungen erkannt wird. Dies trägt dazu bei, dass sich die Ausschaltzeiten der einzelnen Schutzeinrichtungen addieren und so eine endgültige Ausschaltung eventuell erst nach Ablauf der mehrfachen Endzeit erfolgt. In den durchgeführten Netzstudien /Böse et al.-1999/ konnten auch Konstellationen ermittelt werden, bei denen eine Fehlerklärung durch den Reserveschutz

nicht möglich ist. Es sei an dieser Stelle aber erwähnt, dass diese Konstellationen zwar theoretisch mögliche Schaltungsvarianten waren, die in der Praxis aber nicht durchgeführt wurden. Reserveschutzeinrichtungen gehen nicht immer direkt nach Fehlereintritt aus Ihrem Ruhezustand in den Zustand der Anregung, sondern oft erst nach erfolgten Schaltheandlungen. Die Berücksichtigung von Schaltheandlungen ist daher von hoher Bedeutung. Mit einfachen konventionellen Kurzschlussstromberechnungsverfahren ist das Schutzverhalten nicht ohne erheblichen Aufwand zu untersuchen. Zentrale Größe bei der Beurteilung der Ergebnisse ist letztlich die Höhe der Fehlerklärungszeit.



**Bild 1: Teil eines vermachten Hochspannungsnetzes mit Fehlersituation**

**Legende:** R1A ...R9G, RT1...RT3, RB Bezeichnungen von Schutzeinrichtungen  
 Schutzeinrichtung mit Angabe der Vorwärtsrichtung  
 A1...G1

Ein Beispiel, an dem eine sequentielle Fehlererkennung durch die Reserveschutzeinrichtungen erläutert werden soll, ist in Bild 1 dargestellt. Im gegebenen Hochspannungsnetz wird ein Fehler auf der Leitung L6 in Nähe der Station D untersucht. Es wird angenommen, dass die Schutzeinrichtung R6B eine Unterfunktion aufweist (Schutzversager) und es wird davon

ausgegangen, dass der fehlernahe Leistungsschalter den Stromkreis ordnungsgemäß unterbricht. Da in dem untersuchten 220-kV-Netz kein lokaler Reserveschutz eingesetzt wurde, ist in diesem Fall der Fehler von den ortsfernen Reserveschutzeinrichtungen zu erkennen und auszuschalten. In Bild 1 sind diejenigen Schutzeinrichtungen eingezeichnet, die zur Fehlerklärung beitragen sollen, wenn eine der Schutzeinrichtungen nicht funktioniert.

Als Ausgangszustand für die Analyse gilt das dargestellte Netz mit geöffnetem Leistungsschalter R6D. Als Eingangsgrößen für die Untersuchung der Anregung dienen Kurzschlussstromberechnungen nach /DIN VDE 0102/ für minimalen Kurzschlussstrom. Die Untersuchung wird jeweils abgebrochen, wenn sämtliche Reserveschutzeinrichtungen, die zum Ausschalten eines Fehlers mindestens arbeiten müssen, Anregung haben.

Im nachfolgend beschriebenen Fall sind hierzu zwei Schalthandlungen, bei denen ein oder mehrere Leistungsschalter schalten und Stromkreise unterbrechen, nötig. Eine dritte Schalthandlung ist vorgesehen, wenn die Anregung nach der zweiten Schalthandlung noch nicht vorliegt. Eine Anregung der Schutzeinrichtungen R7E und R8E konnte nicht erfolgen, da die Einspeisung dieser Station für die Untersuchung ausgeschaltet war.

In Tabelle 1 sind die Zustände der untersuchten Schutzeinrichtungen zu den unterschiedlichen Schaltzuständen dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass viele Schutzeinrichtungen zum Anfangszeitpunkt keine Anregung haben (rote Balken). Da das verwendete Programm SANDIA der FGH e.V. /SANDIA1997/ z.Zt. nur Daten und Nachbildungen von unterschiedlichen Anregekriterien beinhaltet und keine Aussage über den Distanzentscheid macht, konnte nicht definitiv auf eine Schaltfolge geschlossen werden. Bei der Untersuchung konnten nur Rückschlüsse auf das Anregeverhalten der Schutzeinrichtungen gemacht werden und so mussten Schalthandlungen aufgrund plausibler Erklärungen vorgenommen werden. Aus diesem Grund wurden Abläufe gesucht, die eine wahrscheinliche Schaltfolge beinhalten.

In den untersuchten Netzen sind die Sammelschienenkupplungen als lose Kupplungen konzipiert. Diese Kupplungen reagieren sehr schnell beim Auftreten hoher Ströme.

**Tabelle 1: Anregung zu unterschiedlichen Schaltzeitpunkten**

Schutz-einrichtung	Ausgangszustand	1. Schalthandlung	2. Schalthandlung	3. Schalthandlung
R1A				
R2A				
RB				
R1B				
R2B				
R3B				
R4B				
R5B				
R6B	ausgefallene Schutzeinrichtung			
R7B				
R8B				
R9B				
RT1				
RT2				
RT3				
RT4				
R3C				
R4C				
R5D				
R6D				
R7E				
R8E				
R7F				
R8F				
R9G				

**Legende:**      Nicht betrachtet      Keine Anregung      Anregung      Ausgeschaltet

In einem solchen Fall wird zunächst die Sammelschienenkupplung ausschalten, wenn diese zuverlässig nach Fehlereintritt und nach dem Öffnen des fehlernahen Leistungsschalters Anregung hat (Ergebnis der Diskussionen im Arbeitskreises SANDIA). In einer erneuten Simulation des Netzes wird dieser Schaltzustand (1. Schalthandlung: Öffnen der Sammelschienenkupplung in Station B) vorgegeben und eine erneute Rechnung durchgeführt. Bei der Untersuchung sind nun weitaus weniger Schutzeinrichtungen zu untersuchen. Trotz einer günstigeren Konstellation für die verbleibenden Schutzeinrichtungen erfüllen vier Schutzeinrichtungen die Anregekriterien nicht, zu denen auch die Schutzeinrichtung R8E zählt, die aufgrund fehlender Einspeisung keinen Beitrag zum Kurzschlussstrom liefern kann. Dies taucht zwar in der Bewertung auf, arbeitet aber trotz nicht vorhandener Anregung korrekt. Nach der 2. Schalthandlung, bei der alle Schutzeinrichtungen, die von Beginn der

Untersuchung an Anregung haben und den Fehler in ihrer Vorwärtsrichtung erkennen, ausgeschaltet werden, erreichen alle notwendigen Schutzeinrichtungen, über die nun noch auf den Kurzschluss gespeist wird, ihre Anregekriterien.

Wäre auch diese Untersuchung nicht zu einem eindeutigen Ergebnis gekommen, wären anschließend die Schutzeinrichtungen, die von Beginn der Simulation Anregung haben und den Fehler in ihrer rückwärtigen Richtung erkennen, ausgeschaltet worden.

Die beschriebene Verfahrensweise wurde auf mehrere Hochspannungsnetze angewandt und so das Anregeverhalten untersucht. Die Vorgehensweise hat zwar Vorteile gegenüber anderen Methoden, es bleiben aber gravierende Nachteile, die sich vor allem in den getroffenen Annahmen für die Untersuchung des Verhaltens von Reserveschutzeinrichtungen widerspiegeln. Die Annahmen für die Untersuchung nach dem festen Muster sind:

- Die Sammelschienenkupplung ist immer eine lose Kupplung.
- Die erste Schalthandlung erfolgt von der Sammelschienenkupplung, wenn die dortige Schutzeinrichtung Anregung hat.
- Alle Schutzeinrichtungen in Vorwärtsrichtung (bzw. bei der dritten Schalthandlung in Rückwärtsrichtung), die von Beginn der Untersuchung an Anregung haben, schalten gleichzeitig aus.
- Schutzeinrichtungen, die erst im Laufe der Untersuchung Anregung erhalten, bleiben unberücksichtigt.

Ähnliche Verhaltensweisen, bei denen Schutzeinrichtungen erst nach Schalthandlungen Anregung haben, konnten auch an anderen Stellen im Netz festgestellt werden. Dies bedeutet, dass eine Untersuchung der Anregung nicht ohne Berücksichtigung von Schalthandlungen und damit nicht unabhängig vom Distanzentscheid oder der Auslösung durchzuführen ist.

Um dies zu ermöglichen, müssen neue bzw. erweiterte Modelle der Schutzeinrichtungen, aber auch neue Algorithmen und Visualisierungsfunktionen erarbeitet werden. Aufgrund der Schalthandlungen im Netz sind verschiedene Netzzustände zu berechnen. Hierzu wird der Begriff dynamischer Fehler /Huwer/ eingeführt. Diese Definition trifft das zu simulierende Verfahren außerordentlich gut. Die Art, wie solche dynamischen Fehler verlaufen und welche Schutzeinrichtungen zur Fehlerklärung beitragen, ist von der Fehlerart, von den eingesetzten Schutzeinrichtungen und deren Parametrierung sowie der Sternpunktbehandlung des Netzes abhängig.

### **3.3 Möglichkeiten für die Nachbildung von Schutzeinrichtungen**

Um das Verhalten der Schutzeinrichtungen im Fehlerfall beurteilen zu können, ist die Kenntnis des Verhaltens der eingesetzten Schutzeinrichtungen erforderlich. Ausgehend von Distanzschutzeinrichtungen und hierbei speziell den digitalen Distanzschutzeinrichtungen, erweist sich die Modellierung als äußerst komplex. Erste Modelle für die Anregung von Distanzschutzeinrichtungen im Programm SANDIA der FGH e.V. haben dies bereits gezeigt /FGH 1997/. Implementiert man auch die weiteren Funktionen solcher Schutzeinrichtungen wie Messschleifenwahl und Distanzentscheid, so werden die Modelle noch komplexer und das Datenvolumen wird nochmals deutlich erhöht.

Ein wichtiger Aspekt bei der Modellierung ist die Individualität verschiedener Schutzeinrichtungen unterschiedlicher Hersteller. Die Modelle können in ihrer Funktion auch nicht vereinfacht werden, da somit die Genauigkeit der Analyse nicht mehr gewährleistet sein kann.

Eine flexible Beschreibung der Einstellparameter bietet die RIO-Schnittstelle /RIO/. Es handelt sich hierbei nur um eine Ablage wichtiger Einstellparameter, die Funktionalität von Schutzeinrichtungen ist hiermit noch nicht beschrieben. Bis zu Beginn des vergangenen Jahres waren die mit RIO erfaßten Daten nicht ausreichend, um sie für die hier zu entwickelnden Simulationen nutzen zu können.

In der vorliegenden Forschungsarbeit werden Möglichkeiten gezeigt, Modelle mit einer hohen Flexibilität zu schaffen. Da Flexibilität und Genauigkeit einen scheinbaren Widerspruch darstellen, werden Probleme und Grenzen aufgezeigt.

## **4 Datenmodelle**

### **4.1 Allgemeines**

Obwohl nicht ausgewiesener Bestandteil des Antrags, wurde das Erstellen eines Datenmodells für Schutzdaten als zentraler Punkt weiterer Untersuchungen intensiv bearbeitet. Zwar existieren in Unternehmen bereits Datenbanken zur Ablage schutzspezifischer Daten, diese können aber derzeit nicht für Anwendungen in Verbindung mit den Daten der Netzberechnungsprogramme genutzt werden. Der Grund ist die fehlende Anbindung an bestehende Datenmodelle von Netzdaten für die Planungsrechnung. Bestehende Datenablagen in Microsoft Excel, wie sie bei Schutztechnik häufig Verwendung finden, konnten aufgrund fehlender Flexibilität und fehlender Eignung für große Datenmengen nicht als Datenablage genutzt werden.

Zielsetzung der Datenmodellierung ist es, eine Zuordnung zwischen Schutzdaten und Netzdaten zu schaffen. In den folgenden Abschnitten wird zunächst kurz auf die für die Schutzdaten wesentlichen Bestandteile des Datenmodells für Netzberechnung der Deutschen Verbundgesellschaft (DVG), dem DVG-Datenmodell /DVG/ und anschließend auf die Modellierung der schutzspezifischen Netzelemente eingegangen. Die Umsetzung eines Prototypen erfolgt mit dem Standardwerkzeug Microsoft Access 97.

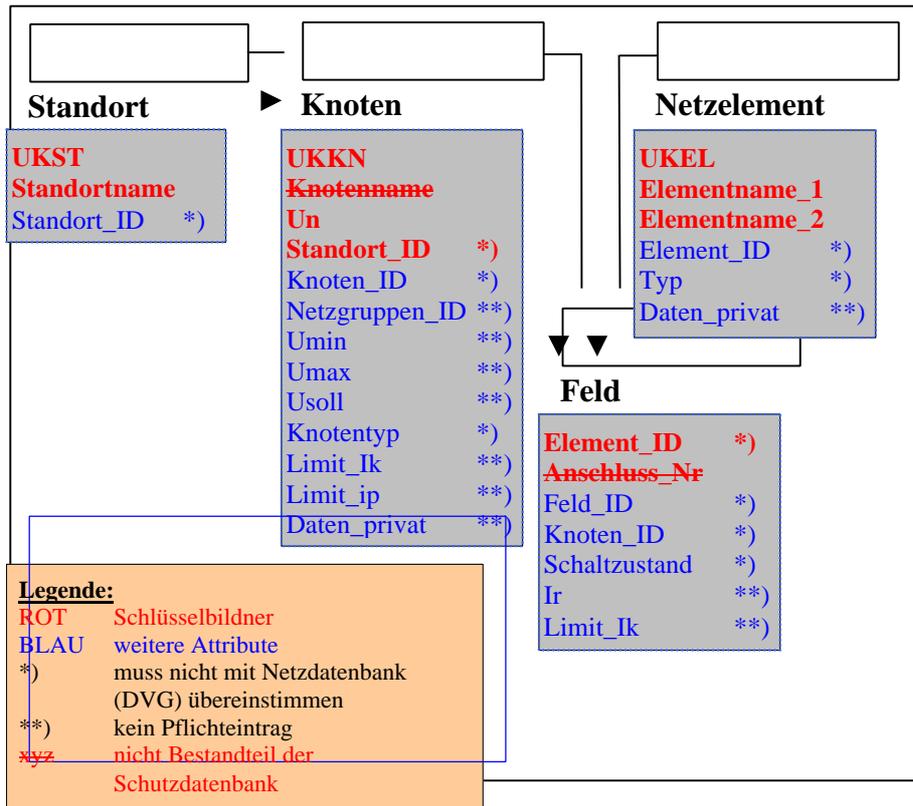
Ein detaillierter Anforderungskatalog für die zentrale Verwaltung von Schutzdaten ist in Abschnitt 7.2 ausführlich beschrieben. Hier geht es zunächst nur um die für die Analyse notwendigen Daten.

### **4.2 Datenmodell für Netzberechnungen**

#### 4.2.1 Aufbau

Das Datenmodell für Netzberechnungen der Deutschen Verbundgesellschaft (DVG) /DVG/ ist ein physisches Datenmodell mit relationalen Strukturen. Es dient vor allem zur Datenablage für Netzberechnungen und umfasst Betriebsmittel, die für das elektrische Verhalten eines Netzes relevant sind wie beispielsweise Stromkreise, Transformatoren, Sternpunktbildner usw.

In einer Ergänzung des Datenmodells für das interaktive Netzberechnungsprogramm INTEGRAL sind weitere Objekte dem DVG-Datenmodell hinzugefügt /FGH 1999/, die das Anregeverhalten von Schutzeinrichtungen beschreiben. Die hierin enthaltenen Daten reichen für die Anforderungen, die an die Ergebnisse dieses Forschungsauftrags gestellt werden, nicht aus. Es wird gänzlich auf die existierenden Ergänzungen des DVG-Datenmodells verzichtet und eine völlig neue Konzeption ausgearbeitet.



**Bild 2: Objekte des DVG-Datenmodells zur Verknüpfung der Schutzdaten**

Wie im vorangegangenen Abschnitt angesprochen, soll die Zuordnung zu den DVG-Daten über einige relevante Objekte erfolgen. Um eine klare begriffliche Trennung zu erreichen, wird im folgenden von DVG-Datenmodell gesprochen, wenn es sich um das Datenmodell für Netzberechnungen /DVG/ handelt und von Schutzdatenmodell, wenn es sich um die Ablage der Schutzdaten handelt.

Um die objektorientierte Modellierung der schutzspezifischen Betriebsmittel beschreiben zu können, ist die Kenntnis der vier zentralen Bestandteile des DVG-Datenmodells von Bedeutung, die sich auch in der anschließenden Modellierung wiederfindet.

Für die Zuordnung der Schutzdaten werden lediglich vier Objekte des DVG-Datenmodells genutzt (siehe Bild 2):

- Standort,
- Knoten,
- Feld und
- Netzelement.

Die Ablage von Netz- und Schutzdaten in zwei getrennten Datenbanken hat zwei entscheidende Vorteile:

- In der Schutzdatenbank lassen sich mühelos kundenorientierte Zusatzinformationen einbringen. Verbindungen zu anderen Softwareprodukten wie den Office-Applikationen von Microsoft lassen sich mit Standardschnittstellen (z.B. ODBC) einbauen, wodurch die Schutzdatenbank neben den Aufgaben für die Simulation auch für weitere Zwecke eingesetzt werden kann.
- Eine getrennte Ablage ist auch für die Bearbeitung durch die Ingenieure in den Energieversorgungsunternehmen (EVU) vorteilhaft, denn die Arbeitsweise in deutschen EVU zwingt zu einer getrennten Datenerfassung. Während Ingenieure für Netzplanung die Pflege der Netzdatensätze übernehmen, werden die Schutzdaten von den Ingenieuren der Sekundärtechnik-Abteilungen eingegeben und gepflegt. Netzvarianten, die für die Netzplaner sinnvoll sind, werden im Normalfall vom Schutztechniker nicht benötigt, da er bei vorgegebener aktueller oder geplanter Netztopologie seine Einstellungen vornimmt. Zudem ist eine kleinere Datenbank leichter und flexibler einzusetzen.

Ein Nachteil bei der Realisierung der Ablage in getrennten Datenbanken entsteht aus der relativ starren Struktur des DVG-Datenmodells und der vereinfachten bzw. nicht vorhandenen Darstellungsweise der Schaltfelder und Sekundärtechnik. Im DVG-Datenmodell können Schaltfelder nicht ausreichend nachgebildet werden. Jedes Netzelement (z.B. Stromkreisabschnitt oder Transformator) ist über ein Feld jeweils mit einem Knoten verbunden. Geht man davon aus, dass alle Felder, die mit Knoten vom Typ Sammelschiene verbunden sind, Schaltfelder sind, so lassen sich die Felder, in den Leistungsschalter eingebaut sein können, aus dem Netzdatensatz extrahieren. Da die Nachbildung von Trennschaltern, Lasttrennschaltern und Leistungsschaltern sowie von messtechnischen Einrichtungen im DVG-Datenmodell fehlt, ist eine realistische Nachbildung der Felder nicht möglich, was für

Netzberechnungen üblicherweise auch nicht nötig ist. Möglichkeiten zur Integration des physikalischen Aufbaus von Schaltfeldern in ein Datenmodell für Netzberechnungen ist in dem von der Europäischen Union geförderten Projekt ElectroNet /ElectroNet/ beschrieben, wurde jedoch noch nicht in das DVG-Datenmodell aufgenommen.

In der Ergänzung des DVG-Datenmodells /FGH1999/ sind die Daten der Anregekriterien der Schutzeinrichtungen, wie in der bisherigen Version von SANDIA benötigt, derart eingefügt, dass eine Verbindung zum Feld hergestellt wird. Eine solche Verknüpfung wird in der getrennten Schutzdatenbank nicht übernommen, da in der entwickelten Modellierung Schalter und Wandler Anschluss über den Einbauort von Schutzeinrichtungen geben. Prinzipiell ist eine Schutzeinrichtung durch den Einbauort der Wandler und Leistungsschalter (im folgenden nur Einbauort genannt) immer einem Betriebsmittel zugeordnet.

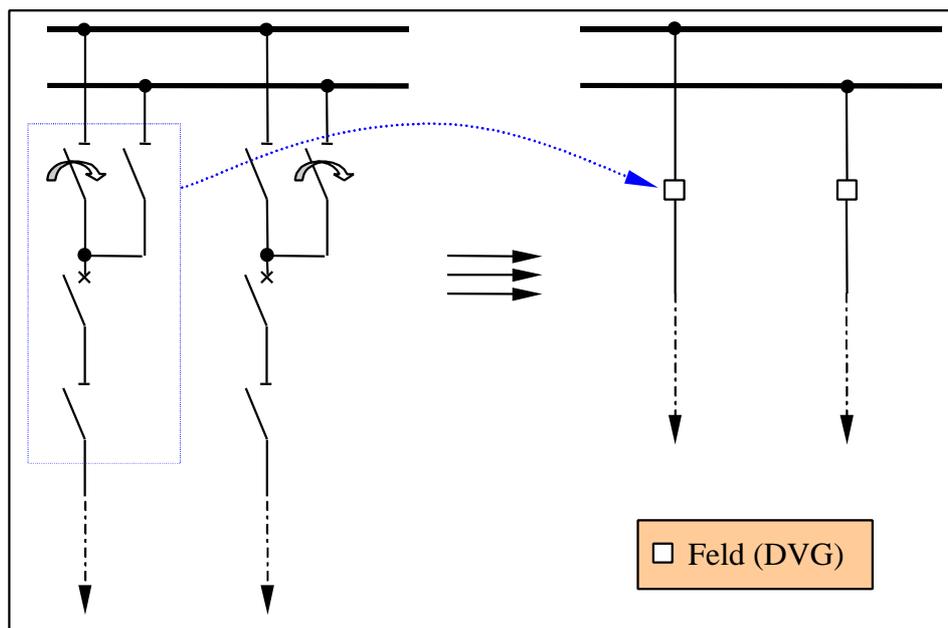
Durch den Aufbau des Schaltfeldes kann die Schutzeinrichtung in einer Schaltanlage bestehend aus mehreren Sammelschienen prinzipiell mit jeder Sammelschiene verbunden werden. Um dies im Datenmodell der Schutzdaten widerzuspiegeln, wurden einige Änderungen an den aus dem DVG-Datenmodell übernommenen Objekten vorgenommen. In Bild 2 sind die Objekte aus dem DVG-Datenmodell mit ihren Attributen dargestellt.

#### 4.2.2 Änderungen für die Ablage von Schutzdaten

Einige Daten aus dem DVG-Datenmodell werden in der Schutzdatenbank nicht benötigt, da sie für die Ablage der Daten von Schutzeinrichtungen nicht relevant sind. Dies sind vor allem Daten, die elektrische Größen der Betriebsmittel beschreiben, da diese zum Zwecke von Berechnungen aus der Netzdatenbank gewonnen werden. Zu den nicht benötigten Daten zählen aber auch zwei Attribute, die in der Schutzdatenbank nicht aufgenommen wurden, obwohl sie im DVG-Datenmodell zu den Schlüsselbildnern der jeweiligen Objekte gehören. Dies ist darin begründet, dass das DVG-Datenmodell kein realistisches Modell einer Schaltanlagenkonfiguration liefert (vgl. Abschnitt 4.2.1).

Der Schaltzustand (Trennerstellung) eines Schaltfeldes wird durch die Verknüpfung des Netzelementes mit einem Knoten (z.B. Sammelschienenknoten) über das Objekt Feld hergestellt (siehe Bild 3). Für die Ablage der Schutzdaten ist die Schalterstellung zunächst irrelevant. Somit ist die Verbindung zwischen dem Objekt Netzelement und dem Objekt Knoten nur soweit nötig, dass diejenigen Knoten bekannt sein müssen, die zu einer „Sammelschienen-Gruppe“ (Schaltanlage) gehören. Bei diesen Knoten handelt es sich dann um Sammelschienen, mit denen ein Betriebsmittel über das Schaltfeld verbunden werden kann. Diese Informationen liefert das DVG-Datenmodell nicht. Daher wird die Struktur der Schlüsselbildner der DVG-Daten angepasst, um keine direkte Verknüpfung mit einem bestimmten Knoten

darzustellen. Ein Netzelement kann mit jeder Sammelschiene einer Schaltanlage verbunden werden. Eine Möglichkeit der Realisierung besteht darin, zusätzliche Daten zu erfassen, mit denen alle Sammelschienen angegeben werden, die zu einer Sammelschienenengruppe gehören. Dies würde einen nicht unerheblichen Aufwand für die Ingenieure generieren, was zu vermeiden ist. Somit wird für die Ablage der Schutzdaten eine Änderung der Schlüsselbildner in den Objekten Feld und Knoten vorgenommen.



**Bild 3: Umwandlung der Netztopologie in das DVG-Datenmodell (Darstellung der Schalteranordnung in einem Schaltfeld)**

Es wird davon ausgegangen, dass alle Knoten eines Standorts, die Teil einer Sammelschienenengruppe bzw. einer Schaltanlage sind, zum gleichen Standort gehören, das gleiche Unternehmenskennzeichen des Knotens und gleiche Werte für die Netzennspannung haben. Der Knotenname wird in der Schutzdatenbank vernachlässigt, da er für die Ablage der Schutzdaten nicht relevant ist. Die Zuordnung zum Knoten (Sammelschiene) erfolgt in der Realität durch die Trennerstellung, die im DVG-Datensatz nicht bekannt ist. Zusätzlich wird auch die Anschlussnummer im Objekt Feld vernachlässigt, um Änderungen der Netzplanung in der Schutzdatenbank nicht nachführen zu müssen.

Die Vereinfachungen erfordern Richtlinien und Einschränkungen, die an die Daten zu stellen sind, um die Schutzdaten für Berechnungen und Anlaysen in Verbindung mit den Netzdaten

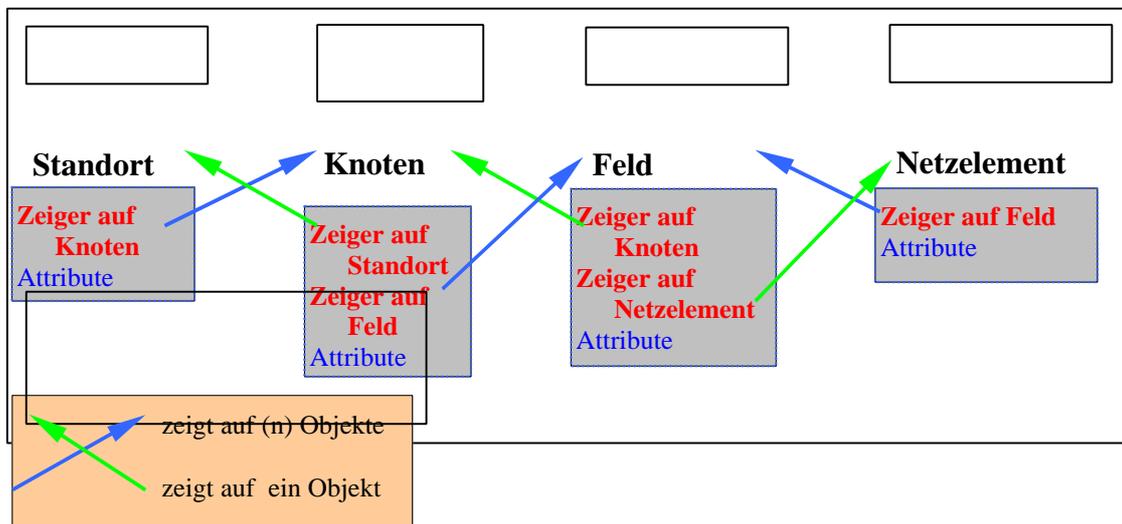
im DVG-Format zu nutzen. So wurden die nachfolgenden Vorgaben, die an einen Netzdatensatz zu stellen sind, getroffen.

Existieren an einem Standort verschiedene Sammelschienengruppen gleicher Nennspannung (Schaltanlagen), die über Leitungen miteinander verbunden sind, so sind diese durch das Unternehmenskennzeichen Knoten zu unterscheiden. Dies dann zwingend erforderlich, wenn die Sammelschienengruppen nicht über eine Kupplung verbunden sind und die Leitungen durch Schutzeinrichtungen in einem oder beiden Felder geschützt sind.

Da im Objekt Feld der Schlüsselbildner „Anschlussnummer“ nicht verwendet wird, ist der einzige verbleibende Schlüsselbildner „Element\_ID“. Somit ist der Schlüssel nicht mehr eindeutig und eine direkte Zuordnung nicht mehr möglich. Die Zuordnung kann dann und nur dann erfolgen, wenn sich die mit dem Netzelement verbundenen Knoten anhand der Schlüsselbildner „UKKN“ und „Un“ sowie die Schlüsselbildner des Standorts „UKST“ und „Standortname“ unterscheiden lassen.

4.2.3 Verknüpfung von DVG-Daten und Schutzdaten

Eine direkte Zuordnung aller Tabellen zwischen Schutz- und DVG-Daten nur dann möglich, wenn die in Abschnitt 4.2.2 getroffenen Vereinbarungen eingehalten werden. Ziel ist es, die Felder an denen Schutzeinrichtungen eingesetzt werden, eindeutig zuzuordnen.



**Bild 4: Objektorientierte Modellierung und Verzeigerung der Klassen**

Standorte und Netzelemente lassen sich, da alle Schlüsselbildner vorhanden sind, eindeutig den Instanzen der Objekte Standort und Netzelement des DVG-Datensatzes zuordnen. Felder

sind dann identisch, wenn die Schlüsselbildner (UKEL, Elementname\_1, Elementname\_2) des über die Element\_ID verknüpften Netzelements gleich sind und die Schlüsselbildner (UKST, Standortname, UKKN, Un) der über die Knoten\_ID bzw. Standort\_ID verknüpften Knoten gleich sind. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass der Knotenname entfällt, so dass sich die korrekte Topologieinformation für die Netzberechnung nur aus dem DVG-Datensatz ergibt.

In der Simulation werden die relationalen Daten in Objekte bzw. Klassen umgewandelt. Diese Klassen sind untereinander verzeigert, so dass jedes Feld auf einen Knoten, jeder Knoten auf einen Standort und jedes Feld auf ein Netzelement zeigt.

Die Programmstruktur sieht vor, zunächst die Schutzdaten und Netzdaten für die Berechnungsmodule getrennt zu laden. Jede der beiden eingesetzten Datenbanken liefert Informationen zu Standort, Knoten, Feld und Netzelement. Es ergeben sich aus den vier Objekten die Klassen DVG\_Standort, DVG\_Knoten, DVG\_Feld und DVG\_Netzelement aus der Netzdatenbank, sowie Schutz\_Standort, Schutz\_Knoten, Schutz\_Feld und Schutz\_Netzelement aus der Schutzdatenbank.

Untereinander sind die einzelnen Klassen sowohl vorwärts und als auch rückwärts verzeigert (siehe Bild 4). Hierdurch ist es möglich, ausgehend vom Standort einfach nach Feldern zu suchen. Mit einer Suchroutine und einem Vergleichsmechanismus lassen sich nun die Instanzen der Klassen DVG\_Feld und Schutz\_Feld verzeigern und eine eindeutige Zuordnung schaffen.

## **4.3 Schutzdatenmodell**

### 4.3.1 Schutzdatenbank

#### **4.3.1.1 Allgemeines**

In einer Ergänzung zu den vier Objekten des DVG-Datenmodells sind in der Schutzdatenbank Informationen zu den Schaltfeldern abgelegt. Hierzu gehört die Kenntnis von Wandlern, Schaltkontakten und Schutzeinrichtungen und deren Daten. Die Schutzdatenbank soll möglichst eng mit der Realität verbunden sein und die vorhandenen Betriebsmittel den Anforderungen entsprechend abbilden, z.B. das Erfassen von Daten unter der realen, geräteabhängigen Nomenklatur. Es ist zu beachten, dass neben Schutzgeräten wie etwa

Distanzschutzeinrichtungen auch Sicherungen und andere Überstromschutzeinrichtungen erfasst werden, um auch Anforderungen in der Mittelspannung erfüllen zu können.

Betrachtet man den physikalischen Aufbau eines Schaltfeldes, so ist die eigentliche Schutzeinrichtung streng genommen kein Bestandteil der Primärtechnik eines Schaltfeldes, sondern vielmehr mit den Wandlern und Schaltern in einem oder mehreren Feldern verbunden. Die Zuordnung der Schutzeinrichtungen erfolgt über die Strom- und Spannungsmesseinrichtungen sowie über die Schaltkontakte. Mit dieser Vorgehensweise lassen sich alle Arten von Schutzeinrichtungen in der Schutzdatenbank beschreiben.

#### 4.3.1.2 Verbindung mit den DVG-Daten

In der vorliegenden Lösung der Datenablage erfolgt eine Trennung von Primär- und Sekundärtechnik. Die Zuordnung bzw. Benennung des „Einbauorts“ erfolgt, wie bei Schutztechnikern üblich, bei Lösungen für Mehrtorbeschreibungen von Schutzobjekten durch die Bezeichnung des jeweiligen Schutzobjektes und bei Lösungen für Eintorbeschreibungen von Schutzobjekten durch die Angabe des Schaltfeldes, in dem die Messeinrichtungen für Strom (oder Spannung) angeordnet ist.

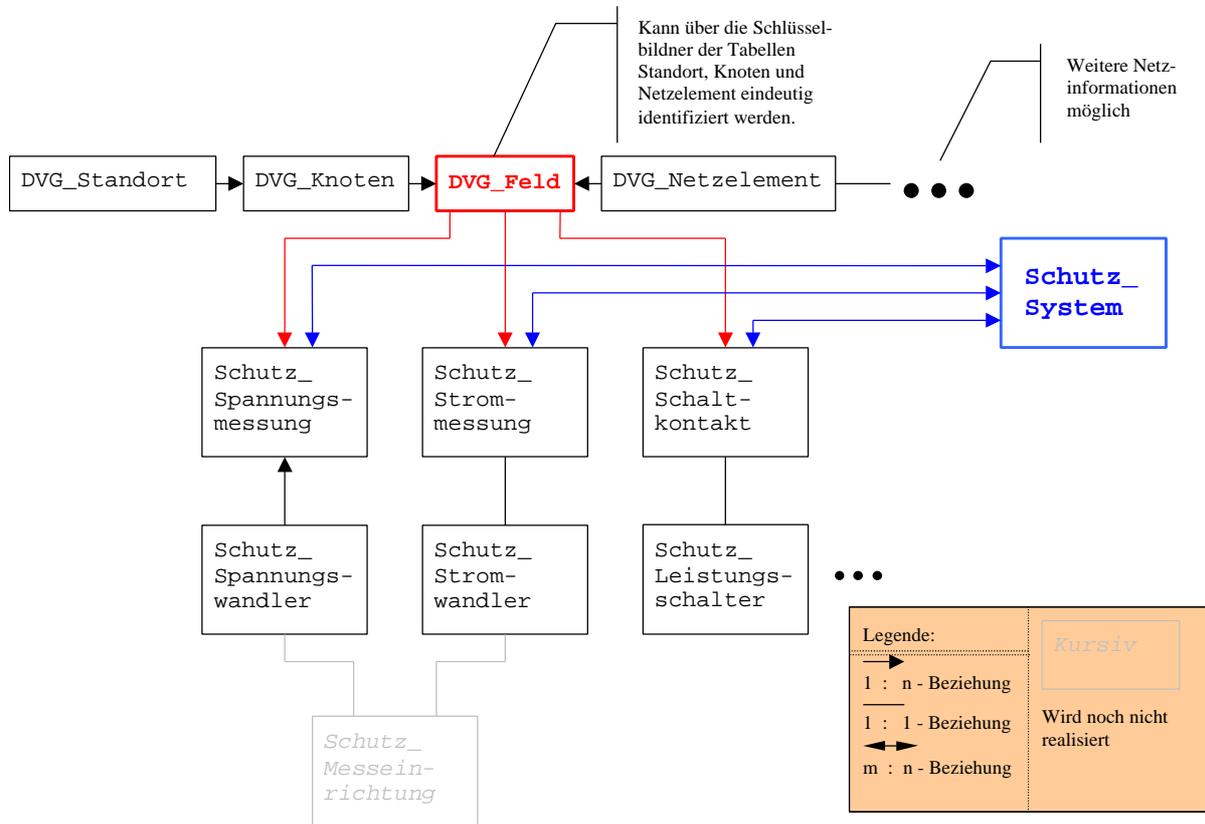
Um die Herkunft der Daten zu verdeutlichen und eine Zuordnung zu erleichtern, sind in den Namen der Datenbanktabellen Schlüsselworte eingefügt. Die in Bild 5 dargestellte Datenstruktur und auch die im folgenden beschriebenen Strukturen weisen folgende Merkmale bei der Bezeichnung der Tabellen auf:

DVG_	Tabellen entsprechen denen des DVG-Datenmodells für Planungsrechnungen (teilweise leicht verändert) /DVG/
SCHUTZ_	Ergänzungen für Schutzuntersuchungen
SCHUTZ_SANDIA_	SANDIA-Daten /SANDIA1997/
SCHUTZ_RIO_	RIO-Daten

Die in Bild 5 dargestellte Struktur ist an das bestehende Datenmodell der DVG angelehnt. Alle Tabellen der Schutzdatenbank, die Daten der Betriebsmittel eines Schaltfeldes und Daten von Schutzeinrichtungen enthalten, sind lediglich mit der Tabelle Feld verknüpft.

Es existieren zwischen den Tabellen, in denen die Daten der Strom- und Spannungswandler abgelegt sind, Zwischentabellen, mit denen lediglich erfasst wird, ob an dieser Stelle Strom- oder Spannungsmessungen vorhanden sind. Gleiches gilt für die Leistungsschalter mit der Zwischentabelle Schaltkontakt. So können nicht nur Leistungsschalter, sondern auch andere

Schalterarten in der Schutzdatenbank ergänzt werden. Mit den drei Tabellen Strommessung, Spannungsmessung und Schaltkontakt wird die Tabelle Schutzsystem verknüpft.



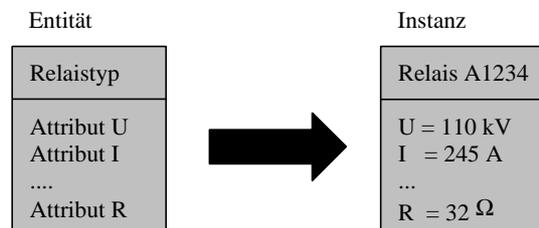
**Bild 5: Schematische Darstellung des Schutzdatenmodells mit der Verbindung zu DVG-Daten**

Der Grund für die Zerlegung von Messung und Wandler bzw. Schaltkontakt und Schalter ist die Forderung, sämtliche Schutzeinrichtungen in der Datenstruktur ablegen zu können. Eine wichtige Rolle spielen die Zwischentabellen beispielsweise bei der Ablage von Sicherungen. Eine solche Schutzeinrichtung benötigt weder Wandler noch Leistungsschalter, sondern beinhaltet Strommessung, Schaltkontakt und Schutzfunktion (Zeitverhalten des Schmelzleiters) in einem Gehäuse. Diese Darstellung erlaubt die Ablage aller Schutzeinrichtungen nach gleichem Muster. Als Attribute werden vorerst nur für die Analyse notwendige Daten abgelegt. Hierzu gehören Wandlerübersetzungsverhältnisse, Wandlerklasse sowie Schaltereigenzeiten bei Leistungsschaltern. Weitere Tabellen, die in dem gewählten Datenbank-

managementsystem nötig sind, um die m:n-Verknüpfungen zu realisieren, wird in den Bildern zur Beschreibung der Datenstruktur nicht dargestellt.

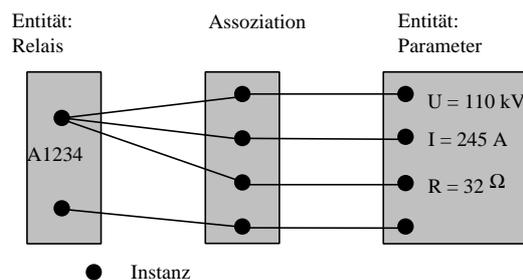
#### 4.3.1.3 Schutzdaten

Die Struktur der Ablage ist, aufgrund der flexiblen Möglichkeit zur Erfassung hersteller-spezifischer Einstellparameter, sehr komplex. Für die Ablage der Parameter von Schutz-einrichtungen wurde ein Verfahren entwickelt, um Assoziationen zwischen Eingabewert und Parameterbezeichnung zu ermöglichen. Bei der Verwendung konventioneller relationaler Datenbanken zur Ablage der individuellen hersteller- und geräteabhängigen Parameter ist nahezu für jedes Gerät eine eigene Tabelle anzulegen oder eine Tabelle derart zu gestalten, dass die Attribute aller Geräte hierin abgelegt werden können. Dies hat zur Folge, dass entweder sehr viele Tabellen und Verknüpfungen realisiert werden oder eine Tabelle mit vielen Attributen, die für eine Schutz-einrichtung schwach besetzt ist, geschaffen werden muss. Abhilfe bietet die Verwendung von Assoziationen. In Bild 6 ist die konventionelle Ablage einer Schutz-einrichtungen dargestellt, bei der eine Entität genau in eine Instanz überführt wird.



**Bild 6: Relationale Darstellung /PSP2000/**

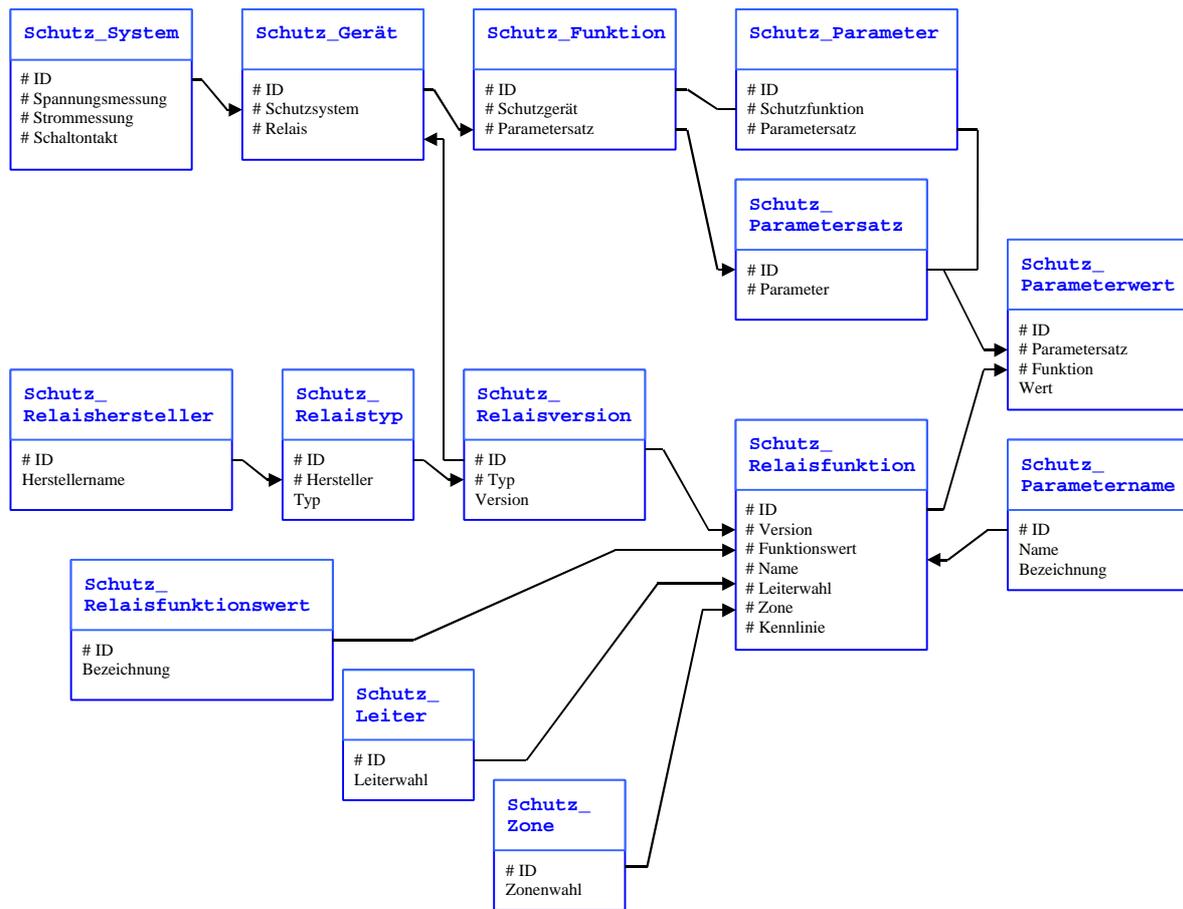
Die Verwendung von Assoziationen sieht vor, dass eine Instanz einer Schutz-einrichtung als Instanz der Entität Relais abgelegt wird und die Parameter als Instanzen einer weiteren Entität, in der sowohl die Bezeichnung als auch der Wert als Attribut abgelegt sind. Die Verbindung zwischen beiden Instanzen erfolgt über eine weitere Tabelle.



**Bild 7:** Darstellung unter Verwendung der Assoziation /PSP2000/

Das Verfahren hat einen entscheidenden Vorteil, denn bei der Aufnahme neuer Geräte ist keine Anpassung der Struktur der Schutzdatenbank notwendig, wie im Fall der reinen relationalen Datenstruktur. Neben der Unabhängigkeit von Herstellerbezeichnungen wird so auch eine Unabhängigkeit von zukünftigen Entwicklungen erreicht. Dies lässt sich natürlich auch für die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte Struktur zur Ablage von Wandler- und Schalterdaten erreichen, macht hier aber weniger Sinn, da die Flexibilität nicht unbedingt notwendig ist und diese mit einem erhöhten Aufwand für die Prüfung und Weiterverarbeitung der Daten erkaufte wird. Der enormen Flexibilität einer assoziativen Datenbankstruktur steht jedoch auch ein Performanceverlust entgegen, der sich für statische Strukturen anderer Elemente nicht rechtfertigen lässt.

Für die flexible Struktur digitaler Distanzschutzeinrichtungen ist dieser Verlust an Performance hingegen zu rechtfertigen und bietet dem Anwender noch weitere Vorteile gegenüber konventionellen Strukturen. So können neben den Herstellervorgaben (es können die herstellerbezogenen Nomenklaturen verwendet werden) auch eigene anwenderspezifische Daten abgelegt werden, ohne in die gegebene Datenbankstruktur eingreifen zu müssen. Darüber hinaus ist mit Assoziationen nicht nur eine flexible Datenablage möglich, der Anwender hat auch die Möglichkeit selbst zu bestimmen, welche Daten er erfasst.



**Bild 8: Beschreibung der Schutzgeräte in der relationalen Schutzdatenbank**

In Bild 8 ist die Struktur für die Ablage der Schutzdaten dargestellt. Die Tabelle Schutz\_System stimmt mit der gleichnamigen Tabelle aus Bild 5 überein.

Nachfolgend wird die Struktur und die Funktion der einzelnen Tabellen erläutert. Um die Übersicht zu bewahren, sind in Bild 8 die Identifier, die für die Verknüpfungen notwendig sind, eingetragen und die dargestellten Tabellen enthalten lediglich einige wenige Attribute, die entscheidend zum Verständnis beitragen.

Nachfolgend sind die Funktionen und Bedeutungen der einzelnen Tabellen näher erläutert:

I) Schutz\_System

Ein Schutzsystem (Schutzeinrichtung) umfasst die „logische Einheit“ einer oder mehrerer Schutzgeräte. Diese Definition resultiert aus der Tatsache, dass konventionelle Schutzeinrichtungen aus einem oder mehreren Schutzrelais bestehen können. Hierbei besteht beispielsweise eine Distanzschutzeinrichtung aus mehreren physikalisch getrennten Einheiten (Relais), die zusammen aber die logische oder schutzsystemtechnische Einheit Schutzeinrichtung bilden. Bei digitalen Schutzeinrichtungen sind alle Funktionen in einem Gerät vereint.

Wenn eine örtliche Reserveschutzeinrichtung eingesetzt wird, bilden Haupt- und Reserveschutz nicht ein, sondern zwei Schutzsysteme. Gleiches gilt für den Einsatz von Distanz- und Differentialschutzeinrichtungen oder auch den Einsatz von Überstrom- und Impedanzmessverfahren, wenn diese als getrennte Systeme arbeiten sollen.

Vernachlässigt man elektromechanische und analog-elektronische Schutzeinrichtungen, kann prinzipiell die Erfassung eines Schutzsystems entfallen.

Das Schutzsystem stellt somit eine Verbindung zwischen

- Wandler (Messpunkte) und Schaltkontakte
- und
- Schutzgeräte

dar.

Mit dem Schutzsystem lassen sich prinzipiell auch allgemeine Informationen verknüpfen, die Auskunft über Einstellung, Wartung, etc. geben können.

II) Schutz\_Geraet

Jedes Schutzgerät hat eine oder mehrere Schutzfunktionen und genau eine Bezeichnung der Schutzeinrichtung (Herstellerbezeichnung), die das Objekt Schutzgerät verknüpft. Ein Schutzgerät unterteilt sich in eine oder mehrere Funktionen. Diese Unterteilung wurde gewählt, um Funktionen einmal zu definieren und mehreren Geräten zuweisen zu können und somit die Flexibilität zu erhöhen.

Eine Verzeigerung reicht zu den Schutzfunktionen. Diese Funktionen sind beispielsweise UMZ-Schutz, AMZ-Schutz, Impedanzverfahren oder auch die Schmelzkennlinie von Sicherungen. Die flexible Datenstruktur verlangt, dass in der Schutzdatenbank die Angaben sämtlicher Relais abgelegt werden können. Um dies zu erreichen, werden die Werte durch einen Namen und einen Wert spezifiziert. Welche Werte für eine Schutzeinrichtung abgelegt werden müssen, wird durch eine

Verknüpfung der Tabellen der Relaisstypen und der Parameternamen beschrieben. Damit ist auch die Bedeutung für die Nachbildung der Schutzeinrichtung bekannt.

III) `Schutz_Funktion`

Jede Schutzfunktion kann, dies gilt vor allem für die digitalen Schutzeinrichtungen, mit mehreren Parametersätzen (z. Zt. sind dies bis zu vier Parametersätze) beschrieben werden, wobei einer dieser Parametersätze aktiv geschaltet wird. Der aktuelle Parametersatz wird mit Hilfe des Fremdschlüssels Parametersatz bestimmt.

IV) `Schutz_Parameter`

Hiermit wird der aktuelle, aktive Parametersatz bestimmt.

Zu jedem Parametersatz gibt es auch einen Eintrag in dieser Tabelle. Die Verknüpfung zwischen der Tabelle Schutzfunktion und der Tabelle Schutzparametersatz ist derart, dass die ID Parametersatz den aktuellen Parametersatz bestimmt. D.h. von jedem Element der Schutzfunktion erfolgt eine Verknüpfung zu einem Element von Schutzparametersatz, es gilt aber nicht, dass von jedem Element aus der Tabelle Schutzparametersatz einer Verknüpfung zu einem Element der Tabelle Schutzfunktion besteht.

V) `Schutz_Parametersatz`

Für jeden Parametersatz erfolgt ein Eintrag in die Tabelle und somit erhält jeder Parametersatz eine eigene ID.

VI) `Schutz_Parameterwerte`

Zu jedem Parametersatz gehören beliebig viele Werte. Diese werden in der hier beschriebenen Tabelle abgelegt, wobei die Bedeutung des Wertes allerdings einer weiteren Tabelle zu entnehmen ist. Gerade dies schafft die Flexibilität der Datenstruktur an neue Aufgaben. Die Bedeutung wird im folgenden in der Tabelle Parametername vergeben.

VII) `Schutz_Relaisersteller`

Der Hersteller ist der Ausgangspunkt für die Spezifikation der Relais. Jeder Hersteller produziert eins oder mehrere Schutzeinrichtungen. Die folgenden Tabellen werden am Beispiel eines Relais der Firma Siemens erläutert.

Der Hersteller ist also in diesem Fall „Siemens“.

VIII) `Schutz_Relaisstyp`

Als Relaisstyp kann ein bestimmtes Relais verstanden werden, z.B. „7SA511“.

## IX) Schutz\_Relaisversion

Heute kann nicht mehr davon ausgegangen werden, dass sich die Funktionalität eines Relaisstyps (beispielsweise dem 7SA511) nicht mehr ändert. Hier ist mit Versionen zu arbeiten. So unterscheidet sich die Version 3.0 des Siemens 7SA511 zur Version 2.0 unter anderem in der Impedanzkennlinie der Unterimpedanzanregung für Fehler mit Erdberührung. Um die unterschiedlichen Daten erfassen zu können, werden die Versionsnummern erfasst.

## X) Schutz\_Relaisfunktion

Jedes Relais beinhaltet unterschiedliche Funktionen, die es zu beschreiben gilt. Zu diesen Funktionen gehören unter anderem die Automatische Wiedereinschaltung (AWE / KU), der Not-UMZ oder Anrege- und Distanzkriterien. Welche dieser Funktionen nun beschrieben wird, ist in einer zusätzlichen Tabelle („Funktionswert“) abgelegt. Ob der Wert zu einer Leiter-Leiter- oder Leiter-Erde-Fehlerauswertung gehört, ist in Tabelle „Leiter“ niedergelegt und um welche Zone es sich hierbei handelt in „Zone“. Mit dem Identifier „Kennlinie“ kann später noch eine Kennlinie spezifiziert werden. Als Beschreibungssprache könnte dann RIO /RIO1996/, /RIO1999/ dienen. Z. Zt. wird diese Ablage noch nicht realisiert. Verknüpft ist die Tabelle auch mit dem Parameterwert. Hierdurch wird dieser spezifiziert.

Die Verknüpfung zwischen Name und Wert erfolgt über die Tabelle Relaisfunktion. Diese beinhaltet die eigentliche Assoziation von Wert und Bezeichnung.

## XI) Schutz\_Parametername

Die zu jedem Parametersatz gehörenden Werte sind in der Tabelle Parameterwert abgelegt und die Bezeichnungen dieser Werte in der Tabelle Parametername. Der Name bezieht sich auf die Eingangsvariablen der Nachbildungen von Schutzeinrichtungen und die Bezeichnung ist vom Anwender frei wählbar, wobei eine Verbindung zwischen beiden bestehen muss.

An dieser Stelle befindet man sich an dem Punkt, an dem typgebundene relaisspezifische Daten und Parametereinstellungen verzeigert sind. Eine genaue Beschreibung ist dem folgenden Abschnitt zu entnehmen.

In der Schutzdatenbank werden die Werte nicht in einzelnen Feldern einer Tabelle, die jeweils bestimmte Bedeutungen haben, abgelegt, sondern die Bedeutung eines Wertes kann erst aufgrund der Assoziation mit den Namen aus einer weiteren Tabelle ermittelt werden. Um weitere Werte abzulegen, ist die Erweiterung einer Tabelle nicht notwendig.

Daneben wird erfasst, welche Werte für ein konkretes Schutzgerät benötigt werden. Mit den Tabellen Relaishersteller, Relaisstyp und Relaisversion werden die Schutzgeräte identifiziert. Wiederum über die Assoziationstabelle Relaisfunktion ist ermittelbar, welche Werte für das jeweilige Relais erfasst werden müssen. Relaisfunktionswert, Leiter und Zone sind weitere Parameter, die zur Spezifikation des Wertes dienen.

Für die meisten Parameter sind von den Herstellern Einstellgrenzen vorgesehen, z. B. der Überstrom als Vielfaches des eingestellten Stroms, oder die Impedanzen in einem bestimmten Bereich. Daneben besitzen einige Einstellwerte auch Schrittweiten, die eingehalten werden müssen. Diese Werte sind zum Teil baulich bedingt. Um solche Grenzen und Schrittweiten erfassen zu können, müssen weitere Tabellen angefügt werden und können dann mit der Assoziationstabelle verknüpft werden. Dies wurde in der hier beschriebenen Version des Prototypen noch nicht implementiert.

#### **4.3.1.4 Ablage von Schutzdaten**

In erster Linie wird eine Datenbankablage mit dem Ziel der Analyse von Distanzschutzeinrichtungen verfolgt. Die notwendigen Daten können mit der beschriebenen Datenbank vollständig erfasst werden. Die Ablage von Daten von UMZ-Schutzeinrichtungen kann problemlos erfolgen, da ihre Kennlinien durch diskrete Werte beschrieben werden. Zum jetzigen Zeitpunkt kann davon ausgegangen werden, dass AMZ-Schutzeinrichtungen mit einer typabhängigen Funktion beschrieben werden können und vier Eingangsvariablen (zwei typabhängige und zwei sicherungsabhängige) benötigt werden. Als letzte wesentliche Schutzeinrichtung sollen auch Sicherungen erfasst werden. Hierfür ist typabhängig lediglich der Bemessungsstrom zu erfassen. Werden bei den Schutzeinrichtungen verschiedene Daten nicht erfasst, gelten diese als nicht verfügbar und die entsprechende Funktion wird nicht ausgeführt. Es erscheint, erst in der Analyse, eine Fehlermeldung.

#### 4.3.2 Dateneingabe und Datentausch

Um für den Datentransfer eine Lösung zu finden, muss die Vorgehensweise bei der Eingabe von Schutzdaten betrachtet werden. Aus Kurzschlussstromberechnungen ermitteln Schutztechniker die Einstellparameter der Schutzeinrichtungen, geben diese in die herstellerabhängige Parametriersoftware ein und überspielen sie dann zur entsprechenden Schutzeinrichtung. Daneben kann noch ein RIO-File /RIO1996/, /RIO1999/ erzeugt werden, welches Daten zur Prüfung der Schutzeinrichtungen enthält. Zur weiteren Verwendung in herstellerunabhängigen Programmen sind die Schnittstellen z.Zt. noch nicht verwendbar aber potentiell geeignet.

Die Eingabe der Daten in die Schutzdatenbank kann auf zwei Arten erfolgen. Zum einen durch Eingabe der Daten durch einen Schutztechniker, zum anderen durch das Verwenden eines Tauschformats unter Zuhilfenahme von Ausgaben der Parametriersoftware der Schutzgerätehersteller, deren Realisierung bevorsteht.

Die Verwendung eines Tauschformats bietet mindestens zwei Lösungswege. Eine Lösung besteht in der Umsetzung der Daten in ein konventionelles ASCII-Format. Eine solche Lösung bietet in begrenztem Umfang das RIO-Format /RIO/. Mittels Parsern, d.h. Schnittstellen, die Schlüsselwörter oder den Aufbau einer ASCII-Datei interpretieren können, können die Daten in eine Datenbank übernommen werden. Dies ist ein bekannter und ein schon lange bewährter Schritt zur Datenumsetzung.

Dieses Verfahren hält der modernen Technik nicht mehr Stand und kann schon bald komplett durch die Verwendung der Metasprache Extensible Markup Language (XML) abgelöst sein. XML hat einen Aufbau der ähnlich des Aufbaus der Hyper Text Markup Language (HTML) ist, die für die Gestaltung von Internet Seiten verwendet wird. Wie bei HTML verwendet XML sogenannte Tags, um beispielsweise Titel und Formatierungsangaben zu definieren. Aber im Gegensatz zu seinem Vorgänger HTML ist XML wesentlich flexibler, da eigene Tags definiert werden können und so ganze Datenstrukturen durch die Tags beschrieben werden können. XML ist in den vergangenen Jahren zu einem Standard für den Datenaustausch herangewachsen.

Eine Umsetzung der Daten in XML ist aber noch nicht entwickelt. Hier besteht noch Handlungsbedarf.

#### 4.3.3 Schutzklassen

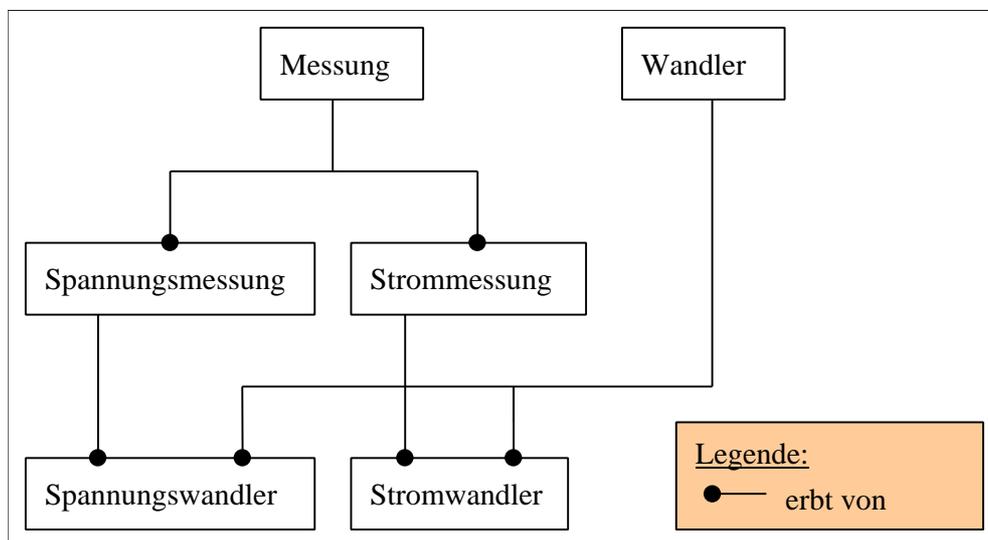
Aufgrund der zahlreichen Vorteile wurde der Prototyp für die Simulation mit der objektorientierten Programmiersprache Microsoft Visual C++ Version 6.0 erstellt. Hierbei wurden Instanzen der Microsoft Foundation Class (MFC) verwendet. Für die Applikation werden Klassen geschaffen, mit der die Funktionalität beschrieben wird. Im Folgenden ist die Darstellung der DVG-Daten und der Schutzdaten durch Objekte beschrieben. Vom Verständnis der objektorientierten Programmierung muss ausgegangen werden (siehe auch /Rogat/, /Lippmann/, /Kruglinski et.al./).

In der vorliegenden Arbeit wird nur die Objektmodellierung der schutzrelevanten Daten, wie sie auch in der Schutzdatenbank abgelegt sind, behandelt, da diese im Zusammenhang mit den neuen Beschreibungen von Schutzfunktionen stehen. Auf die objektorientierte

Modellierung der gesamten Netzdaten wird nicht eingegangen, da diese aus einer anderen Datenquelle stammen.

Die Klassen der DVG-Daten werden zum einen mit den in den Tabellen der Schutzdatenbank abgelegten Attributen gefüllt. Zum anderen wurden sie untereinander derart verzeigert, dass ein Standort auf mehrere Knoten, ein Knoten auf einen Standort, ein Knoten auf mehrere Felder, ein Feld auf einen Knoten, ein Feld auf ein Netzelement und ein Netzelement auf mehrere Felder zeigt bzw. zeigen kann. Daneben zeigt das Feld auf Strommessungen, Spannungsmessungen und Schaltkontakten und umgekehrt. Diese werden im folgenden näher beschrieben.

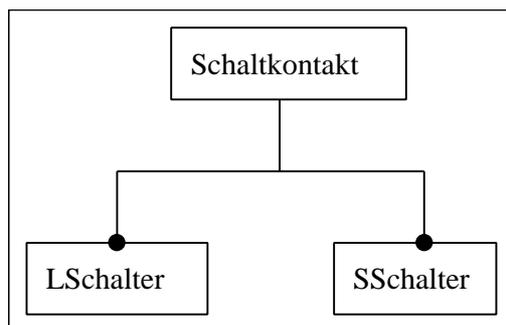
In Bild 9 ist die Vererbungshierarchie der Klassen dargestellt, die für die Aufnahme der berechneten Messwerte dienen. In der abstrakten Klasse (siehe Kapitel 13 „Begriffe“) Messung erfolgt die Verzeigerung zum Feld. Vor ihr abgeleitet sind die Klassen Spannungsmessung und Strommessung. Es kann also keine Instanz der Klasse Messung gebildet werden, da immer bekannt sein muss, ob Spannungs- oder Strommessung vorliegt. Gemeinsam mit der abstrakten Klasse Wandler dienen diese als Basisklassen für die abgeleiteten Wandler-Klassen für Strom und Spannung.



**Bild 9: Vererbungshierarchie der Klassen zur Spannungs- und Strommessung**

Als Schaltkontakte kommen für die derzeitige Anwendung nur diejenigen Kontaktarten in Betracht, mit denen auch Kurzschlussströme ausgeschaltet werden können. Dies sind

zunächst nur Leistungsschalter (LSchalter) und Sicherungsschmelzleiter (SSchalter<sup>1</sup>). In einem weiteren Schritt müssen dann auch die Trennschalter und vor allem die Lasttrennschalter implementiert werden. Für beide implementierten Schalterarten wurden Klassen gebildet, die von einer abstrakten Klasse Schaltkontakt abgeleitet wurden. Über die abstrakte Basisklasse „Schaltkontakt“ erfolgt die Verknüpfung zu den Feldern.

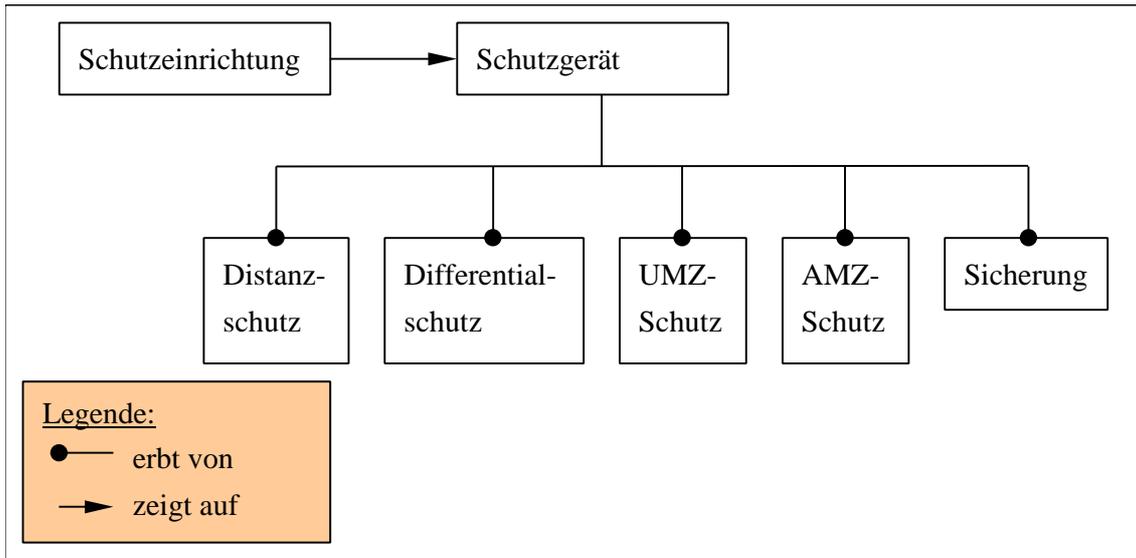


**Bild 10: Vererbungshierarchie der Klassen von Schaltern**  
(Legende siehe Bild 9)

Um mehrere Geräte zu einer Schutzeinrichtung zusammenzufassen, wird eine Klasse Schutzeinrichtung eingefügt (siehe Bild 11). Diese verwaltet die Verzweigung zu den Schaltkontakten und Messpunkten innerhalb des Netzes. Die abstrakte Basisklasse Schutzgerät dient zur Ablage allgemeiner Daten, die für alle Schutzeinrichtungen gleich sind. Konkreter sind die Klassen „Distanzschutz“, „Sicherung“ usw. Hier sind die verschiedenen Schutzeinrichtungen in ihre Grundtypen aufgeteilt.

---

<sup>1</sup> Schmelzleiter wird hier als Schalter bezeichnet. Der Schmelzleiter erfüllt aber drei Funktionen: Strommessung, Ausschaltfunktionalität und Schalter.



**Bild 11:** Vererbungshierarchie der Klassen von Schutzeinrichtungen

## 5 Funktionalität von Schutzeinrichtungen

### 5.1 Allgemeines

Um eine Nachbildung verschiedener Schutzeinrichtungen durchführen zu können, ist es notwendig, sich ein Bild über die z.Zt. eingesetzten Schutzeinrichtungen in den Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen zu machen. In diesem Kapitel werden die Schutzprinzipien beschrieben, die mit Hilfe der Nachbildungen beschrieben werden sollen.

Wie schon in der Klassenmodellierung durchgeführt (siehe Kapitel 4), können die Schutzeinrichtungen in ihre Grundtypen eingeteilt werden. In diesen Grundtypen der Klassenmodellierung verbergen sich jedoch immer noch keine Relaisfunktionen. Bisher wurde lediglich über die Möglichkeiten zur Datenbasis der Modelle diskutiert. Die Nachbildungen von Schutzeinrichtungen sollen möglichst allgemeingültig in der Software abgelegt werden.

Nachfolgend werden die Möglichkeiten zur Nachbildung von Schutzeinrichtungen beschrieben. Da es sich in den folgenden Abschnitten vor allem darum handelt, wie die Funktionalität von Schutzeinrichtungen abzubilden ist, wird nicht auf die Vor- und Nachteile sowie den Einsatzbereich verschiedener Schutzprinzipien eingegangen.

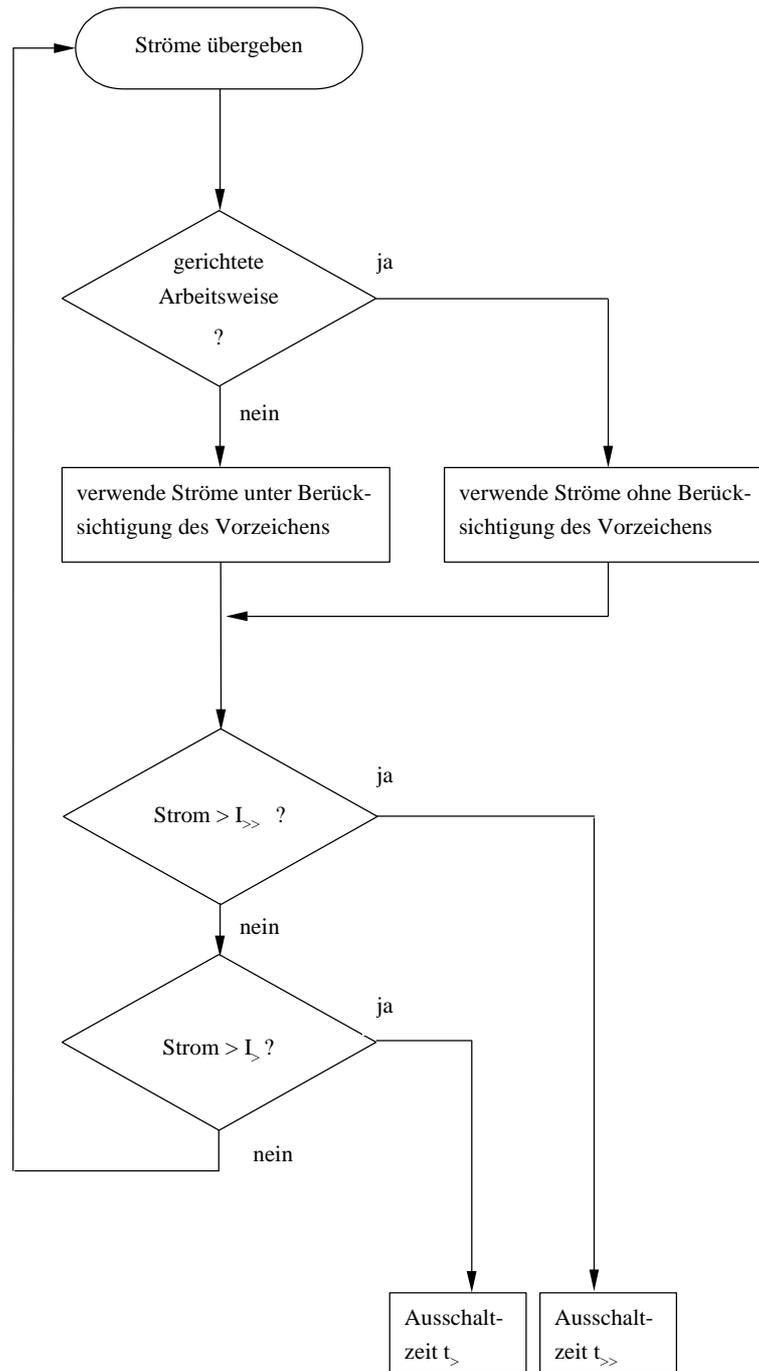
### 5.2 Überstromschutzeinrichtungen

#### 5.2.1 UMZ-Schutz

Einfachste Funktionalität bei den nachzubildenden Schutzeinrichtungen besitzt der unabhängige Maximalstrom-Zeitschutz (UMZ-Schutz<sup>2</sup>). Dieser Schutz besteht aus einem Überstromrelais und einem Zeitrelais. Je nach Ausführung bietet ein UMZ-Schutz eine bis zwei diskrete Stufen für die Ausschaltung. Überschreitet ein Messwert einen eingestellten Schwellwert, kommt es nach der für den jeweiligen Schwellwert festgelegten Zeit zur Ausschaltung.

---

<sup>2</sup> engl.: Definite Time Relay (D.T.Relay)



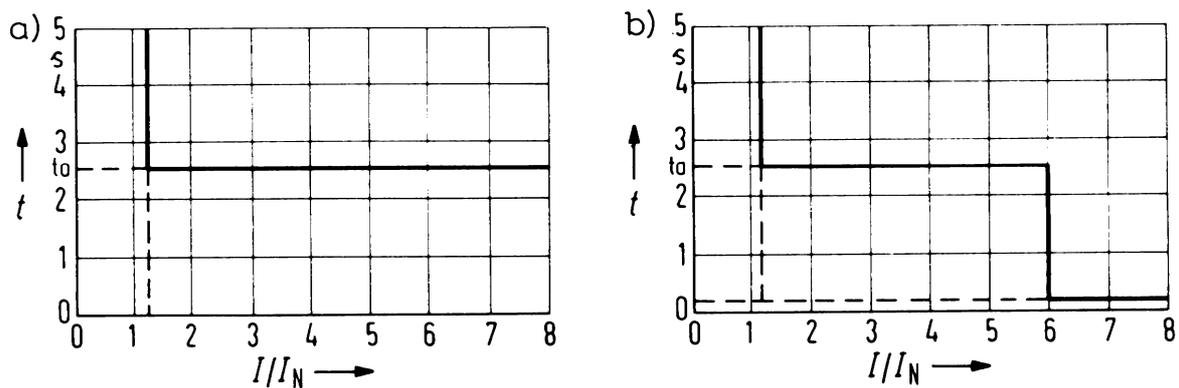
**Bild 12:** Ablaufplan für UMZ-Schutzeinrichtungen

Es werden folgende Werte benötigt:

$I_{>}$	Schwellwert Überstrom
$I_{>>}$	Schwellwert für Schnellzeit (optional)
$t_{>}$	Ausschaltzeit (Überstrom)
$t_{>>}$	Ausschaltzeit (Schnellzeit; optional)
Richtung	Gerichtet/Ungerichtet

In Bild 12 ist der Ablaufplan für die Funktionsweise eines UMZ-Schutzes dargestellt.

Die in den folgenden Abschnitten dargestellten abhängigen Maximalstrom-Zeitschutzeinrichtungen sowie Sicherungen und Schutzeinrichtungen mit Kurzschluss- und Überlastschutz werden üblicherweise anhand ihrer Kennlinien beschrieben. Bild 13 zeigt die Kennlinien unterschiedlicher UMZ-Schutzeinrichtungen. Deutlich erkennbar sind die diskreten Knickstellen.



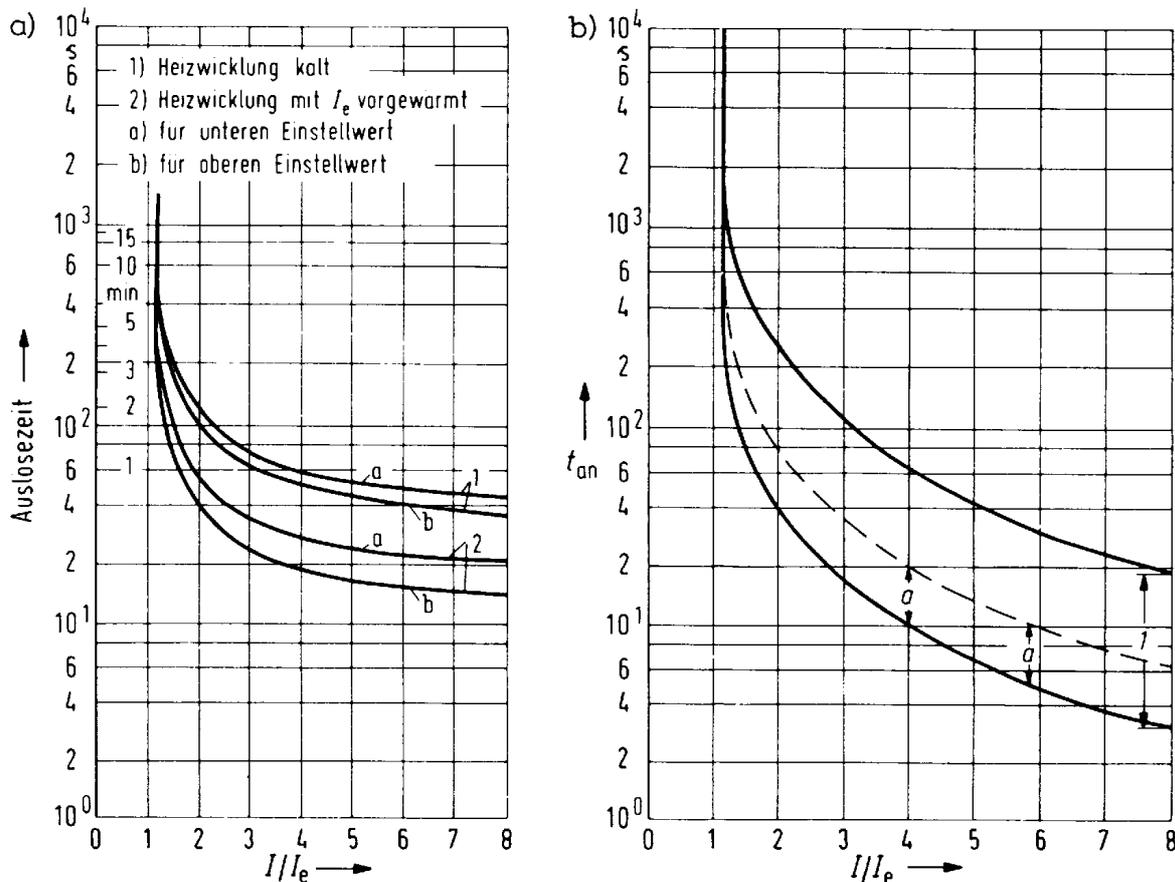
**Bild 13:** Kennlinien für UMZ-Relais /Müller, Boog/  
 a) einstufige Kennlinie ohne Schnellauslöser  
 b) zweistufige Kennlinie mit unverzögertem Schnellauslöser

### 5.2.2 AMZ-Schutz

Der abhängige Maximalstrom-Zeitschutz (AMZ-Schutz<sup>3</sup>), wie auch die nachfolgend dargestellten Schutzprinzipien, ist nicht mehr mit wenigen diskreten Werten (Parametern) zu be-

<sup>3</sup> engl.: Inverse Time Relay (I.T. Relay)

schreiben. Bei dieser Art von Schutzprinzip ist die Auslösezeit von der Höhe des Überstroms abhängig. Die Kennlinienform ist in Bild 14 dargestellt. In der einfachsten Form des AMZ-Schutzes werden Bimetallsysteme verwendet, um eine solche Kennlinie zu realisieren. Hierbei ist die Form der Kennlinie derart zu wählen, dass sie der Erwärmungskennlinie des Schutzobjektes entspricht. Zur Beschreibung der Kennlinien müssen mindestens zwei Einhüllende der möglichen Kennlinienschar abgelegt werden. Mit Hilfe der diskreten Einstellwerte werden Kennlinien dann verzerrt oder verschoben.



**Bild 14:** AMZ-Kennlinien /Müller, Boog/  
 a) thermisches Überstromzeitrelais (AEG RSZt)  
 b) elektronisches Überstromzeitrelais (AEG RSZay)  
 (senkrechte Abstände a überall gleich groß  
 1 – stufenlos einstellbar)

Die Auslösezeit hängt auch davon ab, ob die Schutzeinrichtung aufgrund der Vorbelastung durch den fließenden Laststrom vorgewärmt ist oder nicht (siehe Bild 14a). Aufgrund der Erwärmung des Bimetallstreifens kommt es zu einer wesentlich schnelleren Schaltheilung bei gleichem Kurzschlussstrom. Dies könnte eventuell zur Nicht-Selektivität führen. Für die Vorbelastung ist eine Funktion zu entwickeln, die es ermöglicht, die Kennlinien entsprechend anzupassen.

Die Kennlinie einer Überstromauslösung kann auch durch Kombination mehrerer Überstromauslöser zusammengestellt werden. Hierdurch entstehen Bereiche mit einer schnellen (für den Kurzschlussschutz) und Bereiche mit einer verzögerten Auslösung (für den Überlastschutz). Für kompensiert oder isoliert betriebene Netze kann auch ein Erdschlussauslöser eingesetzt sein, der in diese Betrachtungen nicht einbezogen wird, da er nicht dem Kurzschlussschutz dient, der hier untersucht werden soll.

Nachfolgend sind einige wenige Arten von Überstromauslösern vorgestellt:

- Langverzögerter Auslöser (a-Auslöser)  
Der langverzögerte Auslöser dient dem Überlastschutz.
- Nichtverzögerter Auslöser (n-Auslöser)  
Nichtverzögerte Auslöser dienen dem Kurzschlussschutz. Herkömmliche nicht verzögerte Auslöser sind elektromagnetische Auslöser
- Unterspannungsauslöser (r-Auslöser)
- Kurzverzögerter Auslöser (z-Auslöser)
- Erdschlussauslöser (g-Auslöser)

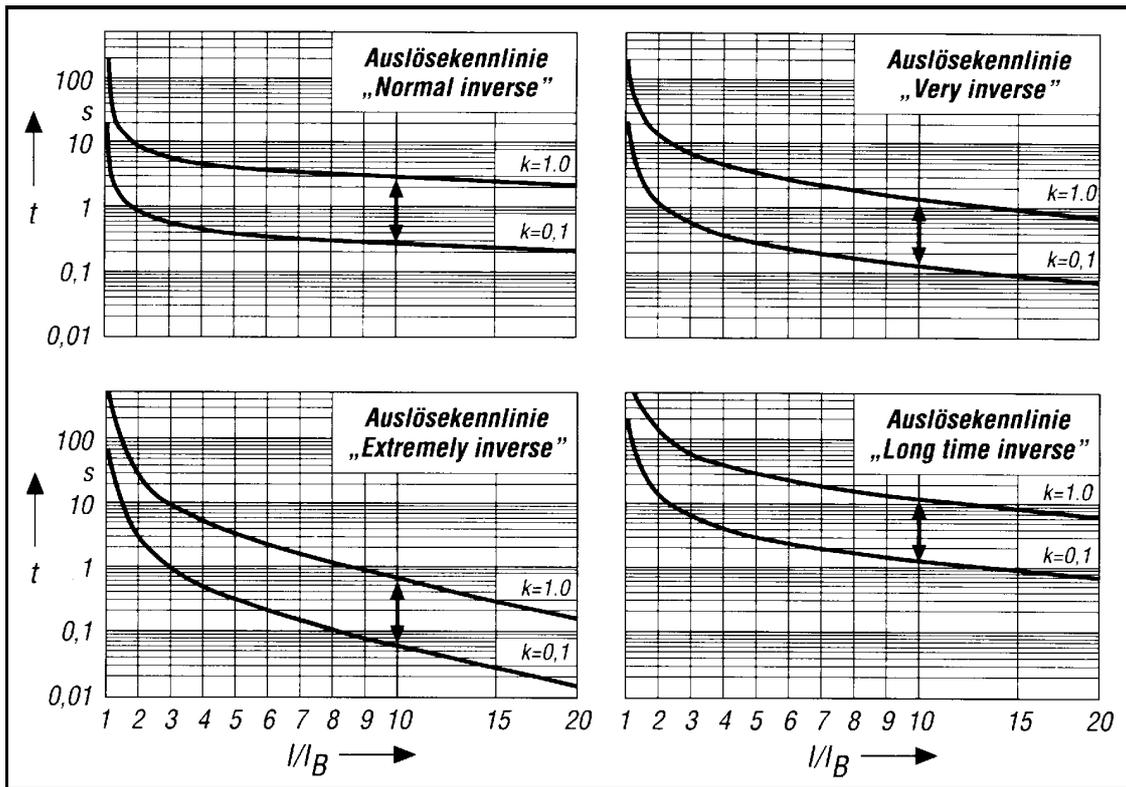
### 5.2.3 IDTM-Überstromschutz

IDMT-Relais<sup>4</sup> sind abhängige Überstrom-Zeitschutzeinrichtungen mit einer Kennlinie, die einem Funktionsverlauf entspricht, der mathematisch zu beschreiben ist. Die Art der Kennlinie wird wiederum durch den Einsatz bestimmt. Es wird hierbei zwischen folgenden Auslösekennlinien unterschieden (siehe Bild 15 und Tabelle 2):

- Normal Inverse (SI)
- Very Inverse (VI)
- Extremely Inverse (EI)
- Long Time Inverse (LTI)

---

<sup>4</sup> engl.: IDMT  $\hat{=}$  Inverse Time Relay with Definite Minimum Time



**Bild 15: Kennlinien für IDMT-Überstromrelais /Doemeland/**

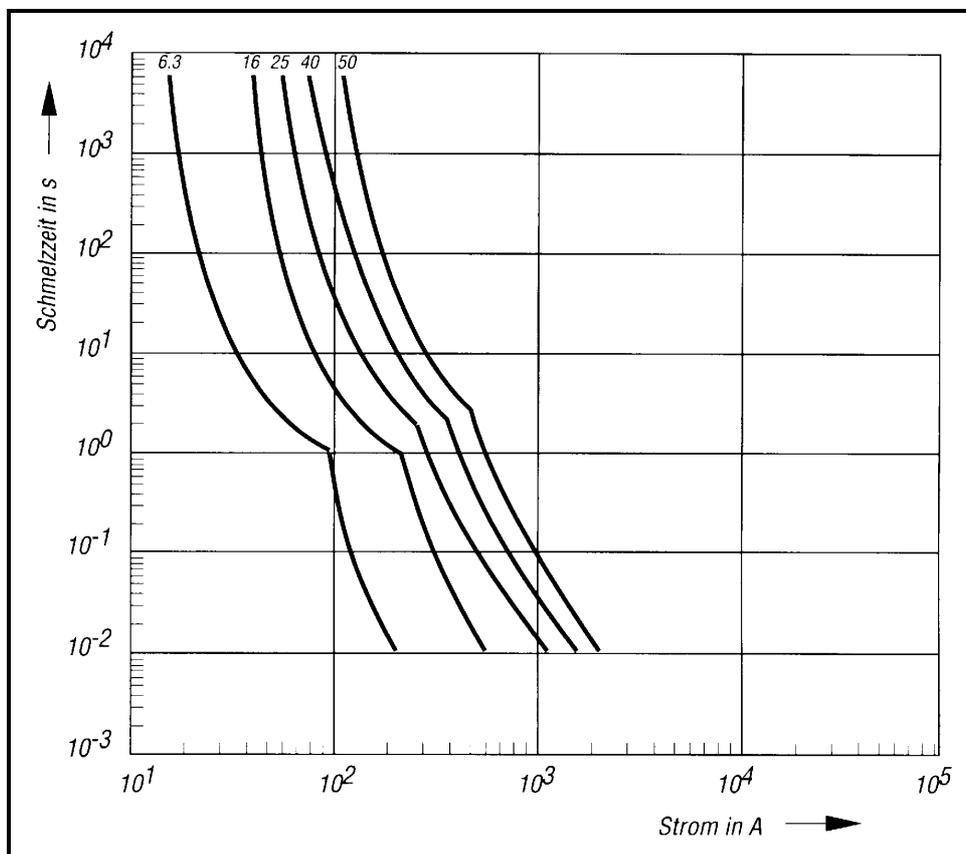
In Tabelle 2 sind die Berechnungseigenschaften für die Auslösezeit dargestellt.

**Tabelle 2: Kennlinienbeschreibung für IDMT-Überstromrelais /Doemeland/**

Kennlinientendenz		Kennlinienbestimmung	Bemerkung
LTI	long time inverse langzeitinvers	$t_a = \frac{120}{(I_k / I_e) - 1}$	auch für Motorschutz geeignet
SI	normal inverse standardinvers	$t_a = \frac{0,14}{(I_k / I_e)^{0,02} - 1}$	
VI	very inverse sehr invers	$t_a = \frac{13,5}{(I_k / I_e) - 1}$	
EI	extremely inverse extrem invers	$t_a = \frac{80}{(I_k / I_e)^2 - 1}$	gute Anpassung an Sicherungskennlinien

### 5.2.4 Sicherungen

Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherungen (HH-Sicherungen) zählen zu den Schutzrichtungen, da sie im übertragenen Sinne einem stromabhängigen Primärauslöser entsprechen /Doemeland/. Bei Sicherungen wird zwischen Teilbereichs- und Vollbereichssicherungen unterschieden, wobei Vollbereichssicherungen neben dem Kurzschlusschutz auch als Überlastschutz fungieren. Vollbereichssicherungen besitzen eine Kennlinienform, die sich aus der Verknüpfung zweier Kennlinien ergibt (siehe Bild 16). Eine Kennlinie beschreibt das Überlastverhalten und eine weitere das Verhalten bei Kurzschluss. Beide Kennlinien werden durch den Aufbau des Schmelzleiters bestimmt.



**Bild 16:** Strom-Zeit-Kennlinien für HH-Sicherungen 6 kV/12 kV /Doemeland/ (Vollbereichssicherungen)

Teilbereichssicherungen bestehen lediglich aus einer Kennlinie, die für die Ausschaltung von Kurzschlüssen gedacht ist. Die Funktionalität der Überlastschutzes fehlt bei Teilbereichssicherungen.

Obwohl Sicherungen Kurzschlussströme erkennen und ausschalten können, stellen sie alleine keinen Leistungsschalterersatz dar. In Verbindung mit Lasttrennschaltern können sie aber auch bei ein- oder zweipoligen Fehlern zur dreipoligen Ausschaltung führen. HH-Sicherungseinsätze beinhalten einen Treibsatz, der nach Abschmelzen einen Schlagstift für die Auslösung des Lasttrenners betätigt. Aus diesem Grund ist es wichtig, auch die Lasttrennschalter in Feldern zu erfassen.

Die Nachbildung von Sicherungskennlinien erfolgt analog zu denen von AMZ-Schutzeinrichtungen.

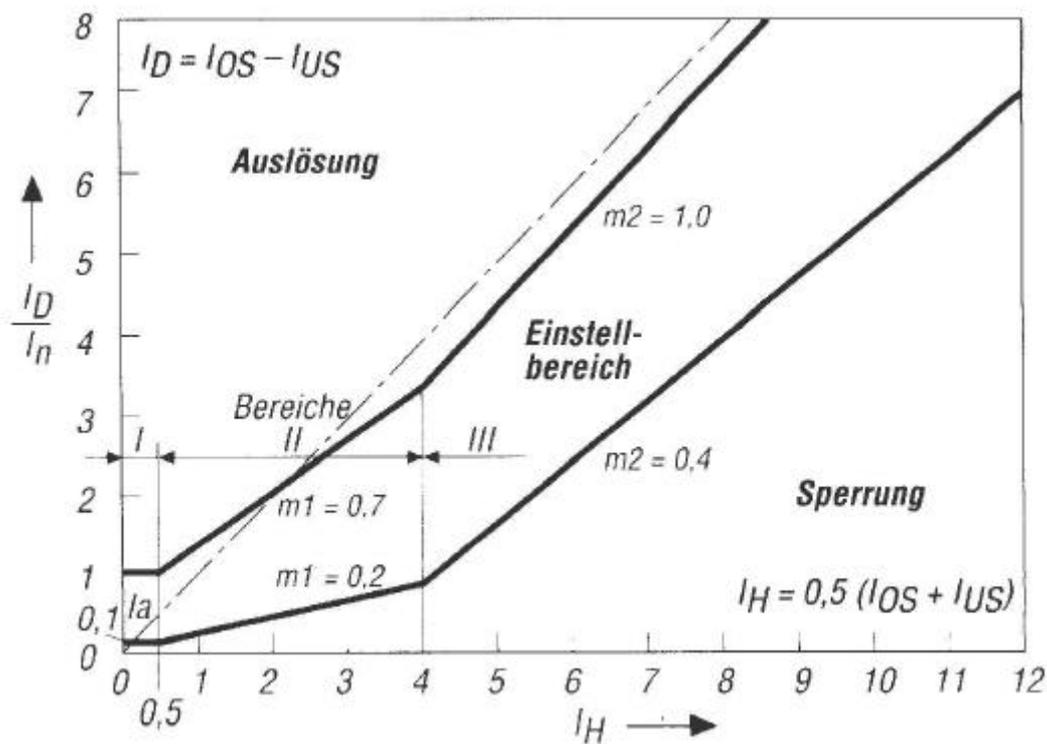
### **5.3 Vergleichsschutz - Stromdifferentialschutz**

Vergleichsschutzarten lassen sich in vier Kategorien unterteilen:

- Stromdifferentialschutz
- Spannungsdifferentialschutz
- Phasenvergleichsschutz
- Signalvergleichsschutz

Für die hier untersuchten Netzkonfigurationen wird nur der Stromdifferentialschutz untersucht und beschrieben.

Der Stromdifferentialschutz ist eine weit verbreitete Schutzeinrichtung und wird über alle Spannungsebenen eingesetzt. Er dient vornehmlich zum Schutz von Kabeln, Sammelschienen und Transformatoren. Stromdifferentialschutzeinrichtungen basieren auf der Auswertung der Kirchhoffschen Regel (Summe aller Ströme, die auf einen Knoten fließen ist gleich Null). Wird der Differentialschutz als Transformator-differentialschutz eingesetzt, so müssen die gemessenen Ströme mit dem komplexen Übertragungsverhältnis der zu schützenden Transformatoren übersetzt werden. Diese Aufgabe übernehmen die eingesetzten Wandler, die sowohl Betragsänderung als auch die eventuell andere Phasenlage berücksichtigen müssen. Da in dieser Arbeit die Simulation nicht mit transienten Größen vorgenommen wird, wird hier lediglich ein Vergleich der sekundärseitig fließenden Ströme anhand ihres Betrages vorgenommen.



**Bild 17:** Ansprechkennlinie eines Differentialrelais /Doemeland/

In Bild 17 ist die Ansprechkennlinie eines Differentialrelais dargestellt. Der Differenzstrom ergibt sich aus der Differenz der Strombeträge, der Haltestrom  $I_H$  als arithmetische Summe der Ströme. Anhand des Haltestroms wird die Kennlinien in unterschiedliche Bereiche eingeteilt, in den sie unterschiedliche Steigungen besitzt. Im ersten Bereich ist die Steigung Null.

Für eine Simulation sind die folgenden Größen aufzunehmen:

- Auslösestrom  $I_A$
- Haltestrom  $I_H$  am Knickpunkt
- Steigung ( $m$ ) ab Knickpunkt ( $I_H$ )

Für die Größen existieren relaisabhängige Einstellbereiche.

## 5.4 Distanzschutz

### 5.4.1 Allgemeines

Bei den vorangegangenen Beschreibungen von Schutzeinrichtungen ließen sich allgemeingültige Funktionalitäten herausarbeiten. Beim Distanzschutz ist diese Vorgehensweise nicht mehr möglich, er ist jedoch immer in drei Grundfunktionalitäten einzuteilen:

- Anregung
- Messschleifenwahl
- Auslösung (Distanzentscheid)

Es ist sinnvoll, die Funktionalität von Distanzschutzeinrichtungen in diese drei Bereiche einzuteilen, um die wenigen Gemeinsamkeiten nutzen zu können /Baumann, et al.-1996/. In den folgenden Abschnitten werden die drei Funktionen von Distanzschutzeinrichtungen näher beschrieben.

### 5.4.2 Anregung

Die Anregung von Distanzschutzeinrichtungen dient dem Erkennen von Fehlern, dem Erkennen der Fehlerart und der betroffenen Leiter, dem Starten der Zeitglieder und der Wahl der auszuwertenden Messschleife. Sie ist somit äußerst wichtig für das korrekte Arbeiten der Schutzeinrichtung. Ohne das Erreichen der Anregekriterien wird der Schutz nicht aktiv. Es gibt vier grundlegende Anregekriterien:

- Unterimpedanzanregung  $Z_{<}$
- Überstromanregung  $I_{>}$
- Unterspannungsanregung  $U_{<}$
- Erdfehleranregung  $U_{E>}$

Die Eingangsdaten

- Ströme,
- Spannungen und
- Parameter

werden mit den Schwellwerten verglichen und die hieraus resultierenden Signale meist logisch verknüpft, um zu den Anregeaussagen zu kommen.

Einfachste Anregeart ist die **Überstromanregung**. Diese phasenbezogene Anregeart führt bei einfachem Überschreiten eines Schwellwerts zur Anregung in den entsprechenden Leitern.

Zur **Erdfehlererkennung** können zwei Kriterien herangezogen werden. Zum einen das Überschreiten eines Erdstromschwellwertes (dies entspricht  $3 I_0$ ) und zum anderen das Überschreiten einer Verlagerungsspannung. Diese Kriterien können getrennt oder logisch verknüpft zu einer Anregeaussage führen.

Die **Unterimpedanzanregung** wird im allgemeinen durch eine Kennlinie im R/X-Koordinatensystem beschrieben. Hierbei bestimmt vor allem die Parametrierung und auch das Vorhandensein eines Erdfehlers (siehe vorherigen Absatz), ob bei mehrpoligen Fehler eine Leiter-Leiter- oder eine Leiter-Erd-Schleife ausgewertet wird.

Eine **U-I-Anregung** kann durch eine U-I-Kennlinie beschrieben werden. Hierbei werden die Leiterströme, sowie Leiter-Erde- bzw. Leiter-Leiter-Spannungen zu einem Anregekriterium eines Leiters herangezogen.

Bei den untersuchten Distanzschutzeinrichtungen konnten zwischen einzelnen Anregearten einige Gemeinsamkeiten festgestellt werden. Eine allgemeingültige Formulierung wurde bisher aber nicht gefunden. Hierfür waren die Kriterien einzelner Schutzeinrichtungen wiederum zu unterschiedlich. Neben den Unterschieden in der funktionellen Beschreibung der einzelnen Anregearten besitzen die einzelnen Schutzeinrichtungen z.T. auch Verknüpfungen zwischen den Anregearten, die abhängig von der Schutzeinrichtung variiert, um so zu einer Anregeentscheidung zu gelangen. Dies gilt besonders bei der Betrachtung digitaler Distanzschutzeinrichtungen, wo neben funktionellen Zusammenhängen auch zahlreiche logische Verknüpfungen eine Rolle spielen.

Während bei der Anregung insbesondere für elektromechanische und analog-elektronische Schutzeinrichtungen noch Gemeinsamkeiten unterschiedlicher Relais festgestellt werden konnten, müssen für jede digitale Schutzeinrichtung getrennte, eigenständige Nachbildungen programmiert werden. Da eine neue Version einer Schutzeinrichtung durch Aufspielen einer neuen Softwareversion erstellt werden kann, die wiederum nicht immer in den Handbüchern nachgeführt wird, ist eine Modellierung von Schutzeinrichtungen in ihrer vollständigen Beschreibung nicht mehr möglich. Zudem ist ein Nachführen der Schutzfunktionalität bei immer kürzer werdenden Entwicklungszyklen zunehmend schwieriger.

In den Anregebedingungen der digitalen Schutzeinrichtungen tauchen bereits Verzögerungszeiten auf. Der Grund hierfür liegt in der schnellen Arbeitsweise dieser Schutzeinrichtungen, die in den ersten Jahren, in denen sie eingesetzt wurden, vor allem zu einer zu schnellen Reaktion der Relais geführt hat. Um bei Pendelungen nicht zu reagieren, wurde bereits in der Anregung Verzögerungszeiten eingebaut. Diese wirken allerdings meist erst dann, wenn ein Fehler in einem benachbarten Schutzbereich festgestellt wird.

Die Eingangsdaten der Anregung sind ebenso abhängig von der betrachteten Schutzeinrichtung als auch die Funktionen der Anregung. Lediglich bei den Ausgangsdaten lassen sich Gemeinsamkeiten herausarbeiten. Es kommt zu folgenden Entscheidungen:

- Anregung in Leiter L1
- Anregung in Leiter L2
- Anregung in Leiter L3
- Anregung in Leiterschleife L1-L2
- Anregung in Leiterschleife L2-L3
- Anregung in Leiterschleife L3-L1
- Erdfehleranregung

Auf die Nachbildung der Anregung wird in Kapitel 6 eingegangen.

#### 5.4.3 Messschleifenwahl

Die Wahl der Messschleife ist abhängig von der Anregung, der Parametrierung und dem verwendeten Relais. Die einzelnen Relais besitzen unterschiedliche Kriterien, um eine Fehlerschleife auszuwählen. Größtes Problem für eine allgemeingültige Beschreibung sind wiederum die stark differierenden Parameter unterschiedlicher Schutzeinrichtungen.

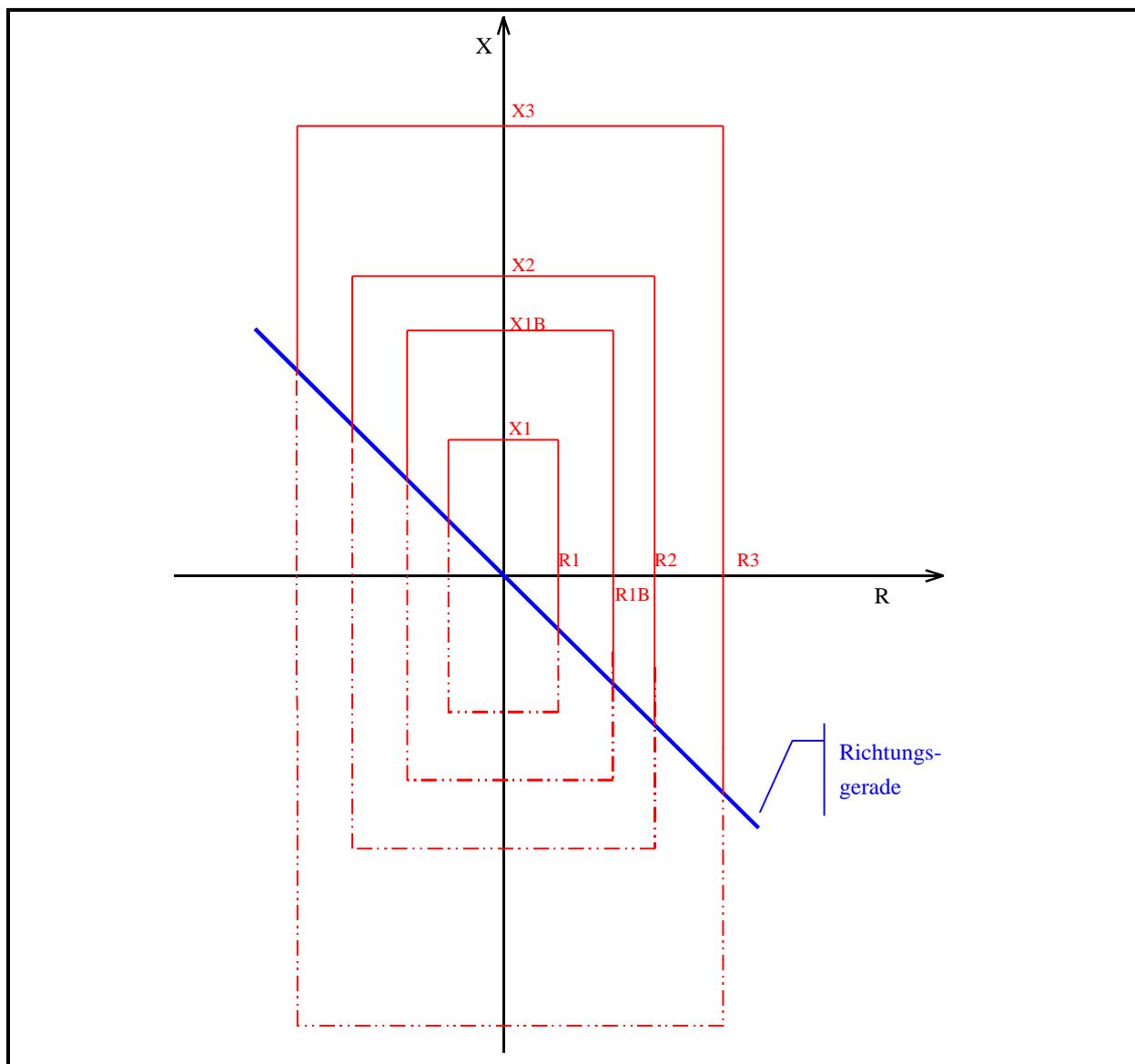
Es wird zwischen dem Einsatz der Schutzeinrichtungen in geerdeten und isolierten/kompensierten Netzen unterschieden. Für jede Netzform gelten andere Bedingungen an die Messschleifenwahl. Zudem muss unterschieden werden, welche Art der Anregung untersucht wurde.

Die Wahl der Messschleife kann in Form einer Tabelle dargestellt werden. Eingangsgrößen sind Parameter und die Anregeaussagen wie in Abschnitt 5.4.2 dargestellt. Ausgangsgröße ist die auszuwertende Messschleife (L1-L2, L2-L3, L3-L1, L1-E, L2-E oder L3-E).

#### 5.4.4 Distanzentscheid

Für den Distanzentscheid werden Kennlinien wie bei der Unterimpedanzanregung herangezogen. Für eine zeitliche Staffelung sind mehrere Kennlinien ineinander geschachtelt. Zu jeder Kennlinie wird eine Auslösezeit abgelegt. Liegt eine gemessene Impedanz innerhalb einer Kennlinie, so wird nach Ablauf dieser Zeit der Aus-Befehl an den Leistungsschalter gegeben. In Bild 18 sind die Kennlinien einer Schutzeinrichtung dargestellt. In dem vorliegenden Bild handelt es sich um eine polygonale Kennlinie, eine Richtungsgerade (Steigung  $m = -45^\circ$ ) bestimmt die Vorwärts- (oberhalb der Geraden) bzw. Rückwärtsrichtung (unterhalb der Geraden).

Die Kennlinien können, dies gilt vor allem für ältere Schutzeinrichtungen, aber auch aus Kreisen bestehen.



**Bild 18: Distanzkennlinien des Siemens 7SA511 Version 2.0**

## 6 Nachbildung der Schutzeinrichtungen

### 6.1 Klassifizierung der Schutzeinrichtungen in Betrachtungseinheiten

#### 6.1.1 Allgemeines

Eine Schutzeinrichtung kann allgemeingültig durch ein Modul mit  $n$  Eingangs- und  $m$  Ausgangsvariablen nachgebildet werden. Die Eingangsvariablen bestimmen und beeinflussen die binären Eigenschaften des Moduls und wirken sich somit auf die Belegung der Ausgänge aus.

Zur Nachbildung für eine Simulation lassen sich alle Arten von Schutzeinrichtungen in drei getrennte Betrachtungseinheiten gliedern /Huwer/:

- Die Eingangsvariablen, als numerische Größen, die zum einen vom Benutzer und zum anderen vom Netz vorgegeben werden.
- Die Ausgangsvariablen, die den momentanen Zustand (Anregung, Auslösung, etc.) der Schutzeinrichtung beschreiben sollen und eventuell Auswirkungen auf das Netz haben, z.B. durch Ausschaltungen.
- Die Funktionalität, die als binäre Eigenschaft hinterlegt wird und das Verhalten der Schutzeinrichtung nachbildet. Sie ist Bindeglied zwischen Ein- und Ausgangssignalen.

Die einzelnen Betrachtungseinheiten werden in den nachfolgenden Abschnitten unter Berücksichtigung der für die im Forschungsvorhaben relevanten Größen betrachtet. In der Simulation wird innerhalb eines Zeitabschnitts lediglich mit stationären, komplexen Größen gearbeitet.

#### 6.1.2 Eingangsgrößen

Eingangsgrößen werden zum einen durch das Netz (Unterschiede aufgrund des Schaltzustands und der Lastsituation) und zum anderen durch den Nutzer (Schutztechniker setzt Parametrierung fest) vorgegeben. Die Zahl und die Art der durch das Netz vorgegebenen Eingangsgrößen sind klar zu definieren. Als netzseitige Eingangsgrößen werden die elektrischen Größen verwendet. Dies sind die drei Leiterströme und Leiter-Erd-Spannungen, die aus der Kurzschlussstromberechnung als komplexe Größen vorliegen. Hieraus lassen sich für die Spannungen die verketteten Größen wie folgt berechnen:

$$\underline{u}_{(L1L2)} = \underline{u}_{(L1)} - \underline{u}_{(L2)} \quad (6.1)$$

$$\underline{u}_{(L2L3)} = \underline{u}_{(L2)} - \underline{u}_{(L3)} \quad (6.2)$$

$$\underline{u}_{(L3L1)} = \underline{u}_{(L3)} - \underline{u}_{(L1)} \quad (6.3)$$

Für die Nullsystemgrößen gilt:

$$\underline{i}_{(0)} = \underline{i}_{(L1)} + \underline{i}_{(L2)} + \underline{i}_{(L3)} \quad (6.4)$$

$$\underline{u}_{(0)} = \underline{u}_{(L1)} + \underline{u}_{(L2)} + \underline{u}_{(L3)} \quad (6.5)$$

Für den Erdfehlerstrom gilt:

$$\underline{i}_{(E)} = 3 \cdot \underline{i}_{(0)} \quad (6.6)$$

Vom Nutzer vorgegebene Größen sind die Schutzeinrichtung selbst sowie die Parameter der Schutzeinrichtung. Die Struktur dieser Eingabedaten erweist sich als viel variabler als die der netzseitigen Eingangsgrößen. So variieren die einstellbaren Parameter nicht nur in ihrer Anzahl, sondern auch in ihrer Nomenklatur. Dies gilt sowohl für Schutzeinrichtungen unterschiedlichen Typs als auch für Schutzeinrichtungen gleichen Typs aber unterschiedlicher Version.

Die Notwendigkeit einer flexible Datenstruktur wurde bereits bei der Gestaltung der Schutzdatenbank erkannt und umgesetzt. Die benötigte Flexibilität wurde in der Datenablage durch die Assoziation von Wert und Bedeutung erreicht. Um dies auch für den Eingangsvektor des Moduls „Schutzeinrichtung“ zu gewährleisten, muss dieser eine Form aufweisen, die es ermöglicht, Wert und Bedeutung (Variablenbezeichnung) dem Modul zu übergeben.

Eine solche Vorgehensweise ist unter Zuhilfenahme der Standard Template Library (STL) erarbeitet worden. Hier kann in sogenannten „Maps“ ein Wert in Verbindung mit einem eindeutigen Schlüsselwort an eine Variable übergeben und so eindeutig zugewiesen werden.

Die Bedeutungen der Schlüsselwörter, die der Beschreibung der Einstellparameter dienen, müssen der Simulationssoftware nicht bekannt sein, da diese erst in der funktionalen Beschreibung einer Schutzeinrichtung Verwendung finden. Als Ströme und Spannungen werden komplexe Größen verwendet. Somit lassen sich die Messwerte durch insgesamt jeweils sechs Größen beschreiben. Den Modellen werden alle Werte in Form eines Vektors übergeben, bei dem für Nicht-Vergleichsschutzeinrichtungen die ersten sechs Werte die Leiter-Spannungen, die weiteren sechs Werte die Leiterströme und die folgenden Werte die Parameter in einer definierten Reihenfolge sind.

### 6.1.3 Ausgangsvariablen

Zwar lässt sich für konkrete Anwendungen die Zahl der Ausgangsvariablen eindeutig beschreiben, prinzipiell ist diese Zahl aber wiederum relais- bzw. softwareabhängig. Es sollten, um eine weit verbreitete Anwendungsmöglichkeit auch für andere Aufgabenstellungen zu schaffen, mindestens die Ausgangsvariablen zur Verfügung stellen, die auch das in der Realität eingesetzte Schutzgerät ausgibt.

In diesem Forschungsvorhaben werden Informationen zur Anregung, der Auslösezeit und der Ausschaltung benötigt. Hierbei handelt es sich um folgende Größen:

- **Anregung**       $A()$ 
  - Leiter               $A(L1), A(L2), A(L3)$
  - Erde                 $A(E)$
  - Leiterschleifen    $A(L1,L2), A(L2,L3), A(L3,L1)$
  
- **Auslösezeit**     $T$
  
- **Ausschaltung**    $AUS()$ 
  - Leiter               $AUS(L1), AUS(L2), AUS(L3)$

Wie schon bei den Eingangsgrößen, erfolgt die Ausgabe von Daten in einem Vektor, in dem Werte und Beschreibungen enthalten sind. Diese Werte sollten mindestens die Ausgaben der vorhandenen Schutzeinrichtungen umfassen und verwenden auch die Bezeichner der existierenden Schutzeinrichtungen. Die jeweilige Anwendungssoftware (Applikation) ermittelt aus diesem Vektor die für die Simulation benötigten Werte. Im Gegensatz zu den Eingangsvariablen muss nun die Bedeutung der Werte bekannt sein, um mit ihnen weiterarbeiten zu können. Dies verlangt eine Interpretation der Beschreibung durch die Applikation. Die Schnittstelle ist in der Nachbildung an eine Simulationssoftware anzupassen.

### 6.1.4 Binäre Eigenschaften

Dritter Teil ist das eigentliche Modul mit den binären Eigenschaften, in dem die jeweiligen Relaisfunktionalitäten beschrieben sind. Die Umsetzung der binären Eigenschaften in einem bestehenden Programmsystem /SANDIA1997/ werden erläutert und die Vor- und Nachteile diskutiert.

Es lassen sich keine oder nur wenige Gemeinsamkeiten aller Distanzschutzeinrichtungen feststellen, mit der eine Schutzeinrichtung in der Gesamtheit beschrieben werden kann. Bei ersten Versuchen der Modellierung wurde deutlich, dass sich die Gesamtfunktionalität einer Schutzeinrichtung in Teilfunktionalitäten zerlegen lässt. Verfeinert man diese Teilfunktionalitäten, so lassen sich die gewonnenen Teilsysteme bei der Nachbildung anderer Schutzeinrichtungen wieder verwenden.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurde schon in /SANDIA1997/ die Anregung getrennt von der Modellierung des Distanzentscheides entwickelt, dessen spätere Ergänzung in dem bestehenden Datenmodell schon berücksichtigt wurde, aber bisher noch nicht erfolgte. Die Modelle der Anregetypen in /SANDIA1997/ sind so allgemein gehalten, dass sie zur Nachbildung mehrerer Schutzeinrichtungen verwendet werden können, ohne an Genauigkeit zu verlieren. Die Möglichkeit der Beschreibung mehrerer Schutzeinrichtungen mit einem Anregetyp gilt allerdings nur für elektromechanische und analogelektronische Distanzschutzeinrichtungen, da digitale Schutzeinrichtungen aufgrund ihrer Individualität nicht in ein solches Schema passen.

Bei der Nachbildung eines Relais mit den Anregetypen bereitet gerade die Flexibilität, die man dadurch erreicht, Probleme. Der Schutztechniker muss, wenn er erstmalig eine Schutzeinrichtung nachbildet, den Funktionsumfang des eingebauten Relais mit dem Funktionsumfang der Nachbildungen vergleichen und den richtigen Anregetyp wählen. Zudem müssen die einzugebenden Einstellungen der Nachbildung oftmals aus den Einstellparametern einer Schutzeinrichtung und aus den Strom- und Spannungswandlerübersetzungen umgerechnet werden. Dies birgt auch die Gefahr, bei der Eingabe Fehler zu machen. Besser wäre es sicherlich, wenn man mit Hilfe von Oberflächen und Umrechnungsmodulen für die konkreten Relaisarten aus den Eingabedaten der Relais die Anregearten und die Einträge in die entsprechenden Tabellen dem Programm überlassen würde. Hier würde eine Funktionalität genügen, die mit Hilfe einfacher Oberflächen (z.B. Excel) und wenigen formalen Zusammenhängen programmiert werden könnte.

Bei den Untersuchungen, die im Rahmen des Forschungsantrags durchgeführt wurden, wurde es als wenig sinnvoll erachtet, dem Benutzer lediglich einfache Modelle anzubieten. In den weitergehenden Überlegungen müssen die einzelnen mehr oder weniger schutzeinrichtungsabhängigen Relaisfunktionalitäten zu einer Schutzeinrichtung nur binär verknüpft und somit für jeden Relaisstyp nur einmal vorgenommen werden. In seiner eigentlichen Arbeit kann der Schutztechniker mit den korrekten Einstellparametern weiterarbeiten, die auch dem Relais vorgegeben werden. Umrechnungen werden von der Applikation bzw. der Nachbildung der binären Eigenschaften durchgeführt und damit Fehlerquellen vermieden.

Um die binären Eigenschaften von Schutzeinrichtungen unterschiedlichen Programmen zur Verfügung zu stellen, stehen in erster Linie zwei elementare Methodiken zur Verfügung:

- Bibliotheken mit Blockschaltbildern, aus denen die Funktionalität durch Kombination unterschiedlicher Blöcke erstellt wird, sowie Ein- und Ausgänge frei definiert werden können.
- Dynamic Link Libraries (DLL), in denen die Relaisfunktionalität vom Hersteller bereitgestellt wird.

Eine weitere Möglichkeit, die Verwendung von plattformunabhängigen Java-Applets, wurde nicht mehr untersucht.

Die bisherige Methodik, die Funktionalität anhand der Relaisbeschreibungen nachzubilden und diese den Schutztechnikern für genau ein Programm zur Verfügung zu stellen, scheidet zukünftig aus. Vereinfachte Nachbildungen durch Kennlinien scheiden ebenfalls aus, da die Beschreibungen unvollständig und für eine Nachbildung zu ungenau sind. Die Problematik der ungenauen Relaisnachbildung wurde auch schon bei anderen Forschungsprojekten bemängelt.

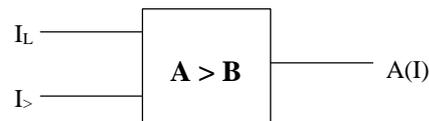
Bei der Nachbildung der binären Eigenschaften handelt es sich um einen zentralen Bestandteil des Forschungsauftrags und auf die beiden Varianten wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

## **6.2 Verfahren der Nachbildung der binären Eigenschaften**

### 6.2.1 Verwenden von Blockschaltbildern

Die Darstellungsform der Nachbildung der binären Eigenschaften mit Hilfe von Blockschaltbildern ist wohlbekannt und eignet sich besonders zur Darstellung binärer Strukturen, die gerade bei digitalen Geräten genutzt wird /Böse, et. al. -2000/.

Einfachste Art der Darstellung einer trivialen Funktion innerhalb moderner digitaler Schutzeinrichtungen mittels Blockschaltbildern ist die Ermittlung, ob eine gemessene, oder eine bei der Simulation berechnete Größe einen Schwellwert überschreitet (z.B. Überstromschwellwert). Es handelt sich hierbei um einen Soll-Ist-Wert-Vergleich. Ein solcher Schwellwertentscheid ist für eine einfache Überstromanregung in Bild 19 dargestellt. Eingangsgrößen sind der gemessene (Simulation: berechnete) Wert  $I_L$  und der Schwellwert  $I_{>}$ . Als Ausgang wird die Überstromanregung zur Weiterverarbeitung in anderen Teilsystem weitergegeben.



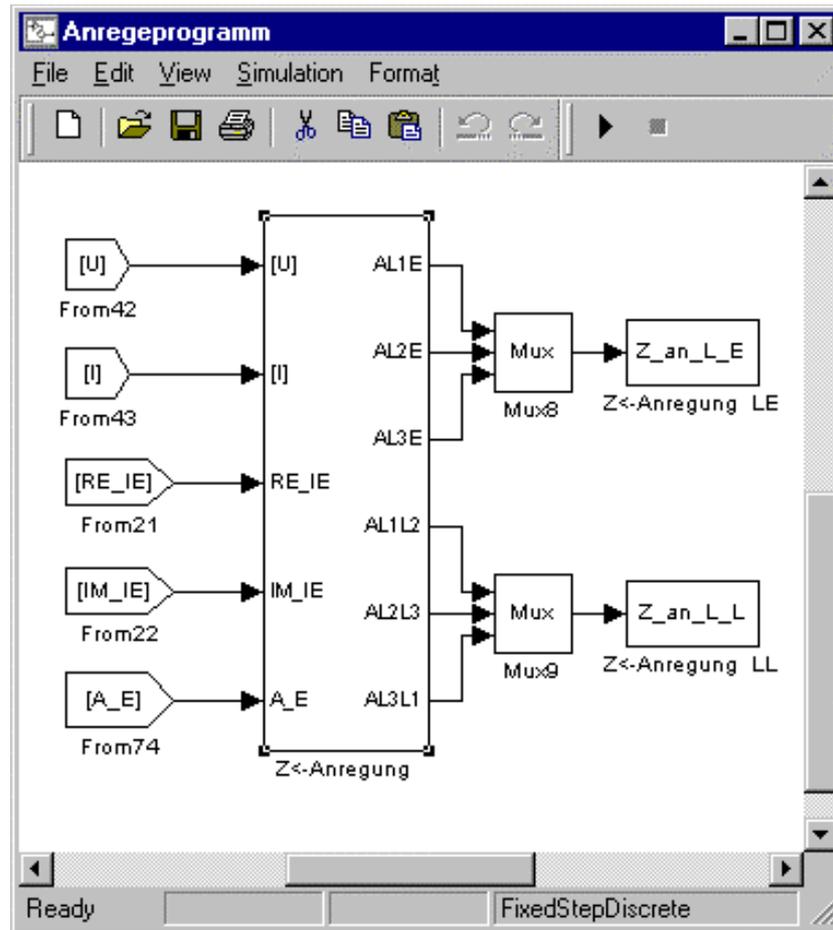
**Bild 19: Binäre Darstellung des Schwellwertentscheids für eine Überstromanregung**

Sicherlich ist das dargestellte Teilmodul eines der weniger komplexen, doch lassen sich auch die anderen Teile der Schutzfunktionen in solchen Blockschaltbildern darstellen.

In den Untersuchungen zur Nachbildung von Distanzschutzeinrichtungen wurde eine Möglichkeit gesucht, mit Hilfe einer grafischen Oberfläche die Funktionalität eines Relais zusammenzustellen. Hierfür wurde ein Programm gesucht, das alle Möglichkeiten bietet, neben der Simulation mit komplexen Größen auch das transiente Verhalten nachzubilden, um Modelle verwenden zu können, die vielseitig einsetzbar sind. Mit dem Programmpaket Matlab & Simulink der MathWorks Co. existiert ein weit verbreitetes Berechnungsprogramm für solche Aufgaben, das diese Funktionalität mitbringt. Für unsere Zwecke, dem Test mit stationären, komplexen Größen ist Simulink sicherlich überdimensioniert. Sollen aber auch Untersuchungen transienter Vorgänge, beispielsweise mit Daten aus Aufzeichnungen eines tatsächlichen Störungsgeschehens durchgeführt werden, müssen lediglich Filtereigenschaften etc. hinzugefügt werden. Ein- und Ausgänge lassen sich einfach und schnell definieren und programmspezifisch anpassen.

Die Software erfüllt fünf entscheidende Anforderungen:

- Erstellen von Blockstrukturen
- Definition von Teilsystemen
- Kombination der Teilsysteme
- Erstellen von Bibliotheken mit Teilsystemen
- Freie Definition von Ein- und Ausgangsvariablen

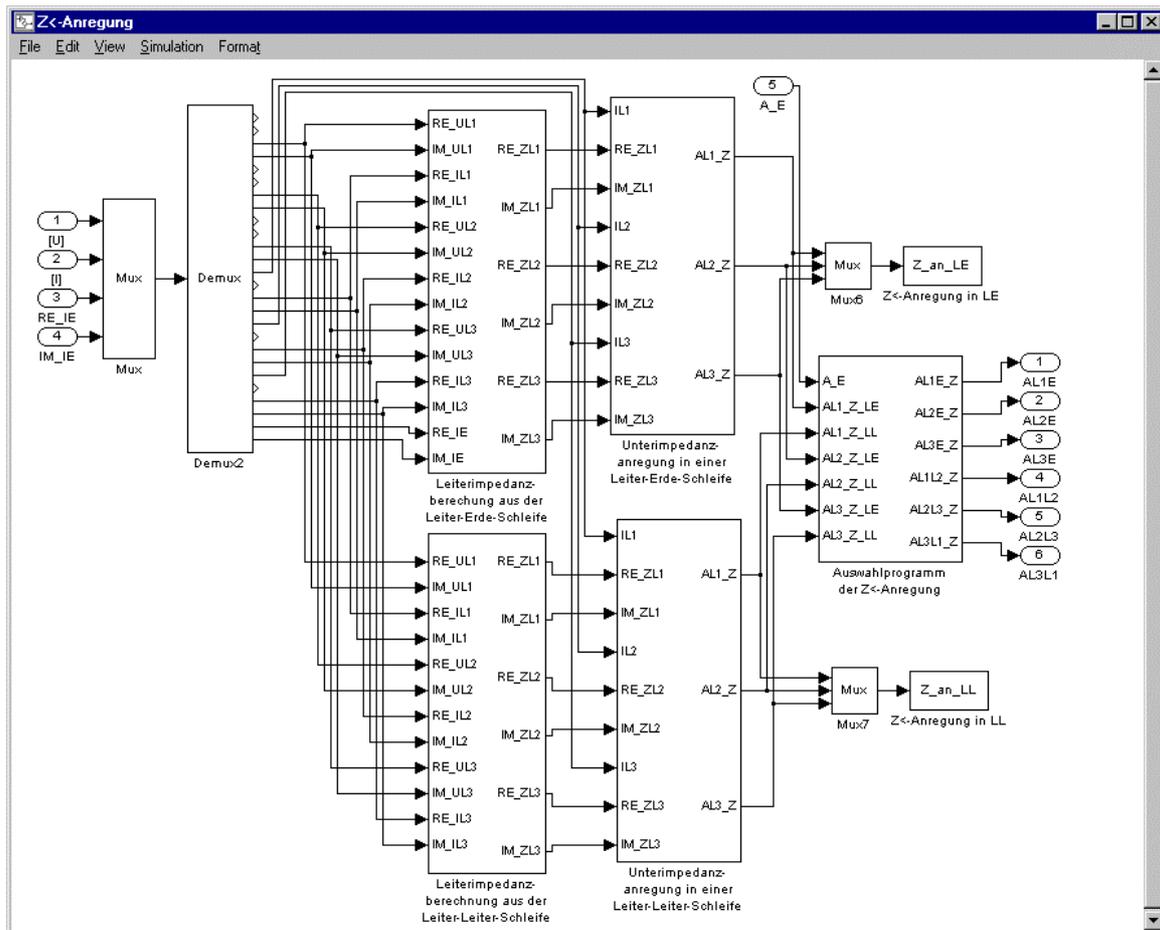


**Bild 20: Modell einer Unterimpedanzanregung in Simulink**

In Bild 20 ist das Modell einer Unterimpedanzanregung für die Siemens Distanzschutzeinrichtung 7SA511 Version 2.0 dargestellt, wie sie anhand des Bedienhandbuchs für unsere Zwecke in Simulink nachgebildet werden.

Aus den berechneten Größen der Simulation und den Parametern, die der Schutztechniker vorgibt, bildet das Modul die jeweiligen Anregeentscheidungen für Leiter-Erde- und Leiter-Leiter-Anregung.

Der in Bild 20 dargestellte Block „Z<-Anregung“ wird in Simulink als „Subsystem“ also Teilsystem bzw. untergeordnetes System bezeichnet. Diese Teilsysteme sind mit einfachen Mitteln selber zu entwerfen und können wie in Bild 21 dargestellt wiederum verschiedene Subsysteme enthalten. Hierdurch lassen sich die Anforderungen in Teilprobleme gliedern, die dann getrennt von einander gelöst und getestet werden können.



**Bild 21:** Subsystem der Unterimpedanzanregung mit weiteren Subsystems

Um den Aufbau einer Nachbildung zu erläutern, soll Bild 21 herangezogen werden. Die Eingangsvektoren mit Werte zu Spannungen und Strömen werden mit Hilfe eines Multiplexers zu einem Datenstrom zusammengefasst und anschließend wiederum in einem Demultiplexer in einzelne Variablen getrennt. Anschließend werden die Variablen den verschiedenen Teilsystemen zum Ermitteln der Anregung zugeführt. Die Entscheidungen werden dem Auswahlprogramm der Unterimpedanzanregung zugeführt, wo anhand der Parametrierung die entsprechenden Signale auf die Ausgänge geschaltet werden. In die Teilsysteme können weitere Eingangsvariablen eingehen. So können komplexe Probleme in ihre Teilprobleme zerlegt werden und getrennt untersucht und getestet werden.

In einem ersten Versuch wurden die Funktionen des Distanzschutzgerätes Siemens 7SA511 der Version 2.0 anhand des Bedienhandbuchs /SIEMENS/ mit dieser Strukturierung nachgebildet und getestet. Die erwartete Arbeitsweise wurde bisher über eine Microsoft Excel-Schnittstelle getestet und als korrekt arbeitend bewertet.

Die Blockstrukturen sollten aufgrund der Fehler, die bei der Nachbildung gemacht werden können, vom Hersteller selbst geliefert werden. Bei dem Prototypen wurde eine Nachbildung anhand des Benutzerhandbuchs der Schutzeinrichtung vorgenommen. Die Funktionsweise der Nachbildung wurde exemplarisch überprüft. Die Funktionsweise entspricht somit der im Benutzerhandbuch festgelegten, das Verhalten der realen Schutzeinrichtung kann sich hiervon aber unterscheiden.

### 6.2.2 Einsatz von Dynamic Link Libraries

Eine weitere Möglichkeit, wie einer schutzgeräteherstellerunabhängigen Simulationssoftware die Funktionalitäten der Schutzeinrichtungen übergeben werden kann, besteht in der Bereitstellung von Dynamic Link Libraries (DLL), in denen die Funktionalitäten der Schutzeinrichtungen enthalten sind.

Bei DLLs handelt es sich um Programme, die erst zur Laufzeit einer Applikation gebunden werden. So können neue Schutzeinrichtungen bzw. neue Modelle von Schutzeinrichtungen untersucht werden, die bei der Erstellung des Programms noch nicht existent sind. Der Nutzer fügt hierzu lediglich die neuen DLLs in ein entsprechendes Verzeichnis ein und legt die Bezeichnung der DLL in der Schutzdatenbank ab. Hierdurch kann eine Verknüpfung erfolgen.

Bei der Verwendung von DLLs unterscheidet man zwischen impliziter und expliziter Bindung. Bei der **impliziten Bindung** muss die DLL und die zugehörige Header-Datei während der Compilierung des Programms schon vorliegen, um die Header-Dateien in das Programm einzubinden und dann zu compilieren. Diese Art der Bindung eignet sich nicht für die oben beschriebene Zielsetzung. Für das späte Binden einer bei der Programmerstellung nicht vorhandenen Datei ist die **explizite Bindung** wesentlich effektiver. Hierbei muss lediglich der Name der DLL während der Laufzeit des Programms bekannt sein. Dies wird durch die Ablage der DLL-Bezeichnung in der Schutzdatenbank realisiert. Durch Lademethoden wird die DLL dann aufgerufen und die in der DLL enthaltenden Methoden können verarbeitet werden.

Installationsprogramme zum Einfügen von DLLs können fehlende Einträge in die Schutzdatenbank ergänzen, was mit Hilfe eines Tauschformats erfolgen kann, wie dies bereits in Abschnitt 4.3.2 beschrieben ist.

Wichtig für die Verwendung solcher DLLs ist eine gemeinsame Eingabe- und Ausgabe-schnittstelle. Dies ist mit dem in Abschnitt 6.1 erläuterten Sachverhalt möglich. Wie im Abschnitt 6.1 beschrieben müssen Vektoren mit Werten und Bezeichnern übergeben werden.

Hierbei ist eine Methode notwendig, die herstellerübergreifend die gleiche Bezeichnung hat. Hier muss eine Standardisierung der Nomenklatur erfolgen. Entsprechende Vorschläge erfolgen nach abschließender Prüfung zum Ende des Projekts.

## 6.3 Anwendung für die betrachteten Schutzrichtungen

### 6.3.1 Stromzeitkennlinien

Stromzeitkennlinien von Schutzrichtungen wurden bereits im Abschnitt 5.2 in Bild 13 bis Bild 16 dargestellt. Ist der gemessene (Simulation: berechnete) Strom größer als der durch die Kennlinie beschriebene Wert, kommt es nach Ablauf der zugehörigen Auslösezeit zu einer Ausschaltung. Basis für die Ermittlung der Auslösezeit sind Kennlinien. Hierbei sind verschiedene Kennlinienarten zu unterscheiden und werden in stetig differenzierbare und unstetige Kennlinien unterteilt. Als Beispiel für eine nicht stetig differenzierbare Kennlinie kann die des UMZ-Schutzes herangezogen werden, die mindestens eine Knickstelle besitzt. Im folgenden wird die Behandlung beider Kennlinienarten beschrieben.

Der **UMZ-Schutz** kann durch maximal zwei Schwellwertentscheide dargestellt werden. Als Eingangsparameter werden die drei Leiterströme  $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$  und  $I_{L3}$  sowie die beiden Schwellwerte  $I_{>}$  und  $I_{>>}$  mit den dazugehörigen Auslösezeiten  $T_{>}$  und  $T_{>>}$  dem Modul zugeführt. Für ein Drehstromsystem (L1, L2, L3) werden sechs Schwellwertglieder benötigt. In Tabelle 3 sind die möglichen Kombinationen der Schwellwertentscheide dargestellt, unter der Voraussetzung, dass  $I_{>} < I_{>>}$  ist. Je nachdem ob eine einpolige Ausschaltung möglich ist oder nicht, muss die Analysesoftware in sechs Kombinationen (siehe Zeilen mit grauem Hintergrund in Tabelle 3) die Leiter am Einbauort entweder einpolig oder dreipolig unterbrechen.

**Tabelle 3: Auslösevarianten für UMZ-Schutzeinrichtungen (für  $I_{>} < I_{>>}$ )**

$I_{L1} > I_{>}$	$I_{L2} > I_{>}$	$I_{L3} > I_{>}$	$I_{L1} > I_{>>}$	$I_{L2} > I_{>>}$	$I_{L3} > I_{>>}$	einpolig möglich	immer dreipolig
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	
0	0	1	0	0	1	1	
0	1	0	0	0	0	1	
0	1	0	0	1	0	1	
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	1	0	1
1	0	0	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	0	1	
1	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	0	0	1
1	0	1	1	0	1	0	1
1	1	0	0	0	0	0	1
1	1	0	0	1	0	0	1
1	1	0	1	0	0	0	1
1	1	0	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	1

Zur Nachbildung von Überstromschutzeinrichtungen mit **stetiger Kennlinie** müssen Stützstellen der Kennlinie abgelegt werden, sofern sie nicht durch eine Funktion beschrieben werden kann, wie dies beim IDMT-Schutz der Fall ist. Die Stützstellen müssen so gewählt werden, dass sie genau dann enger beieinander liegen, wenn die Änderung der Steigung an der betrachteten Stelle (zweite Ableitung der Funktion) sehr groß ist. Werte zwischen den Stützstellen werden durch Interpolation ermittelt.

Bisher wurden die Einstellmöglichkeiten unterschiedlicher stetig differenzierbarer Stromzeitkennlinien noch nicht näher untersucht. Bekannt ist, dass die Kennlinienform durch Parameterveränderungen verschoben und gestreckt werden kann. Der Ansatz zur Nachbildung

besteht in der Ablage einer Referenzkennlinie mit Funktionalitäten zum Verschieben oder Strecken der Kennlinie in beide Richtungen. Diese Funktionalitäten sind noch weiter zu untersuchen und nachzubilden.

### 6.3.2 Stromdifferentialschutz

Auch der Stromdifferentialschutz wird durch eine Kennlinie nachgebildet (siehe Abschnitt 5.3). Eine Zeitverzögerung gibt es im allgemeinen nicht, d.h., dass der Differentialschutz in Schnellzeit (ca. 100 ms) ausschaltet. Die Kennlinie ist in Bereiche eingeteilt und innerhalb dieser Bereiche linear. Zur Darstellung der Kennlinie werden die in Abschnitt 5.3 aufgeführten Werte benötigt. In der Simulation, wie in der Realität, werden  $I_D$  und  $I_H$  aus den Strömen an den Messpunkten ermittelt, und somit kann entschieden werden, ob es zur Sperrung oder zur Auslösung des Stromdifferentialschutzes kommt. Die Auslösezeit wird der Schutzdatenbank entnommen.

### 6.3.3 Distanzschutz

Distanzschutzeinrichtungen beinhalten einen wesentlich komplexeren Aufbau als die bisher behandelten Schutzeinrichtungen. Sie lassen sich nicht mit den einfachen Beschreibungen nachbilden, wie sie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben wurden.

In der elektrischen Energieversorgung werden komplexe Probleme meist dadurch gelöst, dass Vereinfachungen gezielt genutzt werden. Die bisherigen Ansätze haben die Frage nach Möglichkeiten zur Vereinfachung wenigstens für das Verhalten von Schutzeinrichtungen bezüglich ihrer Anregung verneint.

In diesem Abschnitt werden aber auch vereinfachte Darstellungsmethoden neben der exakten Nachbildung der binären Eigenschaften vorgestellt, da diese bei der Auswahl einer richtigen Schutzeinrichtung genutzt werden und eventuell zum Aufbau einer Meta-Darstellung von Schutzeinrichtungen dienen könnten. Als **Meta-Darstellung** werden Darstellungen bezeichnet, die in allgemeiner Form die binären Eigenschaften verschiedener Arten von Schutzeinrichtungen beschreiben. Im Hinblick auf eine Synthese von Schutzeinstellungen sind solche Meta-Darstellungen von entscheidender Bedeutung. Eine vollständige Beschreibung erscheint in diesem Zusammenhang noch nicht notwendig, da dies sicherlich ein eigenes komplettes Forschungsprojekt darstellt.

Die Nachbildung der **Anregung** stellt das komplexeste Problem bei der Modellierung von Distanzschutzeinrichtungen dar. Die Vielfalt moderner digitaler Geräte lässt sich nicht durch allgemeine Funktionen beschreiben. Was allerdings möglich ist, ist die Modellierung der

allgemeinen Grundfunktionalitäten, um dem Schutztechniker eine Entscheidungshilfe zu geben, nach welchen Kriterien in seinem Netz eine Anregung erreicht wird. D.h. es wird eine vereinfachte Überstromanregung (nur Schwellwertentscheid), eine vereinfachte Unterimpedanzanregung (anhand der Kennlinie) eine vereinfachte Unterspannungsanregung (nur Schwellwertentscheid) und eine vereinfachte U-I-Anregung (anhand der Kennlinie) implementiert.

Bei der Umsetzung dieses Ansatzes musste man aber erkennen, dass solche einfachen Modellierungen nur unzureichend die Schutzeinrichtungen nachbilden und zur Prüfung des realen Verhalten von Distanzschutzeinrichtungen nicht geeignet waren. So können vereinfachte Modelle lediglich eine Hilfestellung sein, ob eine spezielle Anregeart vorteilhafter ist. Sie bieten aber nicht die Möglichkeit, den Schutz hinreichend genau nachzubilden.

**Tabelle 4: Messschleifenwahl bei mehrpoligen Fehlern im geerdeten Netz für Überstromanregung oder U-I-Anregung der Siemens Distanzschutzeinrichtung 7SA511**

A(I <sub>s</sub> )/A(U/I)			A(E)	(1703)	(1704)	Schleife	Bemerkung
L1	L2	L3		2polE	3pol		
1	1	0	0			L1-L2	Bei zweipoliger Anregung ohne Erde wird die jeweilige Schleife ausgemessen.
0	1	1	0	-	-	L2-L3	
1	0	1	0			L3-L1	
1	1	0	1	LL	-	L1-L2	Bei zweipoliger Anregung mit Erde wird die jeweilige Schleife ausgemessen.
0	1	1	1			L2-L3	
1	0	1	1			L3-L1	
1	1	0	1	VLE	-	L1-E	Bei zweipoliger Anregung mit Erde wird die voreilende Schleife mit Erde ausgemessen.
0	1	1	1			L2-E	
1	0	1	1			L3-E	
1	1	0	1	NLE	-	L2-E	Bei zweipoliger Anregung mit Erde wird die nacheilende Schleife mit Erde ausgemessen.
0	1	1	1			L3-E	
1	0	1	1			L1-E	
1	1	1	0	-	f(A(E))	L3-L1	erdfehlerabhängig
1	1	1	1			L3-E	
1	1	1	0	-	LL	L3-L1	nur Leiter-Leiter
1	1	1	1			L3-L1	
1	1	1	0	-	LE	L3-E	nur Leiter-Erde
1	1	1	1			L3-E	

Eine weitere Funktionalität ist die Messschleifenwahl. Die Wahl der richtigen Messschleife ist mit „Wenn-Dann“-Abfragen ermittelbar. In den Handbüchern ist meist eine tabellarische Darstellung gewählt, um zu beschreiben, bei welchen Konstellationen von Anregung und Parametrierung welche Messschleife für den Distanzentscheid herangezogen wird. Hierbei

würde sich bei der Modellierung auch eine tabellarische Form anbieten. Für eine Messschleifenwahl ergeben sich beispielsweise bei der Siemens Distanzschutzeinrichtung 7SA511 aus den Anregeergebnissen und Eingabedaten 1152 Kombinationen. Diese lassen sich beispielsweise für die Überstrom- oder auch für die U/I Anregung im geerdeten Netz auf 21 reduzieren. In Tabelle 4 ist die Schleifenwahl für die beiden Anregearten für mehrpolige Fehler dargestellt. Hinzu kommen die Leiterschleifen für einpolige Fehler, die sich unabhängig von der Erdfehleranregung aus dem betroffenen Leiter und Erde ergibt.

Der Distanzentscheid basiert auf Kennlinien. Gesucht wird somit eine Möglichkeit Kennlinien zu beschreiben. Diese ist im deutschsprachigen Raum ausnahmslos mit der Beschreibungssprache RIO (**R**elay **D**ata **I**nterchange **F**ormat by **O**MICRON) möglich, die von dem Prüfgerätehersteller OMICRON entwickelt wurde, um die relevanten Daten für die Prüfung einzulesen. Das Format wurde von OMICRON offen gelegt und ist zugänglich. Die Parametriersoftware der Relaishersteller gibt für die Schutzeinrichtungen die Daten in eine ASCII-Datei im RIO-Format aus.

Neben den Distanzparametern beschreibt RIO auch einige Anregeparameter, die für eine Simulation jedoch nicht ausreichend sind. Die Zahl der in diesem Format abgelegten Daten wurde nach 1996 /RIO 1996/ erweitert und hat nun einen schon umfangreichen Stand /RIO 1999/. Mit diesem Format kann auch die Kennlinie einer Unterimpedanzanregung abgelegt werden. Somit können die geschlossenen Kennlinien für Unterimpedanzanregung und Distanzentscheid mit diesem Format beschrieben werden. Um die Werte verarbeiten zu können, wurden schon Parser (Analyse eines Dokuments und Ermittlung von Befehlen) für beide RIO-Formate /RIO 1996/, /RIO 1999/ erstellt.

Bei den Überlegungen zur Nachbildung von Schutzeinrichtungen muss auch eine Rolle spielen, dass diese Nachbildungen von unterschiedlichen Programmen genutzt werden können, wie dies bei der Beschreibungssprache RIO der Fall ist. Auch die Hersteller von Schutzeinrichtungen sollten ein Interesse daran haben, den Schutztechnikern die Möglichkeit zu geben, eine optimale Einstellung ihrer Schutzeinrichtungen durch simulative Ermittlung der Einstellparameter zu geben.

Die Daten werden anschließend nicht in die Schutzdatenbank geschrieben, sondern lediglich der Pfad, in dem die RIO-Datei zu finden ist. Hierdurch sind die Daten immer aktuell und entsprechen denen, die auch wirklich dem Relais zugeführt wurden, sofern der Schutztechniker ordnungsgemäß die RIO-Dateien bei jedem Update erzeugt.

## 7 Softwarekonzeption

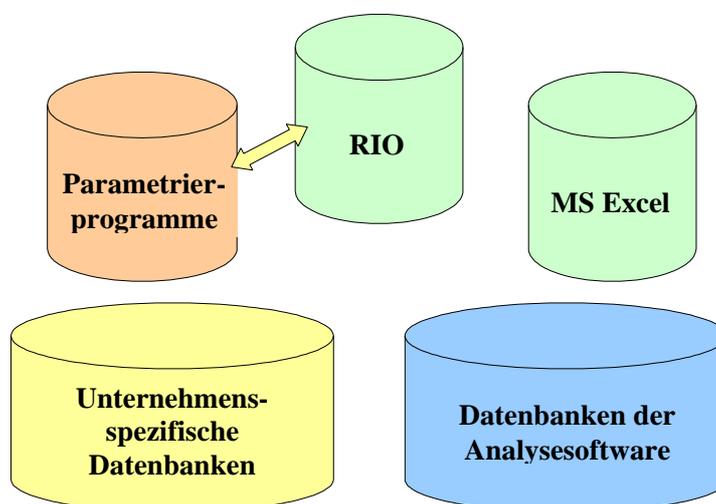
### 7.1 Allgemeines

Bei der Konzeption des Prototypen zur Analyse von Schutzeinstellungen wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Trennung von Daten und Applikation
- Trennung der Schutznachbildung
- Verwendung der Schutzdatenbank und der Nachbildungen für verschiedene Aufgabenzwecke

Nachfolgend werden die Gründe und die Vorteile dieser Vorgehensweise detailliert beschrieben.

In bekannten Softwareprodukten ist die Ablage der Schutzdaten und die Nachbildung der Schutzeinrichtungen Bestandteil der Analysesoftware oder zumindest so stark auf eine Analysesoftware zugeschnitten, dass sie für weitere Aufgaben nicht nutzbar ist. Im Falle der Datenhaltung bedeutet dies, dass viele kleine Datenbanken für die verschiedensten Aufgaben verwendet werden (siehe Bild 22).



**Bild 22:** Verschiedene Datenablagen in der Schutztechnik

Herstellerabhängige Parametrierprogramme halten die Einstelldaten in einem herstellerabhängigen Format. Mit diesen Programmen lassen sich auch ASCII-Dateien im RIO-Format erzeugen, mit denen die Parameter der wichtigsten Funktionen herstellerunabhängig abgelegt

werden können. Neben der herstellerabhängigen Datenablage werden zusätzlich RIO-Daten für die Prüfsoftware und auch MS Excel Dateien als Protokolle der Einstellungen abgelegt.

In zwei weiteren Datenbanken werden weitere Teile der Daten von Schutzeinrichtungen erfasst. So sind neben der Aufbereitung der Daten für die entsprechenden Analysetools einige Daten auch in unternehmensspezifischen Datenbanken abgelegt, um beispielsweise Einstellungen, Prüfungen, Baujahr, etc. zu erfassen. Hierbei sind die softwaretechnischen Lösungen in den verschiedenen Energieversorgungsunternehmen ebenso vielfältig wie die Angebote der Software- und Schutzgeräteanbieter. Grund für diese Entwicklung ist, dass die Datenverarbeitungsabteilungen der EVU maßgeschneiderte Software entwickelt haben. Aus der Individualität der Datenbanken ergeben sich entscheidende Nachteile für die Wiederverwendbarkeit der Daten zu Zwecken der Planung und Analyse in Netzplanungsprogrammen. Aufgrund des steigenden Kostendrucks sind diese Entwicklungen der Datenverarbeitungsabteilungen in den Energieversorgungsunternehmen aber seit einigen Jahren rückläufig.

Schnittstellen zu anderen Programmen oder Datenbasen sind oftmals nicht verfügbar. So sind die Folgen der mehrfachen Datenhaltung zum einen hohe Personalkosten durch die mehrfache Dateneingabe und Datenpflege, die besonders kleine, mittelständische Netzbetreiber trifft. Zum anderen können, aufgrund der redundanten Datenhaltung, Differenzen innerhalb des Datenbestands nicht ausgeschlossen werden.

Weiterer Aufgabenschwerpunkt ist die Nachbildung von Schutzeinrichtungen. Sofern nicht eine vereinfachte Nachbildung durch Kennlinien gewählt werden kann, sind diese wiederum abhängig von der Analysesoftware und wiederum nicht vielseitig verwendbar. Zudem hat der Anwender meist keinen Einfluss auf die Modellbildung, die in der Regel vom Softwareanbieter durchgeführt wird. Die Nachbildung anhand der Softwarehandbücher ist teuer und Fehler bei der Nachbildung können nicht ausgeschlossen werden. Ideal wäre es, die Modelle direkt von den Anbietern der Schutzeinrichtungen zu erhalten. Gespräche haben gezeigt, dass von Seiten der Hersteller keine Veranlassung besteht, solche Modelle zu liefern. Es wurde allerdings nicht ausgeschlossen, die statischen Funktionen in Zukunft bereitzustellen.

Die auf dem Markt befindlichen Analyseprogramme lassen lediglich die Nachbildungen von Schutzeinrichtungen zu, die, maßgeschneidert für die entsprechende Software, zu erstellen sind. Hierdurch ist die Auswahl an Nachbildungen begrenzt. Kleinere Softwareanbieter mit einem begrenzten Kundenstamm haben somit nicht die Möglichkeit Lösungen anzubieten, da die Modellbildung zu kostenintensiv ist.

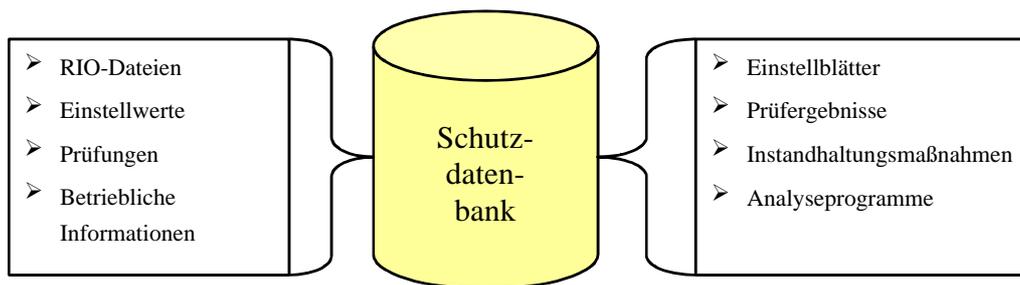
Die entwickelte Nachbildung durch Blockschaltbilder ermöglicht auch die einfache Wiederverwendbarkeit durch Dritte. Schnittstellen lassen sich anpassen und machen die Nachbildung zu einer universellen Methode. Die Software, die zum Erstellen der Nachbildung genutzt wird, ist weit verbreitet und das Einbinden in andere Programme ist leicht möglich.

## 7.2 Datenhaltung

### 7.2.1 Anforderungen

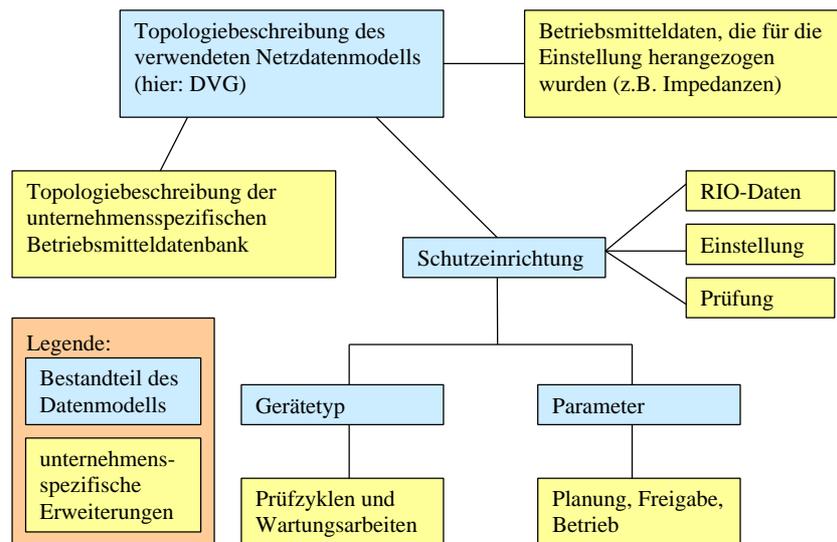
Effiziente Datenhaltung bedeutet, dass die Datenablage möglichst redundanzfrei ist. Hieraus ergeben sich die Forderungen:

- Die Schutzdatenbank muss eine Verbindung zu Betriebsmitteldatenbanken haben.
- Die Schutzdatenbank sollte betriebliche Abläufe umfassend beschreiben und vielseitig einsetzbar sein.
- Die Schutzdatenbank muss Daten austauschen können.



**Bild 23: Umfang und Verwendung einer zentralen Erfassung von Schutzdaten**

Der Umfang und die Verwendung einer solchen Datenhaltung ist in Bild 23 dargestellt. Neben den Einstellwerten der Schutzeinrichtungen sind auch Daten bezüglich der Einstellung und Prüfung, sowie betriebliche Informationen in der Schutzdatenbank abzulegen. Hinzu kommen Schreib- und Leseberechtigungen für einzelne Aufgaben und die Fähigkeit einer Client/Server-Anwendung. Einige Forderungen sind sehr unternehmensspezifisch und müssen im Bedarfsfall an das jeweilige Unternehmen, bei dem eine solche Datenhaltung eingeführt wird, angepasst werden. Wichtig ist aber die Definition einer allgemeinen Grundstruktur für die Datenablage (wie im Abschnitt 4.3.1 beschrieben). Die Verwendung von Assoziationen scheint in diesem Zusammenhang unumgänglich /Baumann, et. al. –2000/.



**Bild 24: Datenerweiterung des Schutzdatenmodells**

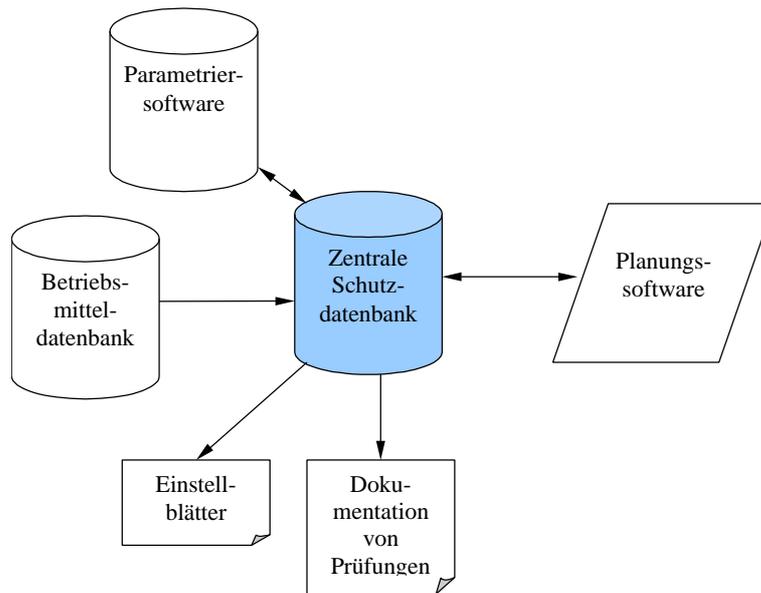
In Bild 24 ist die Erweiterung des in Abschnitt 4.3 vorgestellten Schutzdatenmodells verdeutlicht. Die blauen Kästen entsprechen hierbei den Bestandteilen des vorgestellten Grundgerüsts und die gelben den unternehmensspezifischen Erweiterungen nach den derzeitigen Vorstellungen. Eine im Zusammenhang mit dem AiF-Forschungsvorhaben gegründete Arbeitsgruppe aus führenden deutschen Verbundnetzbetreibern des Arbeitskreises SANDIA unter Leitung der FGH e.V. beschäftigt sich derzeit mit einer detaillierten Ausarbeitung der Anforderungen für die zentrale Datenhaltung.

Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens wurde vorab ein Anforderungskatalog für den Umfang einer zentralen Datenablage erarbeitet

Der Aufbau der Schutzdatenbank sollte in zwei Schichten die folgende Daten beinhalten:

- Anwenderunabhängige Daten
- Anwenderspezifische Daten

Ziel dieser Trennung ist es, sowohl Verbindungen zu bestehenden unternehmensspezifischen Datenablagen zu realisieren als auch die Nutzung von Planungstools zu ermöglichen. Darüber hinaus können spezielle Anwenderwünsche berücksichtigt werden. Allgemeine Teile stehen dann als Quasi-Standard zur Verfügung, wodurch eine vielseitige Nutzung durch standardisierte Schnittstellen (ODBC, COM) möglich ist.



**Bild 25: Verwendung der Schutzdatenbank**

Um eine Nutzung für Planungsaufgaben zu ermöglichen, benötigt die Schutzdatenbank Verbindungen zur Betriebsmitteldatenbank der Unternehmen sowie zur Parametriersoftware, wie in Bild 25 dargestellt. Während die Verbindung zur unternehmensspezifischen Betriebsmitteldatenbank anwenderspezifisch erstellt werden kann, wird für die Übergabe zwischen Schutzdatenbank und Parametriersoftware ein Tauschformat empfohlen, das in einem weiteren Schritt durch eine Arbeitsgruppe “Schutzdatenaustausch” der FGH e.V. definiert werden soll. Die Anbindung an eine Planungssoftware geschieht über das DVG-Datenmodell, ist aber bei Bedarf durch andere Datenmodelle zu ersetzen. Tabelle 5 faßt die wichtigsten Zielsetzungen zusammen.

**Tabelle 5: Zusammenfassung „Zielsetzung“**

Anwendung einer Schutzdatenbank	Parametrierung Einstellung Analysesoftware Wartung, Prüfung
Trennung der Daten	Anwenderspezifische Daten Anwenderunabhängige Daten
Datenmodell für Netzberechnungen	DVG

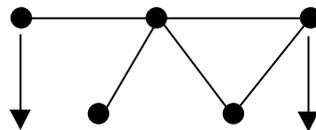
## 7.2.2 Datenumfang

### 7.2.2.1 Topologische Daten

Bei der Betrachtung topologischer Daten ist zwischen den Darstellungen in Datenbanken für Netzberechnungen und in Betriebsmitteldatenbanken zu unterscheiden. Beide obliegen unterschiedlichen Betrachtungsweisen, da die Daten für verschiedene Zwecke benötigt werden.

#### Netzplanungssoftware

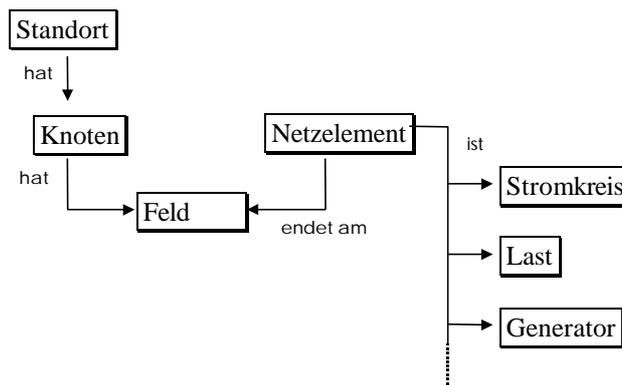
Datenmodelle für Netzplanungssoftware sind historisch gewachsen. Erste Aufgaben der Netzplanung mit Großrechnern waren Berechnung von Lastflüssen und Kurzschlüssen. Die Rechnungen beruhen auf Matrizenrechnungen /TB 1-261/. Die einfachste Möglichkeit um elektrische Zusammenhänge darzustellen, ist die Darstellung eines elektrischen Netzes (Mehrleitersystem) in einem einphasigen Ersatzschaltbild bestehend aus Knoten und Zweigen (siehe Bild 26). Vernachlässigt werden in dieser Darstellung alle Betriebsmittel, die nicht direkt etwas mit dem elektrischen Verhalten zu tun haben, wie beispielsweise Wandler, sowie der Aufbau von Schaltfeldern und Schaltanlagen.



**Bild 26:** Einphasige Darstellung eines Netzes für Netzberechnungen

Für den Anwender ist eine solche Darstellung nicht brauchbar. Dies mag ein Grund dafür sein, dass Datenmodelle entwickelt wurden, um Knoten und Netzelemente, wie Leitungen, Transformatoren oder Generatoren, detailliert zu beschreiben.

Das Datenmodell für Netzberechnungen der Deutschen Verbundgesellschaft e.V. (DVG) ist ein veröffentlichtes Datenmodell, zur Ablage und zum Austausch der Daten verschiedener Betriebsmittel und gliedert den Begriff des Knotens in die topologischen Informationen „Standort“ und „Knoten“, wobei auch die Art eines Knotens (Sammelschiene, Abzweignoten, Koppelknoten und Sonderknoten) erfasst wird. Netzelemente sind, wie in Bild 27 dargestellt, Stromkreise, Lasten usw. Über ein Objekt „Feld“ können Knoten und Netzelemente miteinander verbunden werden und Netzelemente an ihren Enden ausgeschaltet oder geerdet werden.



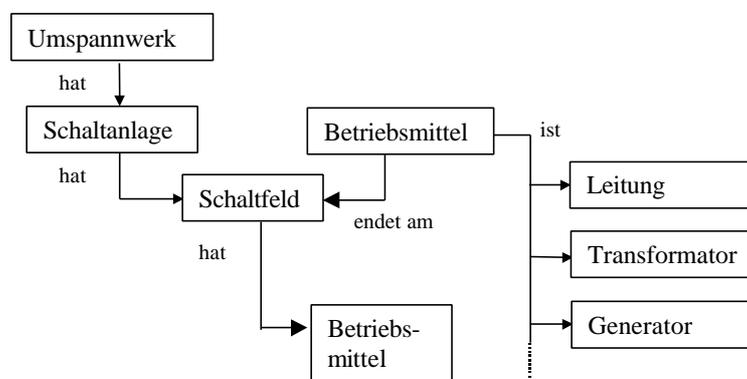
**Bild 27: Topologische Informationen des DVG-Datenmodells**

Das Datenmodell ist in den Veröffentlichungen /DVG 1999/ und /Heckmann, et. al./ detailliert beschrieben. Ergänzungen, unter anderem für die Ablage von Schutzdaten, sind in /FGH 1999/ beschrieben.

Das DVG-Datenmodell hat gegenüber anderen Datenmodellen den Vorteil, dass es mehrere Knoten in einem Standort zusammenfasst und so betriebliche Strukturen wiedergegeben werden.

### Betriebsmitteldatenbank

Der Zweck einer Betriebsmitteldatenbank ist es, technische Daten über die verwendeten Betriebsmittel zu erfassen, wie etwa Hersteller, Bauform, Einbau- und Prüfdaten. Die topologischen Informationen lassen sich durch die Hierarchie „Umspannwerk“, „Schaltanlage“ und „Schaltfeld“ spezifizieren. Wie in Bild 28 dargestellt, lässt sich diese Darstellung in einer ähnlichen Struktur beschreiben, wie die des DVG-Datenmodells. Es werden auch die Betriebsmittel eines Schaltfeldes erfasst. Hierzu gehören Schalter, Wandler und auch Schutzeinrichtungen.



**Bild 28: Topologische Darstellung betrieblicher Datenerfassung**

Die Darstellung in Bild 28 verdeutlicht, dass eine Verbindung zwischen dem Objekt Feld des DVG-Datenmodells und dem Schaltfeld einer Betriebsmitteldatenbank herzustellen ist.

### **Schutzdatenbank**

In der Schutzdatenbank sollten die Daten für die Netzplanung als auch die Topologieinformationen der Betriebsmitteldatenbanken enthalten sein, um eine Verbindung zwischen beiden System herstellen zu können. Die Topologieinformationen des DVG-Datenmodells werden nahezu komplett übernommen (siehe Kapitel 4). Anders ist eine Verbindung mit Netzplanungstools nicht möglich. Die Verwendung der DVG-Daten in einer Schutzdatenbank ist bereits in /Baumann, et. al. 2000/ beschrieben.

Zur Erfassung der Daten aus der Betriebsmitteldatenbank stehen zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Diskussion. Die erste Variante nutzt die Struktur des DVG-Datenmodells, was zur Folge hat, dass sowohl in der Netzplanung als auch in der Betriebsmitteldatenbank gleiche Namen verwendet werden und man sich darauf einigt, dass ein Umspannwerk einem Standort entspricht, usw. Diese Art hätte allerdings zahlreiche Einschränkungen zur Folge, die nicht gerechtfertigt sind.

Variante zwei sieht vor, die topologischen Daten aus einer Betriebsmitteldatenbank getrennt in zusätzlichen Tabellen zu erfassen. Eine Verbindung wird dann über die Objekte „Feld“ (DVG) und „Schaltfeld“ (Betriebsmittel) datenbankintern erstellt (siehe Bild 27 und Bild 28). Diese Variante ist wesentlich sinnvoller, da hiermit ein direkter Bezug zur Betriebsmitteldatenbank realisiert werden kann.

Bei der Definition der abzulegenden Daten aus der Betriebsmitteldatenbank ist zu klären, welche Daten in der Schutzdatenbank erfasst werden sollen.

**Tabelle 6: Zusammenfassung „Topologische Daten“**

Topologische Informationen	DVG-Datenmodell Betriebsmitteldatenbank
Verbindung	Objekt „Feld“

### **7.2.2.2 Relevante Betriebsmitteldaten**

Betriebsmitteldaten der Transformatoren, Leitungen etc. (Impedanzen, Schaltgruppen, ...) werden sowohl in der Netzplanungssoftware als auch in den Betriebsmitteldatenbanken gehalten. Aus Sicht der Redundanzfreiheit der Datenhaltung wäre eine Erfassung an dieser Stelle nicht notwendig. Um allerdings zu protokollieren, auf welcher Basis die Einstellung der Schutzdaten erfolgt, kann eine Datenhaltung von Betriebsmitteln in der Schutzdatenbank durchaus sinnvoll sein. Desweiteren können die Daten bei zusätzlicher Haltung auch ohne Verbindung zu einer Netzdatenbank verwendet werden.

Es wird daher vorgeschlagen, die Betriebsmitteldaten, wie sie für die Planung im DVG-Datenmodell erfasst werden, in der Schutzdatenbank zu erfassen. Die Übernahme erfolgt aus der Datenbank der Netzplanung.

### **7.2.2.3 Betriebsmittel innerhalb des Schaltfeldes**

Für die Einstellung der Schutzeinrichtungen ist die Kenntnis über die eingesetzten Wandler notwendig. Hierfür wurde eine Ergänzung vorgenommen, die genau diese Daten erfasst. Die abgelegten Schutzeinrichtungen werden dann mit den Objekten „Spannungsmessung“, „Strommessung“ und „Schaltkontakt“ verbunden (siehe Bild 5). So lassen sich neben Distanzschutzeinrichtungen auch Differentialschutzeinrichtungen, Sicherungen und Überstromschutzeinrichtungen erfassen.

Die Zuordnung zu einem Feld erfolgt eigentlich über den Einbauort des Stromwandlers. Da es aber auch Schutzeinrichtungen gibt, die ohne einen Stromwandler auskommen (Unterspannungsschutz), wäre es unter Umständen sinnvoll, als Zuordnung den Einbauort des Leistungsschalters (Schaltkontaktes) zu wählen.

### **7.2.2.4 Schutzeinrichtungen**

Die Ablage der Schutzeinrichtungen sollte folgende Eigenschaften besitzen:

- Alle Arten und Typen können abgelegt werden.
- Die Einstelldaten sollen unter Berücksichtigung der herstellerabhängigen Nomenklatur erfasst werden.
- Aus der Ablage sollen die für die Einstellung einer bestimmten Schutzeinrichtung notwendigen Daten hervorgehen.
- Eine Ablage mehrerer Parametersätze ist möglich.

In der Schutzdatenbank werden darüber hinaus Angaben zur Nachbildung der Schutzeinrichtung für die Analyse gemacht. Informationen über die Möglichkeiten sind in /Baumann, et. al. 2000/ veröffentlicht. Fundiertes Wissen liegt bei der FGH vor.

#### **7.2.2.5 RIO**

RIO-Daten werden zunächst als Datei in der Schutzdatenbank abgelegt. Nach Klärung einer Schnittstelle zum Auslesen der Parametriersoftware kann sich dies aber aufgrund der neuen Sachlage ändern.

#### **7.2.2.6 Daten zur Einstellung, Prüfung und Wartung**

Zu jeder Schutzeinrichtung werden Angaben über die Einstellung, Prüfung und Wartung abgelegt. Hierzu gehören Datum und Bearbeiter (Benutzerkennung). Ebenfalls wird erfasst, ob der Datensatz einer Schutzeinrichtung einen Planungs- oder Betriebszustand besitzt. Darüber hinaus können die Daten zur Übernahme in den Betriebszustand freigegeben werden.

Für jeden Typ einer Schutzeinrichtungen werden Daten über die Prüfzyklen erfasst.

#### **7.2.2.7 Quittierung**

Freigabe, Einstellung und Prüfung erhalten Quittierungen, mit denen die jeweiligen Arbeiten vom Bearbeiter bestätigt werden. Quittierungsdaten sind ein logischer Wert (Ja/Nein), sowie Datum und Benutzerkennung.

#### **7.2.2.8 Sonstiges**

Zu jedem Objekt (Umspannwerk, Schaltanlage, Schaltfeld, Betriebsmittel) können weitere Dateien oder Objekte abgelegt werden. Hierzu sollten auch Textdokumente beliebigen Formats (\*.doc; \*.ps; \*.pdf) und Fotografien oder Pläne gehören.

### 7.2.3 Schnittstellen

#### **7.2.3.1 Allgemeines**

In Bild 25 ist die Verwendung der Schutzdatenbank dargestellt. Hieraus ergeben sich die notwendigen Schnittstellen zu anderen Programmen und Ausgaben. Die Verbindung soll teil-

weise bidirektional erfolgen, wobei der Datenaustausch jeweils nur begrenzt erfolgen kann, wenn ein Tool nicht alle Daten benötigt und somit auch nicht alle Daten behandelt. Für die Datenaufnahme in die Schutzdatenbank werden dann nur die jeweiligen erfassten Daten ausgetauscht. Alle andere Daten bleiben unverändert bzw. müssen ergänzt werden. In umgekehrter Richtung gilt gleiches. Nachfolgend werden die notwendigen Schnittstellen präzisiert und ein Überblick über die ausgetauschten Daten geben.

### 7.2.3.2 Parametriersoftware

Der Austausch der Daten erfolgt über ein Tauschformat mit Hilfe der Meta-Sprache XML. Hierbei werden alle Einstelldaten, die mit der Parametriersoftware erfasst werden, in der herstellerabhängigen Nomenklatur übergeben. In die andere Richtung werden die in der Schutzdatenbank erfassten Relaiseinstelldaten im gleichem Format von der Parametriersoftware über XML eingelesen.

Für den Datenaustausch bietet XML lediglich die Grammatik, während die Sprachelemente definiert werden müssen. Hieraus wird dann eine „RelayML“ (Relay Markup Language) entstehen. Das Format ist durch die Arbeitsgruppe „Schutzdatenaustausch“ festzulegen, wie auf der Diskussionsveranstaltung „Datenaustausch und Modellierung von Schutzeinrichtungen“ am 10. Oktober 2000 bei der FGH e.V. zwischen Schutztechnikern, Schutzgeräteherstellern und Softwareentwicklern besprochen.

Sollten in der Schutzdatenbank (je nach Kundenwunsch) nicht alle Einstelldaten gehalten werden, so werden nur die Daten übergeben, die dort vorrätig sind. Umgekehrt, werden auch nur die Daten abgelegt, die der Anwender in der Schutzdatenbank halten möchte.

**Tabelle 7: Zusammenfassung „Datenaustausch Parametriersoftware“**

Richtung	bidirektional
Schnittstelle	XML Definition der Sprachelemente durch AG „Schutzdatenaustausch“
Datenumfang	vollständig

### **7.2.3.3 Schutzdatenbank**

Die Schutzdatenbank besitzt zwei Schnittstellen. Zum einen eine ODBC-Schnittstelle oder COM-Schnittstelle, einem standardisierten Format, das von der Anwendersoftware genutzt werden kann. Zum anderen werden die Daten auch in dem XML-Format ausgegeben wie in Abschnitt 7.2.3.2 beschrieben.

### **7.2.3.4 Betriebsmitteldatenbank**

Aus der Betriebsmitteldatenbank heraus werden topologische Informationen sowie Wandlerdaten ausgelesen. Auch hier wird eine Schnittstelle mit XML empfohlen. Der Sprachumfang wird wie in Abschnitt 7.2.3.2 beschrieben noch definiert, sollte aber den Austausch aller Daten abdecken.

### **7.2.3.5 Netzberechnung**

Die Verbindung zu Netzberechnungsprogrammen erfolgt über das DVG-Datenmodell mit Hilfe einer ODBC-Schnittstelle oder COM. Dadurch ist es auch möglich, aus dem Analysetool heraus Daten in der Schutzdatenbank zu verändern. Die Schnittstelle ist daher bidirektional zu realisieren. Aus dem Netzberechnungsprogramm werden auch die Daten der Netzelemente übernommen und in die Schutzdatenbank geschrieben.

### **7.2.3.6 Ausgaben**

Ausgaben der Schutzparameter erfolgen bei den Schutztechnikern meist tabellarisch. Daher ist die Verwendung der Standard-Software MS Excel ein probates Mittel. Hierbei sollen vom Anwender definierte Formatvorlagen (\*.xlt) integriert werden. Die hierin enthaltenen Berechnungsvorschriften erlauben die Berechnung von Einstellgrößen oder das Erstellen von Staffelpänen.

## 7.2.4 Zugriffsrechte

Zugriffsrechte bedeuten in erster Linie die Definition von Schreib- und Leserechten. Dies gilt für die folgenden Größen:

- Netzdaten
- Daten aus der Betriebsmitteldatenbank
- Schutzeinstellungen
- Prüfungs- und Einstelldaten (Datum, Bearbeiter)

➤ Quittierungssignale

Leseberechtigung werden für alle Daten an alle mit der Schutzdatenbank arbeitenden Techniker vergeben.

Netzweite Schreibberechtigungen erhalten bestimmte Personen für die Änderung und Übernahme von Daten aus der Netzdatenbank und der Betriebsmitteldatenbank.

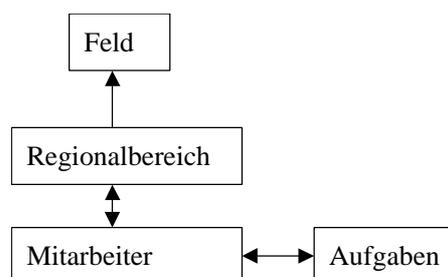
Bei allen Daten, die die Schutzeinrichtungen betreffen, müssen die Schreibberechtigungen abhängig vom Einbauort vergeben werden. Dies gilt selbstverständlich abhängig von der jeweiligen Aufgabenstellung (ändern der Schutzeinstellungen, eingeben von Prüfungs- und Einstelldaten und Quittierungen).

Dies lässt sich am besten an einem Beispiel verdeutlichen:

Ein Energieversorgungsunternehmen ist in verschiedene regionale Bereiche unterteilt, in denen jeweils eine Abteilung für die Einstellung von Schutzeinrichtungen verantwortlich ist. Jedem Einbauort lässt sich so ein Regionalbereich zuordnen (Ergänzung in der Schutzdatenbank). Zu jedem Regionalbereich werden die Mitarbeiter erfasst. Im Regionalbereich RB1 arbeitet Mitarbeiter M1, im Regionalbereich RB2 arbeitet Mitarbeiter M2 usw.

Befindet sich eine Schutzeinrichtung (SE) in einem Umspannwerk des RB1, so kann diese Einstellung auch nur von M1 bearbeitet werden, wenn M1 die Schreibberechtigung besitzt. Für eine zweite Aufgabe im RB1 muss M1 aber nicht zwingend eine Schreibberechtigung besitzen. So kann jeder Mitarbeiter nur bestimmte Aufgaben in seinem Zuständigkeitsbereich vornehmen.

Es gibt mehrere Möglichkeiten für die Ablage der Berechtigungen. Eine davon ist die Ablage in der Schutzdatenbank. Hierfür werden zu jedem Feld eine Angabe über den Regionalbereich erfasst, dem das Feld zugeordnet wird. Jeder Mitarbeiter wird einem oder mehreren Regionalbereichen zugeordnet und erhält eine Schreibberechtigung für verschiedene Aufgaben (siehe Bild 29).



**Bild 29:** Ablage der Informationen für Zugriffsrechte (Legende siehe Bild 27)

Wie eine Verwaltung von Zugriffsrechten erfolgen kann, muss bei der Erstellung der Schutzdatenbank entschieden werden.

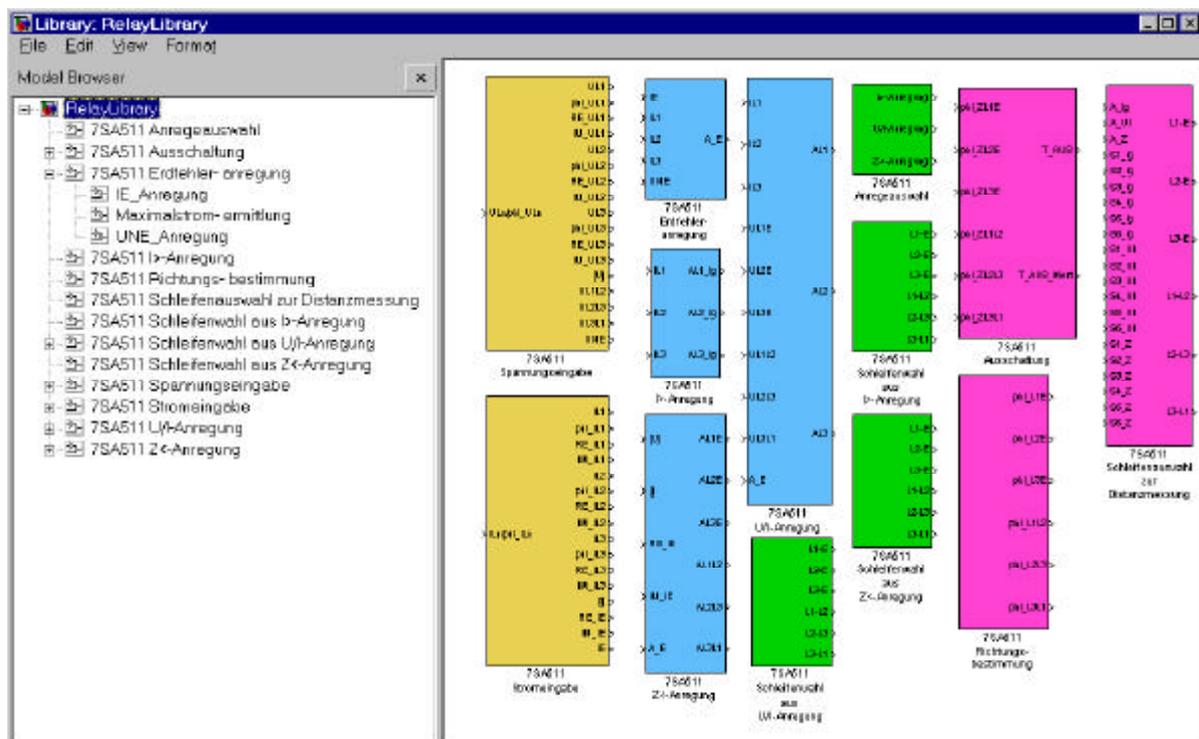
### 7.3 Nachbildung von Schutzeinrichtungen

Die Nachbildung der Schutzeinrichtungen unterliegt weiteren speziellen Anforderungen:

- Vielseitige Verwendbarkeit
- Optische/graphische Darstellung
- Veränderung oder Erstellung durch Dritte

Hieraus ergibt sich direkt die Verwendung von Standardsoftware für die Erstellung der Modelle und die Verwendung offener Schnittstellen zum Einbinden der Modelle.

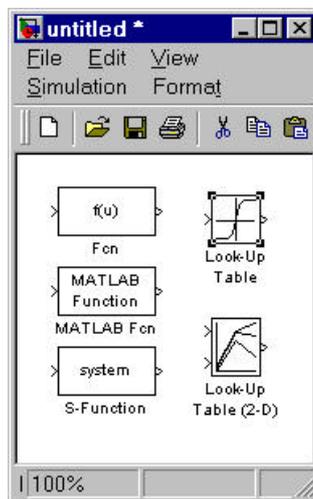
Die Verwendung von Matlab und der graphischen Oberfläche Simulink ist, wie in Abschnitt 6.2.1 dargestellt, ist ein probates Mittel. Hierbei hat der Anwender selbst die Möglichkeit Modelle zu erstellen oder durch Kombination bestehender Teilfunktionalitäten neue Modelle zu definieren.



**Bild 30: Funktionsbibliothek unter Simulink**

Zu diesem Zwecke wurden die bereits definierten Funktionalitäten in einer Funktionsbibliothek zusammengestellt, aus der sich ein Anwender bedienen kann um neue Modelle zu generieren. In dieser Bibliothek sind die Funktionen durch einen Schreibschutz automatisch vor ungewollten Veränderungen geschützt. Per Drag&Drop können die Elemente in ein neues Fenster eingefügt und dann verbunden werden. Sind die Gemeinsamkeiten zwischen einer zu erstellenden Nachbildung zu einem bereits modellierten Gerät noch größer bzw. nahezu identisch, wie beispielsweise bei einer neuen Version einer Schutzeinrichtungen, können Kopien bereits erstellter Nachbildungen derart verändert werden, dass sie die Funktionsweise der hinzuzufügenden Schutzeinrichtung erfüllen. Modelle können so ausgetauscht werden und Teilfunktionalitäten können getrennt voneinander entwickelt werden.

Nach dem bisherigen Kenntnisstand lassen sich alle numerischen Schutzeinrichtungen, die auf der Auswertung statischer Größen basieren, mit Blockschaltbildern beschreiben. Bei der Nachbildung von Kennlinien (Distanzkennlinien) ist eine solche Beschreibungsart aber derart komplex und daher nur bedingt vertretbar. Die graphische Darstellung kann die eigentliche Funktionalität des Moduls nicht widerspiegeln. Auch die Abbildung der Funktionen konventioneller Schutzeinrichtungen kann in den seltensten Fällen durch logische Bausteine erfolgen. Matlab bietet aber die Möglichkeit, Funktionen zu programmieren und diese in Simulink aufzurufen (siehe Bild 31). Die Verwaltung dieser Grundfunktionen kann wiederum in einer Bibliothek erfolgen.



**Bild 31: Verschiedene Funktionstypen in Simulink**

Schutzeinrichtungen neuerer Bauart bieten die Möglichkeit Schutzfunktionen mit Funktionsplanlogik zu weiteren Ausgangssignalen zu verarbeiten. Diese Verknüpfungen sind mit Hilfe der Simulink-Oberfläche einfach nachzuvollziehen.

Die Verwendung von Dynamic Link Library (DLL) ist ein weiteres probates Mittel, bietet aber die nicht die Oberfläche um Funktionen zu kombinieren und ist daher weniger geeignet, um die Modelle durch den Anwender zu beeinflussen.

## **8 Datenaustausch**

### **8.1 Ziele**

Derzeit gibt es zwar zahlreiche Datenablagen für Schutzdaten bei deutschen Energieversorgungsunternehmen, ein effektiver Austausch der Daten wurde bisher noch nicht realisiert. Grund hierfür sind zum einen die herstellerabhängigen Datenformate der Schutzgerätehersteller und zum anderen nicht vorhandene effektive Datenablagen.

Die Frage nach einem solchen Datenaustausch war zwar nicht Bestandteil der Antragstellung, musste aber bei der Erstellung eines schlüssigen Gesamtkonzepts detailliert betrachtet werden. Durch die gewonnenen Ergebnisse ergibt sich nach der Umsetzung eine Optimierung der Arbeitsabläufe.

Das Ziel ist vorrangig eine Schnittstelle zwischen den Parametriersoftware und einer zentralen Schutzdatenablage. Hierzu wurden die Anforderungen spezifiziert und eine Arbeitsgruppe bestehend aus Vertretern der EVU und Hersteller initiiert. Im Rahmen diese Forschungsvorhabens wurden für diese Arbeitsgruppe Vorlagen erarbeitet, die direkt in die Arbeit der Arbeitsgruppe einfließen werden.

### **8.2 Verfahren des Datenaustauschs**

#### 8.2.1 Allgemeines

Vielfach werden zum Austausch von Daten ASCII-Dateien verwendet. Dabei werden Datenstrukturen auf einen Text abgebildet, der dann übertragen oder gespeichert werden kann. Vier Varianten solcher textbasierten Tauschformate sind exemplarisch in Bild 32 zusammengestellt.

Proprietäre Datenformate besitzen entscheidende Nachteile:

1. Sie besitzen keine einheitliche Struktur und sind nicht immer zeilenorientiert.
2. Sie sind nicht plattformunabhängig, da die Binärrepräsentation bestimmter Datentypen nicht portabel ist.
3. Sie sind schwer lesbar, wenn sie nicht textbasiert sind und keine Meta-Informationen der Daten enthalten.
4. Sie sind unflexibel.
5. Sie sind nicht erweiterbar.

```

➤ 000000072394|00001|Modell|Handy S 200||
000000072394|00002|Spannung V/Hz|230/50||
000000072394|00003|Einstellbereich Elektrode A|10-140||
000000072394|00004|Einstellbereich WIG A|10-150||

➤ 0100021324554652 20X0.3MLVOLTAREN OPHTHA SINE EDP ATR0000261106...
0100003504556438 30X0.4MLPOLYRINSE LINSEN KLAERER 000008690000...

➤ AENDERN ARTNR 4901 000 155 0
MATCHCODE      Knebelschalter u.P.
BEGINN_TEXT    KURZTEXT
Knebelschalter u.P.
ENDE_TEXT      KURZTEXT
PREISTYP 0
PREISPER 1
BRUTTOPREIS   14,20
Warengruppe   Elektrozubehoer
Produktgruppe Schalter und Taster

➤ <td><b>Microsoft Corp.</b></td><td>MSFT</td><td><b>92,23</b></td>

```

**Bild 32: Darstellungen von Daten in proprietären Formaten**  
**[Quelle: Microsoft TechTalk XML]**

Um dem entgegenzuwirken, benötigt man eine Meta-Sprache mit einer definierten Grammatik und einer Beschreibung der Inhalte des Dokuments. Einen ersten Ansatz hat beispielsweise das RIO-Format für die Ausgaben von Relaisdaten geliefert. Hier fehlt lediglich eine standardisierte Grammatik.

### 8.2.2 XML – Extensible Markup Language

Eine Meta-Sprache, die sich in den vergangenen Jahren immer mehr als plattformunabhängiges Format für den Datenaustausch durchgesetzt hat, ist XML (Extensible Markup Language). XML wurde 1998 vom World Wide Web Consortium (W3C) als Standard verabschiedet und basiert auf dem seit über zehn Jahren existierenden Standard SGML (Standard Generalized Markup Language), ein internationaler Standard (ISO 8879) für die Definition, Identifikation und Benutzung der Struktur und des Inhalt von Dokumenten. Einen Überblick über die Meta-Sprache XML und den Möglichkeiten mit XML liefert /Bernhard/ und /Weitzel, et. al./.

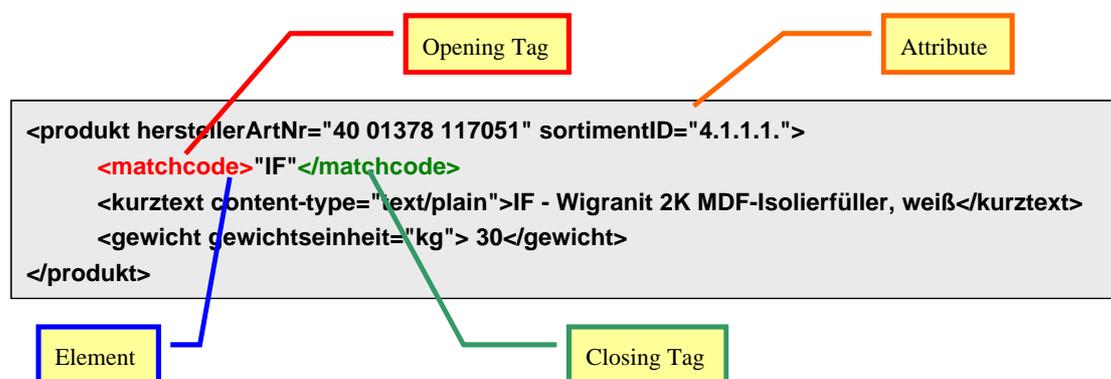
Der Aufbau einer XML-Dateien erfolgt nach den sog. Wohlgeformtheitsregeln. Die Struktur ist vergleichbar mit der von HTML, die aus der Erstellung von Internetseiten bekannt ist. Im Gegensatz zu HTML handelt es sich hierbei aber nicht um ein festes Format, sondern XML ermöglicht es dem Anwender, eigene Tags (oder Sprachelementen) zu bestimmen.

„Mit XML können Struktur und Inhalt von Dokumenten so präzise beschrieben werden, daß es letztlich nicht mehr notwendig ist, die zum Verständnis und der Weiterverarbeitung von Daten notwendigen Informationen, den Standard, fest in die Anwendungen zu integrieren. Vielmehr besteht die Vision darin, den auszutauschenden Daten die zu ihrer Nutzung notwendigen Informationen mitzugeben. Neben der Unterstützung des Dokumentenaustausches ermöglicht XML allgemein die flexible Wiederverwendung von Daten und ist die Grundlage für eine Verwendung von Metadaten, was u. a. zu einer erhöhten Interoperabilität unterschiedlicher Anwendungen und mächtigen Retrievalmöglichkeiten führt.“ /Weitzel, et. al./

Informationen werden in Elementen und Attributen übergeben (siehe Bild 33). Jedes Element beginnt mit einem „Opening Tag“ (<...>) und endet mit einem „Closing Tag“ (</...>) zwischen denen sich die Werte befinden. Elemente können ineinander geschachtelt werden („Child Element“), sie müssen aber zwingend in der umgekehrten Reihenfolge ihrer „Opening Tags“ mit den „Closing Tags“ wieder geschlossen werden. In den Attributen können beispielsweise Identifier abgelegt werden.

Bei der zeilenorientierten Ablage von Daten in ASCII-Files müssen zu jedem Format eigene Parser geschrieben werden, um die Daten zu interpretieren. Bei der Verwendung von XML gibt es vorgefertigte Import/Export-Schnittstellen. Hier ist der Austausch der Daten über eine Standardschnittstelle beispielsweise aus einer Datenbank ohne Anpassung möglich. Nachfolgend sind die meist verwendeten Begriffe und Tools um XML erläutert. Die Beschreibungen können lediglich den aktuellen Stand vermitteln, da sich XML weiterhin in Entwick-

lung befindet. Neue Protokolle z.B. zur Darstellung von Grafiken (SVG), Formeln (MathML), usw. befinden sich bereits in der Entwicklung bzw. eine erste Version ist verfügbar.



**Bild 33:** XML-Beispiel

- **XLS:** Die Darstellung eines XML-Dokuments (z.B. in einem Webbrowser) erfolgt mit Hilfe einer Formatvorlage, in der das Layout des Dokuments festgelegt wird. Für XML ist dies die Extensible Style Sheet Language (XSL). Hiermit können sowohl Autoren als auch Nutzer die Präsentation beeinflussen /Weitzel, et. al./. XSL bietet aber auch die Möglichkeit, XML-Dokumente in HTML/CSS (CSS Cascading Style Sheet: Formatvorlage für HTML) umzuwandeln.
- **DTD / XMLSchema:** Zu XML-Dokumenten kann eine Definition der Tags und Struktur gehören. Die formale Grammatik von XML wird durch die Document Type Definition (DTD) oder durch XMLSchema spezifiziert. DTD war die erste Möglichkeit einer solchen Definition. Neuerdings existiert aber auch XMLSchema für diese Aufgabe. Der Vorteil von XMLSchema liegt darin, dass das Dokument nach den Regeln von XML aufgebaut ist. Die zu verwendende Vorlage wird im XML-Dokument durch eine Zeile zu Beginn eines XML-Dokuments, z.B. <!DOCTYPE BESTELLUNG SYSTEM "Bestellung.dtd">, angegeben werden.
- **DOM:** Das Document Object Model (DOM) ist eine plattform- und sprachunabhängige Schnittstelle. Es erlaubt Programmen und Skriptsprachen, dynamisch auf den Inhalt, die Struktur und das Layout eines XML- oder HTML-Dokumentes zuzugreifen und diese zu verändern. Hiermit lässt sich der Inhalt einer XML-Datei als Baumstruktur darstellen, die als Grundlage für XML-Parser dient. So stehen die Informationen für eine Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Eine andere Anwendung von DOM ist die Verwendung zusammen mit XML/EDI, um XML-Dokumente während der Laufzeit im Browser zu modifizieren (z.B. e-commerce Anwendungen).

- **XLink / Xpointer:** XML unterstützt ein weitergehendes Linking als in HTML bekannt. Ein Teil dieses Linking ist XLink (XML Linking Language), das die Möglichkeit bietet, gleichzeitig auf mehrere Dokumente und Dateien zu verweisen. Hierbei öffnet sich die Datei beispielsweise in einem Browser-Fenster (im bereits geöffneten oder in einem weiteren Browser-Fenster).

Zweite Möglichkeit des Linking ist die Verwendung von XPointer. XPointer sind Zeiger in einem XML-Dokument, die es ermöglichen, auf bestimmte Elemente einer XML-Instanz zu verweisen und zuzugreifen. Somit kann XPointer, ähnlich wie SQL, Abfragen vornehmen.

XPointer und XLink ermöglichen es in einem Netzwerk, verteilte Dateien zu einem einzigen XML-Dokument zusammenzufügen.

- **RDF:** Das Resource Description Framework (RDF) bildet, eine Ebene über XML, eine allgemeine Grundlage, die Semantik von XML-Daten zum Ausdruck zu bringen. RDF ist ein Set von Spezifikationen, mit dem Anwendungen unterschiedliche Daten zusammenführen und verarbeiten zu können.

### 8.3 Datenumfang

Der Umfang der Daten, die ausgetauscht werden sollen, wurde in einer Untersuchung in Zusammenarbeit mit deutschen Energieversorgungsunternehmen ermittelt. Es wird unterteilt in

- Topologieinformationen
- Betriebsmitteldaten
- Wandler
- Schaltkontakte
- Schutzeinrichtungen und Einstellungen
- Prüf- und Einstelldaten

In der Schutzdatenbank, die für die Aufgaben eines Prototyps konzipiert wurde, sind diese Daten noch nicht vollständig enthalten, können aber nach Abschluss der endgültigen Klärung ergänzt werden. In den nachfolgenden Tabellen werden die notwendigen Daten aufbereitet.

Der Umfang der benötigten Betriebsmitteldaten sind der Beschreibung /DVG/ zu entnehmen. Eine Darstellung der verschiedenen Betriebsmittel würde den Rahmen hier sprengen.

**Tabelle 8: Daten zur Topologie**

<b>Netzdatenbank (nach DVG-Datenmodell)</b>	
Standort	Standort-ID
	Standortname
	UKST
Knoten	Knoten-ID
	UKKN
	Un
	Standort-ID
	Knotentyp
Feld	Feld-ID
	Element-ID
	Knoten-ID
Netzelement	Element-ID
	UKEL
	Elementname 1
	Elementname 2
	Typ
<b>Betriebsmitteldatenbank</b>	
Umspannwerk	Name
Schaltanlage	Nennspannung
Netzelement	Name
Feld	Nummer oder Kennung

Wandler besitzen unter Umständen mehrere Wicklungen. Obwohl in diesem Falle nur eine Wicklung für den Schutztechniker von Bedeutung ist, müssen die Angaben aller Wicklungen erfasst werden. Die für jede Wicklung getrennt zu erfassenden Größen eines Stromwandlers sind primäre und sekundäre Bemessungsströme, thermische Bemessungsdauerströme und -kurzschlussströme, dynamische Bemessungsströme, Bemessungsleistungen, Wandlerklassen und Überströme.

**Tabelle 9: Daten zu Wandlern**

Stromwandler	Hersteller
	Bezeichnung
	Bauart
	Einbauort
	primärer Bemessungsstrom
	sekundärer Bemessungsstrom
	therm. Dauerstrom
	therm. Kurzschlussstrom
	dyn. Bemessungsstrom
	Bemessungsscheinleistung
	Klassen
	Überstrom
	Stromwandlererdung (sammelschienenseitig, abgangsseitig)
Spannungswandler	Hersteller
	Bezeichnung
	Einbauort
	primäre Bemessungsspannung
	sekundäre Bemessungsspannung
	Bemessungsscheinleistung
	Klasse

Zur Beschreibung der Verbindungen zu Schaltkontakten allgemein ist das Erfassen der Einbauorte von Schaltern von Bedeutung. Der Erfassungsgrad bzw. die Anzahl der zu erfassenden Daten soll möglichst minimal gehalten werden, wobei einige oder alle Werte auch automatisch gesetzt werden können. Es müssen auch nicht alle in einem Schaltfeld eingebauten Schalter erfasst werden. Für die Anwendung reicht im Allgemeinen die Ablage von Leistungsschaltern aus.

Hier ist abzuwägen, ob Hersteller und Typ einer Schalteinrichtung für Schutztechniker von Interesse ist.

**Tabelle 10: Daten zu Schaltkontakten**

Trennschalter	Einbauort
	Baujahr
Leistungsschalter	Einbauort
	Baujahr
	Schaltereigenzeit
	max. Ausschaltstrom

Schutzeinrichtungen haben Verbindungen zu Wandlern und Schalteinrichtungen, über die auch die Zuordnung zu einem Schaltfeld erfolgt. Zu ihnen müssen allgemeine Informationen über Art (z.B. Distanzschutz, UMZ, ...) und den Typ (Hersteller, Typ, Version) übergeben werden. Zusätzlich werden verschiedene Parametersätze erfasst, wie es bei numerischen Schutzeinrichtungen möglich ist. Für jeden Parametersatz folgen schließlich die einzelnen Einstellwerte. Tabelle 11 gibt Aufschluss über die zu erfassenden Inhalte. Die einzelnen Parameter werden gemäß ihrer Nomenklatur bei den Herstellern erfasst. Der Wert sollte numerisch sein, erhält aber zusätzliche Angaben, in der die Bedeutung eines Wertes abgelegt sein kann.

**Tabelle 11: Daten zu Schutzeinrichtungen**

Allgemeines	Richtung
Art	Bezeichnung der Schutzfunktion (Distanzschutz, Differentialschutz UMZ, ...)
Typ	Herstellername
	Relaisbezeichnung
	Versionsnummer
	Seriennummer
Teilfunktion	Beschreibung der Teilfunktion (z.B. Anregung)
	Parameter
Parametersätze	Zahl der Parametersätze
	Aktueller Parametersatz
Parametersatz	Parametersatznummer
	Parameter (bestehend aus Name und Wert)

## 8.4 RIO

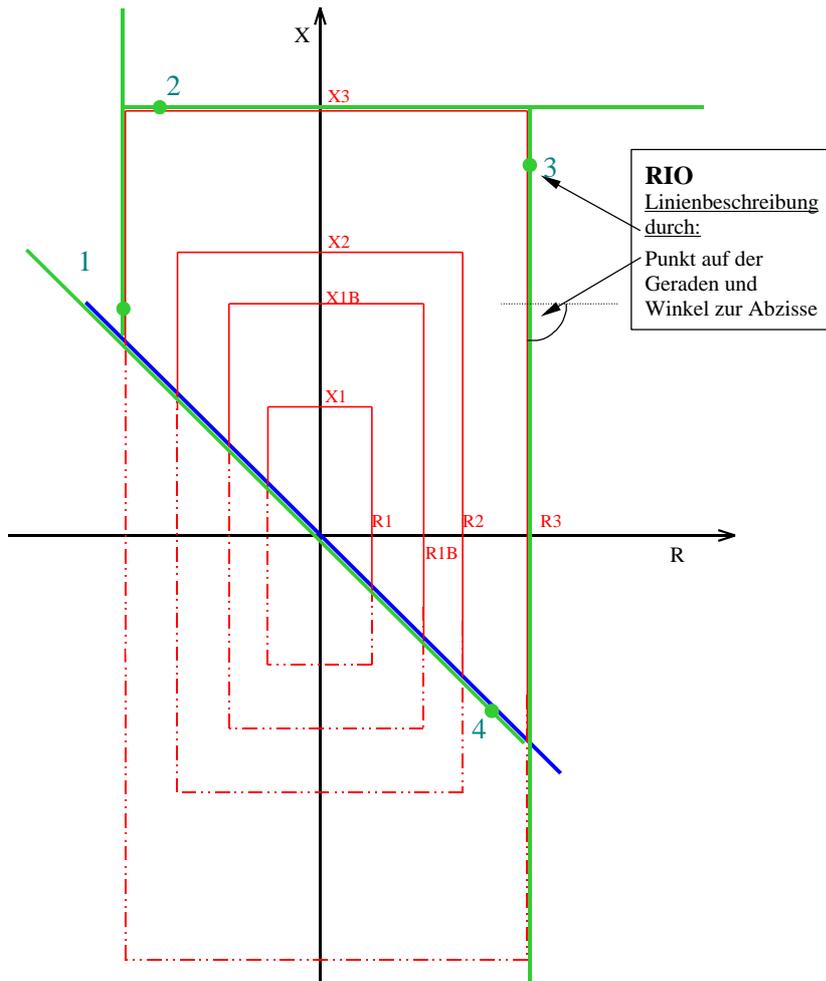
### 8.4.1 Beschreibung von Kennlinien mit RIO

Mit dem RIO-Format (s. Abschnitt 6.3.3) ist ein herstellerunabhängiges Format, um Teile der Einstellungen aus den Parametrierprogrammen auszugeben. Hierzu zählen allgemeine Relaisdaten, wie Relaisstyp, Hersteller und Einbauort und Relaiseinstellung wie Überstromschwellwerte, Erdstromschwellwerte und Kennlinien übergeben werden. Diese Kennlinien werden durch Polygonabschnitte und Kreissegmenten nachgebildet. Eine umfassende Ausgabe aller Daten ist noch nicht realisiert. Für die Nachbildung des Distanzentscheids werden vornehmlich Kennlinien herangezogen, die RIO durch Polygonabschnitte bzw. durch Kombination von einzelnen Polygonen darstellt. Die Darstellung reicht vollkommen aus, um die Teilfunktion Distanzentscheid eines digitalen Distanzschutzes nachzubilden. Um dieses Mittel zu Nutzen, werden für die Analyse und die Veränderung der Kennlinien aber weitere Informationen benötigt.

Bei allen Versuchen Schutzeinrichtungen nachzubilden, bleibt die Problematik, dass die Funktionalität, zu deren Beschreibung die gesammelten Daten dienen, nicht zur Verfügung steht. Für die Kennliniennachbildung mit RIO ist das anders. Die Funktion ist genau bekannt und kann, einmal programmiert, für alle Kennlinienarten angewendet werden.

Die Nachbildung der Kennlinien ist sehr einfach und soll am Beispiel der Anregekennlinie eines Siemens Distanzschutzes erläutert werden. Wie in Bild 34 dargestellt, besteht das Polygon aus mehreren Polygonabschnitten, die in diesem Fall Linien sind.

In der RIO-Datei werden die Linien durch einen Punkt auf der Geraden und dem Winkel der Linie zur Abszisse dargestellt und die Kreisbögen durch Angabe des Mittelpunktes, des Radius und den ungefähren Anfangs- und Endwinkeln. Die Daten werden als Segmente im Umlaufsinn nacheinander abgelegt. Die Ecken werden durch die Schnittpunkte der Geraden und Kreisbögen bestimmt.



**Bild 34: Beschreibung einer Kennlinien mit RIO (vergl. Bild 18)**

Die Beschreibung der Kennlinie ist Teil der RIO-Daten und, wie in Bild 35 dargestellt, aufgebaut. In Bild 35 sind die einzelnen Polygonabschnitte mit einem Schlüsselwort „LINE“ nacheinander beschrieben. Mit „Autoclose“ wird die Kennlinie automatisch geschlossen. „Invert“ invertiert den Bereich, d.h. die Fläche außerhalb des Polygons ist die eigentliche Kennfläche. Detaillierte Informationen enthalten die RIO-Beschreibungen /RIO1996/, /RIO1999/ und /RIO2000/.

```

BEGIN SHAPE
  LINE 0, 0, 135, LEFT
  LINE -3, 3.5, 90, LEFT
  LINE -2.5, 5, 0, LEFT
  LINE 3, 4, 90, LEFT
  AUTOCLOSE YES
  INVERT NO
END SHAPE
    
```

**Bild 35: Kennlinienbeschreibung im RIO-Format**

### 8.4.2 Erweiterung von RIO

Bei der Nutzung der Kennlinie für eine Synthese von Schutzeinstellungen (Staffelung) ist von Interesse, wie eine Kennlinie verändert werden kann. Die im Folgenden niedergelegten Überlegungen gehen in die Bearbeitung des genehmigten AiF-Forschungsvorhabens „Rechnergestützte Synthese von Distanzschutzeinrichtungen“ ein.

Mit dieser Kenntnis lassen sich Algorithmen entwickeln, die es erlauben, relaisunabhängig und ohne weitere Informationen über die zu betrachtenden Schutzeinrichtung die Staffelung von Distanzschutzeinrichtungen einzustellen. Die Sprachelemente von RIO wurden dahingehend untersucht, wie sie für eine solche Anwendung ertüchtigt werden können. Nachfolgend werden die Änderungen von RIO vorgestellt und erläutert. Die Resultate fließen direkt in die Arbeiten der Arbeitsgruppe „Schutzdatenaustausch“ ein.

Es lassen sich zwei Varianten der Kennlinienänderungsmöglichkeiten herausstellen. Zum einen die Änderung einer kompletten Kennlinie und zum anderen die Änderung von Kennlinienabschnitten. Es ist zu beachten, dass jede Änderung der gesamten Kennlinie auch durch die Änderung einzelner Kennlinienabschnitte beschrieben werden kann, was in umgekehrter Richtung allerdings nicht möglich ist. Zur Begrenzung der Kennlinien werden am Ende des Abschnitts Möglichkeiten erläutert. Zur Erläuterung werden die gewonnenen Erkenntnisse in ein Beispiel umgesetzt.

#### **Veränderung von Kennlinien**

Für die Bearbeitung der gesamten Kennlinie werden keine Spezialfälle untersucht, sondern ausschließlich einige wenige Standardverfahren angeboten:

- Verschieben einer Kennlinie auf einer Geraden (z.B. für Mho-Kreis)
- Verkleinern und Vergrößern der Fläche bei gleichbleibenden Seitenverhältnissen
- Drehen einer Kennlinie um einen angegebenen Punkt

In Tabelle 12 sind diejenigen Größen zusammengefasst, die zur Beschreibung der drei obigen Kennlinienveränderungen notwendig sind.

**Tabelle 12: Veränderung von Kennlinien**

Verschieben	Linie auf der das Polygon verschoben werden kann
Zoomen	Zoomfaktor
Drehen	Winkel

### Veränderung von Kennlinienabschnitten

Bei der Veränderung von Kennlinienabschnitten nach Tabelle 13 benötigt man mehr Wissen über die einzelnen Abschnitte und ihrer Beziehung zueinander. Es gibt die Möglichkeiten, die charakteristischen Punkte einer Geraden oder die Kreismittelpunkte zu verschieben, die Neigung der Linien oder den Radius zu verändern.

**Tabelle 13: Änderungen von Kennlinien**

Kennlinienabschnitt	Kann verändert werden durch
Linie	Verschieben von Punkten auf der Linie
	Änderung des Winkels zur Abszisse
Kreisbogen	Verschieben des Kreismittelpunkts
	Ändern des Radius

Aus der Kombinatorik der Möglichkeiten ergibt sich, dass entweder keine Veränderung möglich ist, eines der Attribute verändert werden kann oder beide geändert werden können. Im ersten Fall handelt es sich um einen fixen Polygonabschnitt, auf den eine Parameteränderung keinen Einfluss hat. Können beide Parameter verändert, ist die Linie oder der Kreis in der Ebene frei wählbar. Dies macht streng genommen keinen Sinn, wenn die Ausdehnung nicht begrenzt wird. Gleiches gilt für die Änderung eines Parameters. Daher müssen Möglichkeiten der Verschiebung, die Zusammenhänge zu anderen Linien und die Begrenzungen erfasst werden.

Es ist eine Darstellung zu wählen, die beide Möglichkeiten zulässt und die RIO-Daten möglichst nicht berührt. Es wird daher folgende Vorgehensweise empfohlen:

- Die Polygonabschnitte in der RIO-Darstellung werden nummeriert.
- Zusätzliche Angaben geben Aufschluss über die Veränderbarkeit und die Begrenzung der Kennlinie.

Es werden zwei neue Parameter in die RIO-Beschreibung eingeführt, um die dargestellten Zusammenhänge zu erfassen (siehe Bild 36). Der Schlüssel „RESTRICT“ beschreibt die Beschränkungen, die bei einer Änderung einzuhalten sind. Ist ein weiterer Parameter, der zur Änderung der Kennlinie beiträgt, veränderbar, erfolgt die Beschreibung durch eine weitere Zeile. Hierdurch ist eine Veränderung durch Verschiebung und Winkeländerung bzw. Änderung des Radius realisierbar. Der Schlüssel „COMBINE“ beschreibt die Zusammenhänge zwischen Kennlinienabschnitten, die gemeinsam verändert werden müssen. Hinter dem Schlüsselwort werden die Änderungsmethodik (POINT  $\hat{=}$  Verschieben des Punktes auf dem

Kennlinienabschnitt; ANGLE  $\hat{=}$  Ändern des Winkels des Kennlinienabschnitts), sowie die Nummern der Polygonabschnitte angeben, die gemeinsam verändert werden. Ungleiche Vorzeichen bedeuten dabei, dass die Veränderung entgegengesetzt erfolgt, d.h. das Verschieben eines Abschnitts nach rechts hat eine Verschiebung eines zweiten Abschnitts nach links zur Folge. Für Winkel bedeutet ein ungleiches Vorzeichen, dass bei einer mathematisch positiven Drehung der andere Polygonabschnitt mathematisch negativ zu drehen ist.

```
BEGIN SHAPE
  LINE 1, 0, 0, 135, LEFT
  LINE 2, -30, 35, 90, LEFT
  LINE 3, -25, 50, 0, LEFT
  LINE 4, 30, 40, 90, LEFT
  AUTOCLOSE YES
  INVERT NO
  RESTRICT 2, 1, -0.05, -65
  RESTRICT 3, 2, 0.05, 130
  RESTRICT 4, 1, 0.05, 65
  COMBINE POINT 2, -4
  COMBINE POINT 3
END SHAPE
```

**Bild 36: Änderung der RIO-Daten für das Beispiel in Bild 34**

Mit den so erfassten Daten wird die Kennlinie einer beliebigen Schutzeinrichtung ausreichend genau beschrieben und die Möglichkeiten der Kennlinienänderung umfassend beschrieben. Bei der Nutzung von XML sind die Sprachelemente von RIO in das neue Format zu integrieren.

## 8.5 Definition des Tauschformats

### 8.5.1 Allgemeines

Die Definition eines Tauschformats kann nur in Zusammenarbeit der Softwarehersteller und der Hersteller von Schutzeinrichtungen erfolgen. Daher kann an dieser Stelle lediglich ein detaillierter Vorschlag eingebracht werden, der in der Arbeit der gegründeten Arbeitsgruppe „Schutzdatenaustausch“ eine Arbeitsgrundlage bilden wird. Als Basis für den Datenaustausch ist XML als ein sinnvolles Mittel auch Grundlage der nachfolgenden Erläuterungen. In den

Datenaustausch werden die Daten des RIO-Formats integriert. Welche Daten die entsprechenden Applikation einliest oder verwendet, ist abhängig vom entsprechenden Parser, bzw. der Schnittstelle.

Die Parametriersoftware kann nicht alle Daten, speziell die des Einbauortes gemäß eines Netzdatenmodells liefern. Ähnliches gilt auch für die Prüfsoftware und eventuell auch für die Datenübergabe aus einer Analysesoftware. Aus diesem Grund werden aus jeder Applikation lediglich die dort verwendeten Daten übergeben. Die Schutzdatenbank sollte alle Daten ausgeben können.

Eine sehr gute Grundlage bilden die Sprachelemente von RIO, auf die an vielen Stellen zurückgegriffen wird. Die Sprache hat auch schon eine XML-ähnliche Struktur. Nachfolgend wird zunächst nur die Struktur für Distanzschutzeinrichtungen definiert, mit der Forderung nach Erweiterbarkeit für andere Schutzprinzipien. Aussagen über Einbauort, Netzdaten und Einstelldaten haben selbstverständlich Allgemeingültigkeit.

Es werden Netzdaten und Schutzdaten getrennt. Die Verbindung erfolgt mit einem Linker (XPointer). Hierdurch können verschiedene Darstellungen der Netzdaten und der Ablage der Schutzdaten redundanzfrei abgelegt werden. Auf die Art der Verzeigerung wird hier nicht eingegangen.

Mit Ausnahme der Verzeigerung werden Beispiele für die Datenablage mit XML vorgestellt. DTD, XLS u.a. Dokumente müssen bei der Verabschiedung einer Richtlinie zur Verfügung gestellt werden.

### 8.5.2 Daten für Netzplanungsrechnung

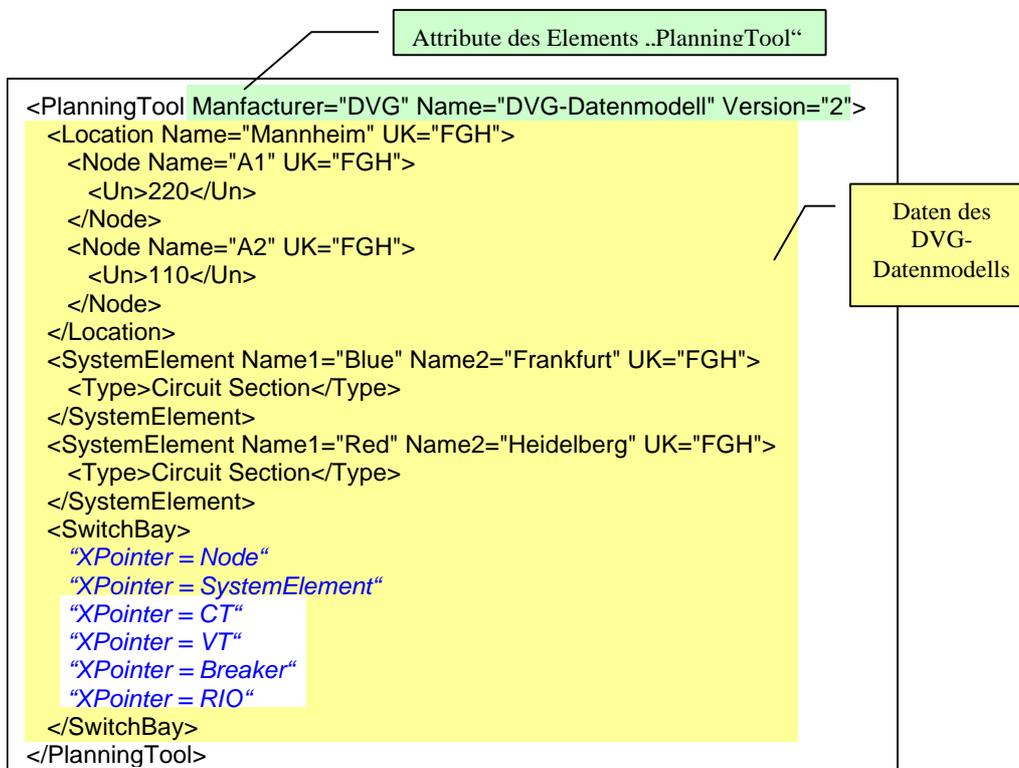
Für Netzplanungsrechnung existieren verschiedene softwareabhängige Datenmodelle. Diese zu berücksichtigen ist mit XML einfach möglich und auch angestrebt. Daraufhin ist die Konzeption des Datenaustausch so angelegt, dass verschiedene Datenmodelle ausgegeben werden können. Zur Identifikation des entsprechenden Netzdatenmodells dienen die Attribute. Die untergeordneten Elemente (Child Element) sind dann abhängig vom entsprechenden Netzdatenmodell.

Das verwendete Netzdatenmodell ist anhand der Attribute Hersteller, Name des Datenmodells und der verwendeten Version eindeutig zu bestimmen. Während das Schlüsselwort „PlanningTool“ mit den drei zugehörigen Attributen allgemeingültig und eindeutig sein muss, sind die auszutauschenden Netzdaten vom Eigner des Datenmodells frei wählbar. Im folgenden sind die Elemente entsprechend des Datenmodells für Netzberechnungen der DVG

konzipiert und lediglich notwendige Informationen beschrieben. Alle weiteren Angaben werden analog zu diesem Schema erfasst. Die Beschreibung der XPointer wurde lediglich schematisch dargestellt. Um die Beschreibungssprache zu verdeutlichen, sind die Schlüsselwörter in einem XML-Beispiel in Bild 37 dargestellt.

Die Struktur ist somit nach dem folgenden Muster aufgebaut.

Element: PlanningTool  
 Attribute: Manufacturer  
 Attribute: Name  
 Attribute: Version  
*Daten des Datenmodells*



**Bild 37:** XML-Syntax für Netzdaten (hier: DVG-Datenmodell)

In dieser Syntax werden die Standorte und Knoten ineinander geschachtelt. Das Netzelement ist ein weiteres Schlüsselwort. Beide werden über Zeiger innerhalb des Elements Feld verbunden. Von diesem Element erfolgt auch eine Verzeigerung zu den nachfolgend beschriebenen Elementen Stromwandler, Spannungswandler und Schalter. Hierdurch wird Redundanz vermieden.

### 8.5.3 Wandler und Schalter

Wandler und Schalter werden nach dem Muster in Bild 38 abgelegt. Die Darstellung umfasst alle Arten von Wandlern. Die Art des Wandlers ist mit dem Attribut Typ zu spezifizieren. Die Unterscheidung umfasst Stromwandler (Type = "CT"), Spannungswandler (Type = "VT") und Kombiwandler (Type = "Combi"). Für Strom- und Spannungswandler sind jeweils die relevanten Elemente zu nutzen.

```
<Transformer Type="">
  <Manufacturer/>
  <Name/>
  <Year/>
  <Winding Number="">
    <Primary/>
    <Secondary/>
    <Class/>
    <OverCurrent/>
    <RelPower/>
    <RelCurrent/>
    <DynCurrent/>
    <Earthing/>
  </Winding>
</Transformer>
```

**Bild 38:** XML-Format für Wandler

Schaltkontakte können als Trennschalter, Lasttrennschalter und Leistungsschalter vorhanden sein. Der Typ ist wieder als Attribut festzulegen.

```
<Breaker Type="">
  <Manufacturer/>
  <Name/>
  <Year/>
  <TripTime/>
</Breaker>
```

**Bild 39:** XML-Format für Schalter

### 8.5.4 RIO

Die RIO-Daten werden derart geändert, dass sie XML-Namenskonventionen entsprechen. Dies bedeutet, dass die Schlüsselworte „Begin“ und „End“ entfallen (siehe Bild 35). Die Daten erhalten den Tag „RIO“. Als Attribut wird die Versionsnummer des RIO-Formats

übergeben. Die Gliederung der Elemente kann wie in /RIO2000/ dargestellt beibehalten werden. Die Ergänzungen gemäß Abschnitt 8.4.2 sind zu implementieren.

#### 8.5.5 Schutzeinstellungen

Schutzeinstellungen werden unter dem Element „Protection“ abgelegt. Attribute sind wiederum Hersteller, Bezeichnung der Schutzeinrichtung, Serien- und Versionsnummer. Als Elemente werden Informationen über die Richtung (Vorwärts, Rückwärts, Ungerichtet) und die Funktion abgelegt, die die Grundfunktion der Schutzeinrichtungen (Distanzschutz, Differentialschutz, UMZ, Sicherung, ...) beschreibt. Als private Daten werden zudem Daten über die Einstellung und Prüfung einer Schutzeinrichtung mit dem Namen des Bearbeiters und dem Datum erfasst. Der Typ (Einstellung, Prüfung) wird durch das Attribut „Type“ der privaten Daten beschrieben.

Anschließend folgt die Erfassung der Parametersätze mit dem Attribut des aktuell eingestellten Parametersatzes. Schutzeinrichtungen besitzen Parameter, die für alle Parametersätze gelten und solche, die nur für jeden Parametersatz erneut einzugeben sind. Parameter, für die keine Parametersatzumschaltung gilt, werden direkt als „Child-Element“ (Kind) unter einem Parametersatz abgelegt, alle anderen Parameter in den jeweiligen Parametersätzen, d.h. als „Child-Element“ des Elements „ParameterSet“.

```
<Protection Manufacturer="" Name=""
Version="">
  <Direction/>
  <Function/>
  <Private Type="">
    <Name/>
    <Date/>
  </Private>
  <ParameterSets actual="">
    <Parameter Name="" Funktion="">
      <Value/>
      <Discription/>
      <UpperLimit/>
      <LowerLimit/>
    </Parameter>
    <ParameterSet ID="">
      <Parameter Name="" Funktion="">
        <Value/>
        <Discription/>
        <UpperLimit/>
        <LowerLimit/>
      </Parameter>
    </ParameterSet>
  </ParameterSets>
</Protection>
```

**Bild 40:** XML-Format für Schutzdaten

Ein Parameter erhält die Attribute Name und Funktion. Als Name wird der herstellerabhängige Name übergeben und als Funktion die Grundfunktion (Mindeststrom, Überstrom, Anregung, Messschleifenauswahl, Distanzentscheid). Neben dem Wert enthält das Element Parameter auch eine Beschreibung des Wertes, sowie einen oberen und unteren Grenzwert der Einstellung. Bild 40 zeigt die Grundstruktur des Dokuments.

## 9 Schutzbereiche und relevante Fehlerfälle

### 9.1 Netzformen und Fehlerkriterien

#### 9.1.1 Netzgestaltung

„Ein elektrisches Netz in einem Versorgungssystem ist ein galvanisch zusammenhängendes Gebilde von Leitungen bestimmter Nennspannung.“ /Doemeland/

Es gibt prinzipiell drei Formen elektrischer Netze:

- Strahlennetz
- Ringnetz
- Maschennetz

Beim **Strahlennetz** sind von einer Einspeisung aus die Leitungen und Lasten strahlenförmig angeordnet. Der Leistungsfluss erfolgt immer in eine Richtung. Hierdurch ist dieser Aufbau einfach und übersichtlich. Der Schutz eines Strahlennetzes kann durch Strom- und Zeitstaffelung erfolgen. Aufgrund dezentraler Einspeisung, die in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen wird, ist zu erwarten, dass die Energieflussrichtung nicht mehr nur in einer Richtung erfolgt. Die veränderten Bedingungen, die dann für die Strahlennetze gelten, werden zu neuen Konzepten in der Gestaltung des Netzschutzes führen. Voraussichtlich spielt hierbei die Kommunikation zwischen mehreren Schutzeinrichtungen eine wesentliche Rolle und Mitnahmeschaltungen zu den Schutzgeräten an den dezentralen Einspeisepunkten sorgen für eine allseitige Kurzschlussausschaltung.

Das **Ringnetz** besteht aus einer ringförmig angeordneten Leitungsanordnung, von denen weitere Leitungen sowie Lasten abgehen können. Sie werden zumeist offen betrieben. Zum Schutz von Ringnetzen reichen im Allgemeinen einfache Überstromschutzeinrichtungen aus.

**Maschennetze** bestehen aus mehreren sich kreuzenden Leitungen, die miteinander verbunden sind. Sie werden vornehmlich im Niederspannungsbereich eingesetzt und die Leitungen werden durch Sicherungen geschützt.

Verbreitet sind in Deutschland, vor allem in deutschen Hoch- und Höchstspannungsnetzen jedoch die **vermaschten Netze**, die sich zwischen Ring- und Maschennetz einordnen lassen. Ein Ausschnitt eines solchen vermaschten Netzes wurde bereits im Bild 1 dargestellt. Der Schutz solcher Netze kann nur durch Distanzschutzeinrichtungen oder Vergleichsschutzeinrichtungen zuzüglich eines Reserveschutzes erreicht werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine definierte Energieflussrichtung nicht an Hand der Netzform bestimmt werden kann. Während das Schutzprinzip abhängig von der Netzform vom Schutztechniker ausgewählt wird, ist eine Analyse der Einstellungen von Schutzrichtungen unabhängig der Netzform.

### 9.1.2 Sternpunktbehandlung

Für die Belange des Forschungsvorhabens reicht eine Unterteilung der Netze anhand ihrer Sternpunktbehandlung in

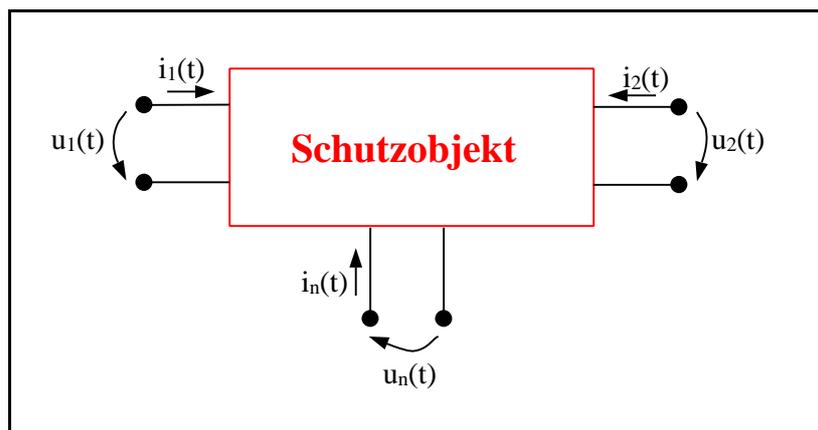
- niederohmig/starr sternpunktgeerdete Netze (wirksam geerdete Netze) und
- isoliert/kompensiert betriebene Netze (nicht wirksam geerdete Netze) aus.

Im Folgenden wird nur noch zwischen wirksam geerdeten und nicht wirksam geerdeten Netzen unterschieden (siehe auch Kapitel 13). Wirksam geerdete Netze sind mindestens über einen Sternpunkt direkt oder über einen niederohmigen Widerstand geerdet. Bei nicht geerdeten Netzen erfolgt keine Erdung bzw. eine Erdung über eine Induktivität (Erdschlussdrossel, Petersenspule). Die Unterscheidung erfolgt anhand des Erdfehlerfaktors  $\delta$ , der für wirksam geerdete Netze kleiner als 1,385 sein muss. Der Unterschied beider Netzformen wird besonders bei einpoligen Fehler zwischen einem Leiter und Erde deutlich. Im nicht wirksam geerdeten Netz fließen beim einpoligen Fehler nur geringe Erdschlussrestströme, die wesentlich kleiner als die Kurzschlussströme eines wirksam geerdeten Netzes sind. Hierdurch ist es auch nicht notwendig eine sofortige Ausschaltung vorzunehmen. Kommt ein zweiter Erdschluss hinzu, entsteht ein Doppelerdkurzschluss, der zu kurzschlussartigen Strömen führt und sofort ausgeschaltet werden muss.

## **9.2 Definition von Schutzobjekten**

In einer allgemeinen Beschreibung lassen sich Schutzobjekte durch Mehrtorbeschreibungen darstellen. Graphisch können solche Mehr Tore wie in Bild 41 dargestellt werden. Größen an den Eingängen der Mehr Tore sind Spannungen und Ströme.

Begrenzt wird das Schutzobjekt durch mindestens eine Schutzrichtung. Für alle anderen Tore, die keine Schutzrichtung besitzen, gilt dann, dass ein Kurzschluss an dem Schutzobjekt über diese nicht gespeist wird.

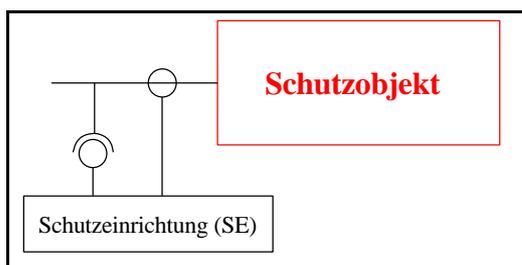


**Bild 41:** Mehrtorbeschreibung eines Schutzobjekts

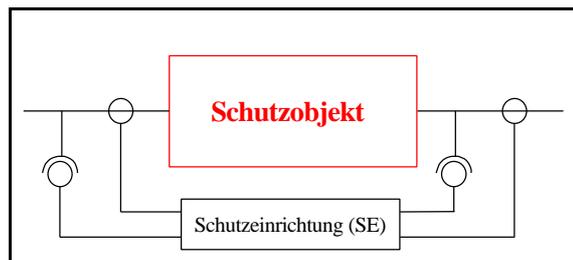
Basierend auf der Beschreibung von Schutzobjekten lassen sich zwei Arten von Lösungen für den Einsatz von Schutzeinrichtungen herausarbeiten. Zum einen eine Lösung, die auf eine Eintorbeschreibungen basiert (Bild 42). Unter diese Gruppe von Schutzeinrichtungen fallen UMZ- und AMZ-Schutzeinrichtungen, Sicherungen sowie Distanzschutzeinrichtungen. Dem gegenüber stehen Lösungen, die auf Mehrtorbeschreibungen basieren. Bei diesen Lösungen werden die elektrischen Größen an mehreren Toren des Schutzobjektes gemessen und diese dann verarbeitet (Bild 43). Dieser Schutz wird durch Vergleichsschutzeinrichtungen wie etwa den Stromdifferentialschutz vorgenommen, kann aber auch durch Kommunikation zwischen verschiedenen Schutzeinrichtungen (z.B. Distanzschutzeinrichtungen) erfolgen.

Für die Untersuchungen von Schutzeinrichtungen aller Art und der zugehörigen Auswahl von Fehlern genügt somit die Unterscheidung in Vergleichsschutz- und Nicht-Vergleichsschutzeinrichtungen. In /IEC 60050-448:1995-12/ werden die Schutzprinzipien Vergleichsschutz (unit protection) und Nicht-Vergleichsschutz (non-unit protection) unterteilt.

Vergleichsschutzeinrichtungen sind Lösungen, die auf Mehrtorbeschreibungen von Schutzobjekten basieren. Hierbei werden an allen Toren die verfügbaren Informationen verwendet, um einen Fehler zu ermitteln. Es werden sowohl einzelne Informationen (z.B. Strom) als auch Kombinationen (z.B. Leistungsrichtung, Impedanz) verwendet. Vergleichsschutzeinrichtungen sind Selektivschutzeinrichtungen mit absoluter Selektivität. Klassisches Beispiel ist der Stromdifferentialschutz. Der Nachteil dieser Schutzeinrichtungen ist, dass sie keine Reserveschutzfunktion bilden können.



**Bild 42: Lösung durch eine Eintorbeschreibung**



**Bild 43: Lösung durch eine Mehrtorbeschreibung**

Lösungen die auf Eintorbeschreibungen basieren, nutzen lediglich die Informationen eines Tores. Eingangsgrößen sind Strom und Spannung oder die Kombination beider als Impedanz oder Leistung. Durch Messgrößen- und Zeitstaffelung wird auch für Nicht-Vergleichsschutzeinrichtungen Selektivität erreicht. Weitverbreitet sind Überstromschutzeinrichtungen (Einzelninformation) und Distanzschutzeinrichtungen (Kombination). Für Fehler auf einem benachbarten Schutzobjekt bilden Nicht-Vergleichsschutzeinrichtungen die Reserveschutzfunktion.

### 9.3 Schutzbereiche

Schutzeinrichtungen werden in Haupt- und Reserveschutz eingeteilt.

Hauptschutz [primary protection] /IEC 60050-448:1995-12/

„Selektivschutz, bei dem vorausgesetzt wird, daß er die Priorität bei der Einleitung der Fehlerbeseitigung oder einer Handlung zur Beseitigung eines anormalen Netzzustandes hat.“

Bei Versagen der Hauptschutzeinrichtungen müssen Vorkehrungen getroffen werden, den Fehler trotzdem auszuschalten. Hierzu dient der Reserveschutz:

Reserveschutz [backup protection] /IEC 60050-448:1995-12/:

„Selektivschutz, der dann wirksam werden soll, wenn in der vorgesehenen Zeit ein Netzfehler nicht beseitigt oder ein anormaler Zustand nicht erkannt wird, weil ein Ausfall oder ein Funktionsversagen einer anderen Selektivschutzeinrichtung oder ein Versagen des Ausschalters des zugeordneten Leistungsschalters auftritt.“

Je nach Anordnung der Schutzeinrichtungen bzw. der mit ihm verbundenen Messwandler lassen sich verschiedene Arten des Reserveschutzes präzisieren /IEC 60050-448:1995-12/:

örtlicher Reserveschutz (feldbezogen) [circuit local backup protection]

„Reserveschutz, dessen Eingangsgrößen entweder von den Messwandlern des Hauptschutzes oder von anderen Messwandlern im selben Stromkreis wie der Hauptschutz vorgegeben wird.“

örtlicher Reserveschutz (stationsbezogen) [substation local backup protection]

„Reserveschutz, dessen Eingangsgrößen von Messwandlern vorgegeben werden, die in der selben Station wie die Hauptschutzeinrichtung, jedoch nicht im selben Stromkreis eingebaut sind.“

Fern-Reserveschutz [remote backup protection]

„Reserveschutz, der in einer von der Station mit der betreffenden Hauptschutzeinrichtung räumlich entfernten Station eingebaut ist.“

Aus der Sicht eines Schutzgeräts lassen sich nun Haupt- und Reserveschutzbereiche für jedes Gerät definieren. Vergleichsschutzeinrichtungen besitzen lediglich einen Hauptschutzbereich, der dem geschützten Abschnitt entspricht (siehe auch /IEC 60050-448:1995-12/).

Bei der Definition der Schutzbereiche von Nicht-Vergleichsschutzeinrichtungen ist zu beachten, dass diese eine definierte Vorwärtsrichtung besitzen bzw. dass sie ungerichtet arbeiten. Im letzten Fall ist die Vorwärtsrichtung beidseitig des Einbauortes. Aus den Definitionen von Haupt- und Reserveschutz ergeben sich die in dieser Arbeit verwendeten Begriffe:

### **Hauptschutzbereich**

Der Hauptschutzbereich einer Nicht-Vergleichsschutzeinrichtung umfasst all diejenigen Fehlerorte, die sie in der Vorwärtsrichtung erfasst. Der Hauptschutzbereich beginnt am Einbauort und endet an der folgenden Nicht-Vergleichsschutzeinrichtung, bei der diese Fehler wiederum in deren Vorwärtsrichtung liegen. Wird ein Teil des Schutzobjekts durch eine Vergleichsschutzeinrichtung geschützt, so gehört dieser Abschnitt nicht zum Hauptschutzbereich der Nicht-Vergleichsschutzeinrichtung.

### **Reserveschutzbereiche**

Reserveschutzbereiche von Nicht-Vergleichsschutzeinrichtungen schließen sich den vorangegangenen Schutzbereichen an und enden wiederum an der folgenden Nicht-Vergleichsschutzeinrichtung, bei der Fehler in der Vorwärtsrichtung liegen.

Zu Verdeutlichung sind einige Erklärungen notwendig. Bei Fehlern im Hauptschutzbereich einer Nicht-Vergleichsschutzeinrichtung kann ein Gerät trotzdem als Reserveschutz arbeiten, wenn es als örtliche feldbezogene Reserveschutzeinrichtung fungiert. In Deutschland ist dies Prinzip vor allem in der Höchstspannungsebene eingesetzt. Hierdurch wird auch bei Versagen der Hauptschutzeinrichtung äußerste Selektivität erreicht. Die Staffelung der Schutzeinrichtungen erfolgt über die Staffelzeit. Durch Staffelung lässt sich auch erreichen, dass eine Schutzeinrichtung mehrere hintereinander liegende Reserveschutzbereiche abdeckt und somit ortsferner Reserveschutz ist.

## **9.4 Relevante Fehler**

Ausgehend von den obigen Betrachtungen lassen sich Betrachtungen der zu untersuchenden Fehler anschließen. In der vorliegenden Arbeit geht es zunächst nicht um eine Überprüfung der Staffलगrenzen, sondern um die Überprüfung der Arbeitsweise von Schutzeinrichtungen und Schutzsystemen bei Auftreten kritischer Fehler.

Bei dieser Betrachtung spielen Vergleichsschutzeinrichtungen eine gesonderte Rolle, da sie lediglich Fehler in ihrem (Haupt-)Schutzbereich registrieren und ausschalten können. Als Vergleichsschutz werden Leitungs-, Transformator- und Sammelschienenendifferentialschutzeinrichtungen eingesetzt. Bei der Untersuchung mit Ergebnissen aus Berechnungen mit quasi-

stationären Größen spielt es keine Rolle auf welchen Abschnitt einer Leitung bzw. Transformator ein Fehler auftritt.

Anders ist die Situation für die Untersuchung von Nicht-Vergleichsschutzeinrichtungen. Für diese Geräte ist der Kurzschlussstrom am geringsten und die Fehlerimpedanz am größten, wenn die Fehler am anderen Ende einer Leitung auftreten. Diese Fehler werden auch als kritischste Fehler in der Analyse betrachtet. Es gibt kein Expertensystem für die Ermittlung minimaler Kurzschlussströme und Teilkurzschlussströme. Hier ist der Ingenieur mit seinem Expertenwissen weiterhin gefragt. Das Öffnen von Sammelschienenkupplungen verringert den Kurzschlussstrom an der Fehlerstelle, dies bedeutet allerdings nicht, dass auch der Kurzschlussstrom, der durch ein Schaltfeld in Richtung Fehlerstelle fließt, verringert wird. Dies gilt vor allem für Doppelleitungen, wobei eine Seite stärker gespeist wird, aber vor allem auch für ortsferne Reserveschutzeinrichtungen.

Aus dieser Erkenntnis werden grundsätzlich Fehler am anderen Ende der Leitungen untersucht. Es können alle Kurzschlussarten (K1, K2, K2E, K3) analysiert werden. Da in vermaschten Netzen die Anregung von Distanzschutzeinrichtungen der ortsfernen Reserveschutzeinrichtungen zum Teil erst nach ersten Schalthandlungen erfolgen kann, sind diese Schaltvorgänge in die Untersuchung des Reserveschutzes einzubeziehen.

## **9.5 Auswahl der Fehlersituation**

### 9.5.1 Allgemeines

Die Auswahl einer Fehlersituation erfolgt durch den Anwender. Die Ermittlung der zugehörigen Fehlerfälle und der zu untersuchenden Schutzeinrichtungen hat durch die Software zu erfolgen.

Der Anwender hat die zu untersuchenden Kurzschlussarten und die zu betrachtenden Schutzbereiche für die Analyse zu bestimmen und Angaben über den Fehlerwiderstand zu machen. Im ersten Schritt erfolgt lediglich eine Berechnung des minimalen Kurzschlussstroms ohne Fehlerwiderstand. Neben der Auswahl der Kurzschlussarten und Schutzbereiche werden vom Anwender die zu untersuchenden Fehlerfälle und Schutzeinrichtungen vorgegeben. Nachfolgend werden die verschiedenen Auswahlkriterien mit ihren Anforderungen beschrieben.

### 9.5.2 Auswahl der Kurzschlussberechnung und des Schutzbereichs

Der Anwender kann zwischen den Kurzschlussarten

- einpoliger Fehler,
- zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung,
- zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung und
- dreipoliger Kurzschluss

auswählen.

Die Auswahl der Schutzbereiche bietet die Wahl zwischen

- Hauptschutzbereich und
- Reserveschutzbereich mit Anzahl der zu untersuchenden Reserveschutzzonen.

Hierbei können mehrere Optionen angewählt werden, d.h. mehrere Kurzschlussarten und Haupt- und Reserveschutz gleichzeitig.

### 9.5.3 Auswahl der Analyseart

Durch die Berücksichtigung der Schalthandlungen sind zahlreiche Berechnungen notwendig. In einigen Fällen gibt aber auch die einzelne Berechnung („Single Shot“) eines Ausgangszustandes inklusive der Ermittlung der Ausschaltzeiten der Schutzeinrichtungen Aufschluss über die korrekte Einstellung der Geräte. Daher ist die Auswahl einer einzelnen Berechnung zu einem definierten Ausgangszustand hilfreich. Die Ausgangszustände sind in Abschnitt 9.5.5 beschrieben.

Anderenfalls werden sämtliche Schalthandlungen bis zur Ausschaltung des Kurzschlusses durchgeführt. In jedem Fall werden neben den Hauptschutzeinrichtungen auch die Reserveschutzeinrichtungen untersucht.

### 9.5.4 Auswahl der Fehlersituation

Die Fehlersituation ist vom Anwender entweder durch Angabe eines Fehlerorts oder einer Schutzeinrichtung vorzugeben. Entsprechend der Auswahl der Fehlersituation und der Schutzbereiche werden die fehlenden Größen automatisch ermittelt. Als Fehlerort werden zunächst nur Fehler am Ende eines Betriebsmittels analysiert. Der Abstand vom Ende des Betriebsmittels ist in Prozent des Gesamtwiderstandes anzugeben. Für die Untersuchung des Hauptschutzbereichs werden alle Schutzeinrichtungen als funktionstüchtig betrachtet. Für die Untersuchung des Reserveschutzbereichs gelten die Schutzeinrichtungen am anderen Ende des Betriebsmittels als fehlerhaft, bzw. nicht funktionsfähig.

### Auswahl einer Schutzeinrichtung

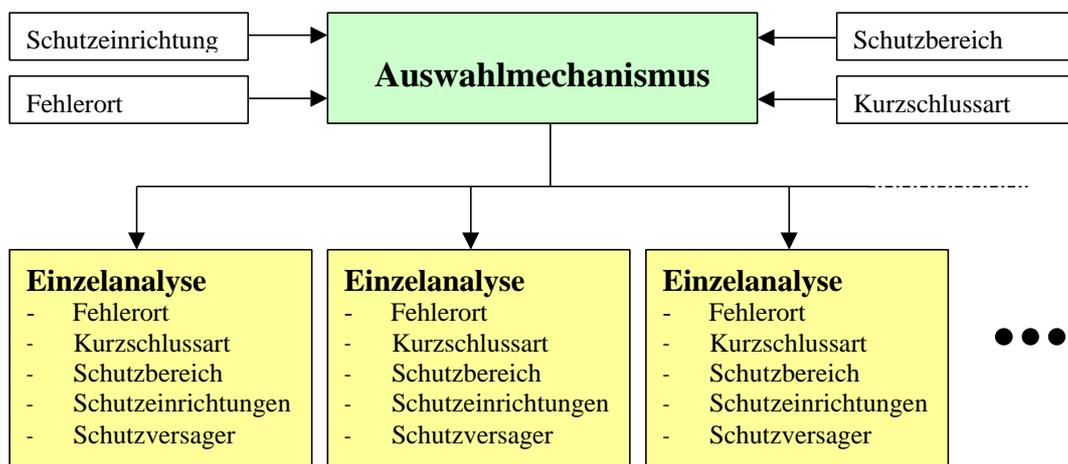
Bei der Auswahl einer Schutzeinrichtung sind abhängig vom zu untersuchenden Schutzbereich (s.o.) die Fehlerorte und eventuell die zugehörigen Schutzversager zu bestimmen. Zu jedem Fehlerort werden die zugehörigen Schutzeinrichtungen des Haupt- und Reserveschutzes bestimmt.

### Auswahl eines Fehlerorts

Zu jedem Fehlerort werden die jeweiligen Schutzeinrichtungen des Haupt- und Reserveschutzes sowie die relevanten Schutzversager bestimmt.

#### 9.5.5 Berechnungen

Dem Auswahlmechanismus werden Informationen über die getroffenen Auswahl von Fehlerorten oder Schutzeinrichtungen sowie die Schutzbereiche und Kurzschlussarten übergeben, um hieraus die durchzuführenden Einzelanalysen zu bestimmen. Aufgrund der Auswahl durch den Anwender werden zu einer Schutzeinrichtung die jeweiligen Fehlerorte mit den zugehörigen Schutzversagern bestimmt oder bei Auswahl eines Fehlerortes lediglich die zu untersuchenden Schutzversager. Jede so gewonnene Analyse wird dann für jede Kurzschlussart nochmals unterteilt (siehe Bild 44).



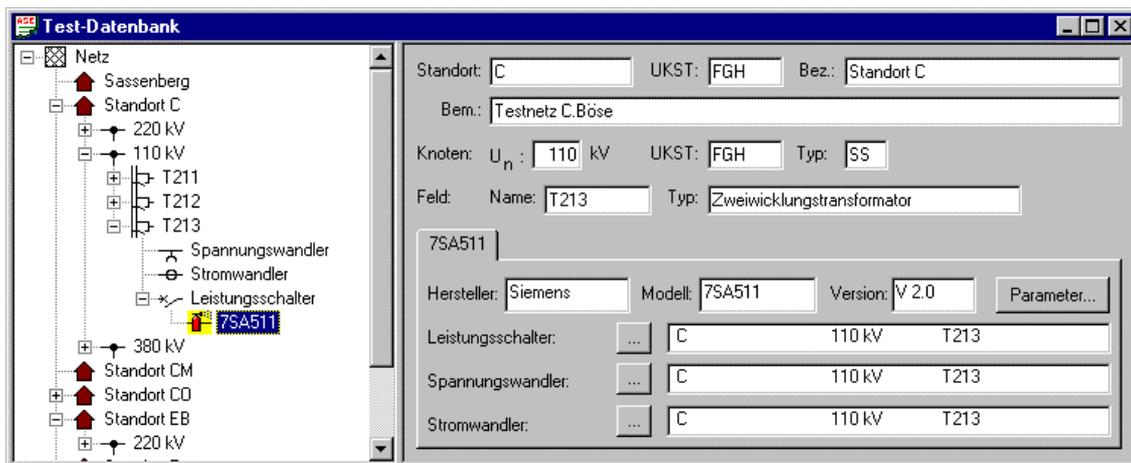
**Bild 44:** Auswahlmechanismus

Bei der Auswahl einer einzelnen Berechnung für jede Einzelanalyse (Single Shot) ist lediglich der Ausgangszustand des Netzes zu untersuchen und für jede betrachtete Schutzeinrichtung die Ausschaltzeit auszugeben. Anderenfalls werden die Berechnungen und Schalthandlungen so lange fortgeführt, bis der Kurzschlussstrom an der Fehlerstelle einen Schwellwert unterschreitet, bzw. Null ist, oder keine Schutzeinrichtung die Schwellwerte für eine Ausschaltung erreicht.

## 10 Visualisierung

### 10.1 Visualisierung der Schutzdaten

Kern der Benutzeroberfläche ist eine Dokumentansicht, mit der sich die Schutzdaten des Netzes betrachten lassen. Es handelt sich dabei um eine zweigeteilte Ansicht, in deren linkem Teil die Hierarchie des Netzaufbaus (Standorte, Knoten, Felder etc.) in Baumform angezeigt wird, während im rechten die Daten des im Baum aktuell ausgewählten Netzbestandteils abrufbar sind (siehe Bild 45). Sind einem Leistungsschalter mehrere Schutzgeräte zugeordnet, werden im unteren Teil des rechten Fensters weitere „Reiter“ mit den Bezeichnungen der jeweiligen Schutzgeräte hinzugefügt. Durch Auswählen eines „Reiters“ können dann die Daten des betreffenden Gerätes abgefragt werden. Die Schaltfläche „Parameter“ öffnet eine Dialogbox, in der die Parametrierung des gewählten Schutzgerätes betrachtet werden kann. Ist ein Schutzgerät mit mehreren Leistungsschaltern oder Wandlern verbunden, können diese in den Listefeldern der Registerkarte betrachtet werden.



**Bild 45:** Fenster für die Darstellung der Netz-/Schutzdaten

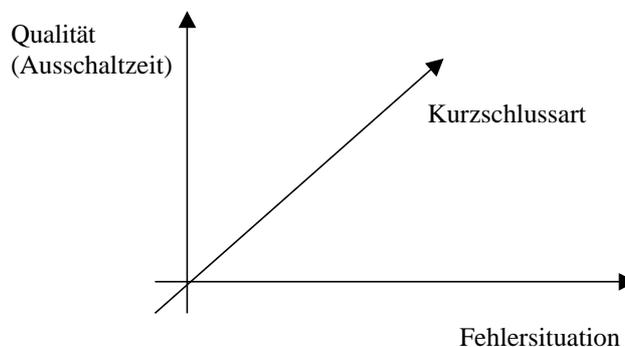
### 10.2 Visualisierung der Analyseergebnisse

Erste Programme für Netzberechnungen haben die Ergebnisse zumeist in Tabellen und Zahlenreihen aufbereitet. Eine solche Darstellungsweise ist unübersichtlich und moderne Techniken erlauben es, Daten auch graphisch aufzubereiten. Für die Verwendung in der

elektrischen Energieversorgung ist dabei zwischen der Darstellung in Netzplänen oder Übersichtsplänen /Hauser/ und der reinen Visualisierung der Rechenergebnisse mit Hilfe von Diagrammen zu unterscheiden. Hierbei entstehen mehr oder weniger komplexe Darstellungsformen.

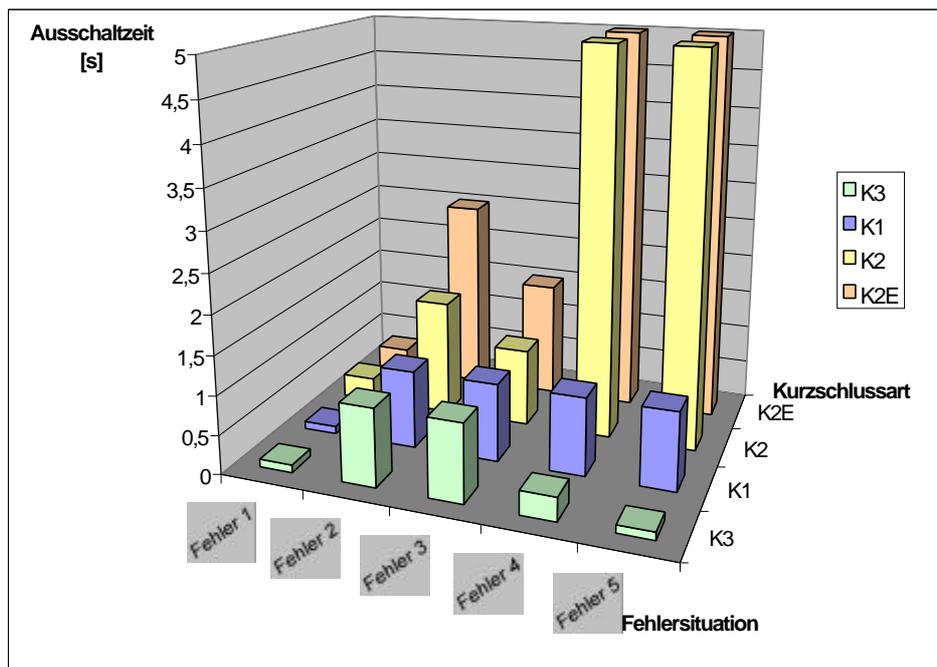
Eine graphische Darstellung ist auch für die Untersuchung des Verhaltens von Schutzrichtungen zu entwickeln. Auf die Integration in einem Netzschemaplan wurde auf Grund des Aufwandes im Rahmen des Prototyping verzichtet. Die entwickelte Darstellung in Diagrammen erfolgt zum einen in einer Übersichtsdarstellung der Ergebnisse und zum anderen in der Darstellung der Ergebnisse der Einzelanalysen.

Die Analyse beinhaltet zahlreiche Berechnungen. Es ist daher ein Auswahlmechanismus zu entwickeln, bei dem der Anwender ausgehend von den getroffenen Analyseinstellungen einen Überblick über die Berechnungsergebnisse bis hin zur detaillierten Darstellung der Einzelanalysen bekommt. Zunächst soll eine graphische Methodik für die Übersichtsdarstellung der Ergebnisse aufgezeigt werden. Ideal für die Darstellung der Ergebnisse ist eine dreidimensionale Übersicht, mit den Achsen „Qualität der Einstellung“ in Form der Ausschaltzeit, „Fehlersituation“ bestehend aus Fehlerort und Schutzversagen und „Kurzschlussart“ (siehe Bild 46).



**Bild 46: Aufbereitung der Analyseergebnisse**

Die Darstellung kann in Form von Balkendiagrammen erfolgen, von denen man durch Mausklick zur Darstellung der Betrachtungen einer einzelnen Fehlersituation gelangt. Ein Beispiel für die Darstellung ist exemplarisch in einem Microsoft Excel-Diagramm in Bild 47 dargestellt. Diese Funktionalität wurde aufgrund fehlender Hilfsmittel und dem für einen Prototyp zu hohen Aufwand nicht erreicht. Statt dessen wurde eine einfachere Auswahlmöglichkeit entwickelt.



**Bild 47: Dreidimensionale Darstellung (Microsoft Excel-Beispiel)**

Es wird eine andere, für das Prototyping ausreichende Methodik empfohlen, um die zu betrachtende Fehlersituation auszuwählen. Diese sieht vor, die Daten in einer Baumstruktur aufzubereiten, aus der dann eine spezielle Analyse ausgewählt werden kann.

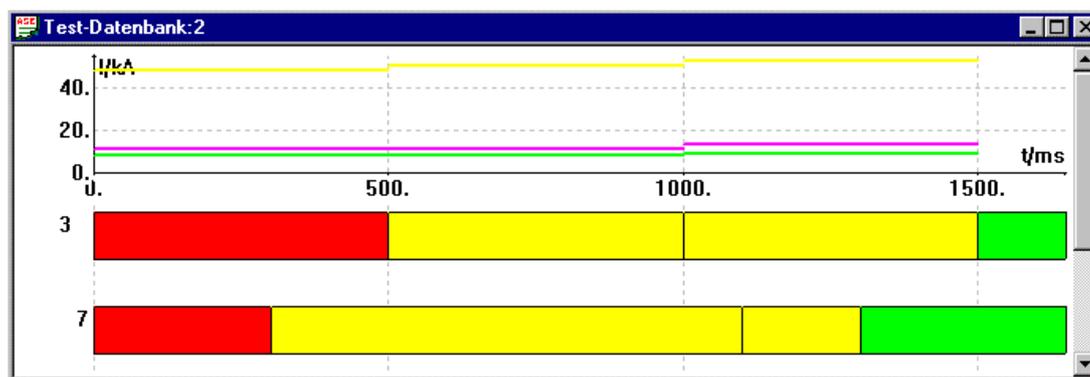
Für die Darstellung der Ergebnisse einer “Einzelanalyse” sind die Ausschaltzeitpunkte, Ströme und Spannungen zu jedem Zeitpunkt der Analyse darzustellen. In einer Übersicht werden die Informationen zur Anregung und Ausschaltung aller untersuchten Schutzrichtungen mit Balkendiagrammen dargestellt und nach der Auswahl einer bestimmten Schutzrichtung die gemessenen Ströme und Spannungen in Betrag über die gesamte Analyse und in Zeigerdiagrammen für bestimmte Zeitpunkt. Hierdurch erhält der Anwender alle benötigten Informationen.

Das Ergebnis einer Analyse besteht aus dem Verhalten der Schutzgeräte in Abhängigkeit von der Zeit, in Verbindung mit den an der Fehlerstelle und bei den Schutzgeräten auftretenden Strömen und Spannungen. Die Darstellung dieser Daten basiert auf einem Hauptfenster (siehe Bild 48), in dem über einer Zeitachse die Zustandswechsel aller untersuchten Schutzgeräte aufgetragen sind. Zur besseren Orientierung wird im oberen Teil des Fensters der Verlauf des Kurzschlussstroms an der Fehlerstelle angezeigt.

Für die Darstellung der Einzelleiter wurden die Farben Gelb (L1), Magenta (L2) und Grün (L3) ausgewählt.

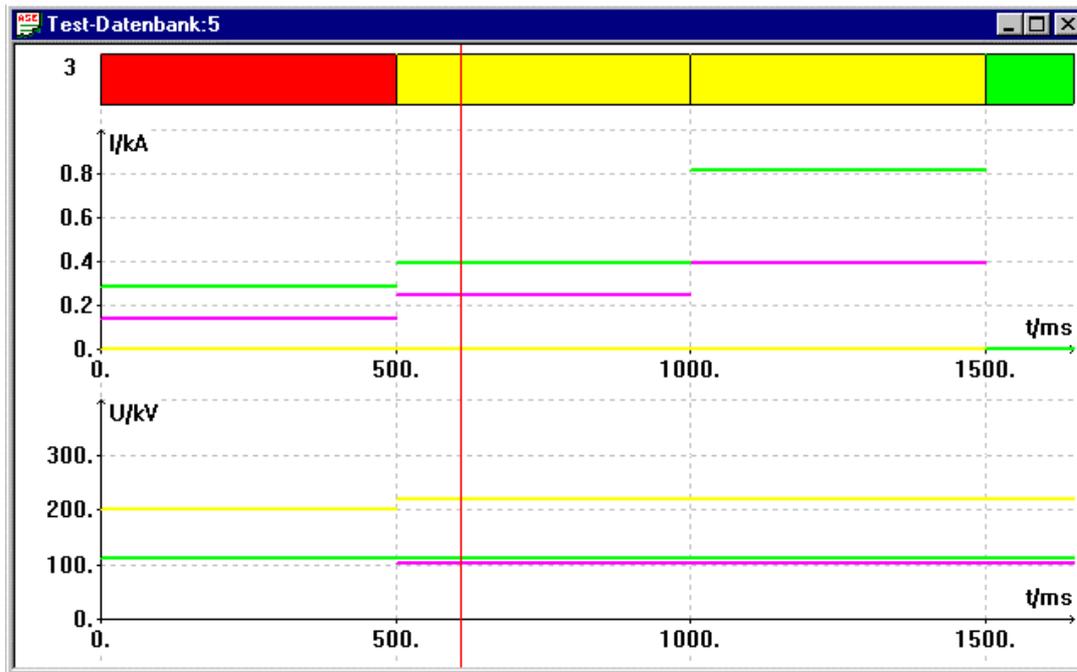
Den Zuständen der Schutzgeräte wurden folgende Farben zugewiesen:

- Rot: Keine Anregung
- Gelb: Anregung
- Grün: Aus

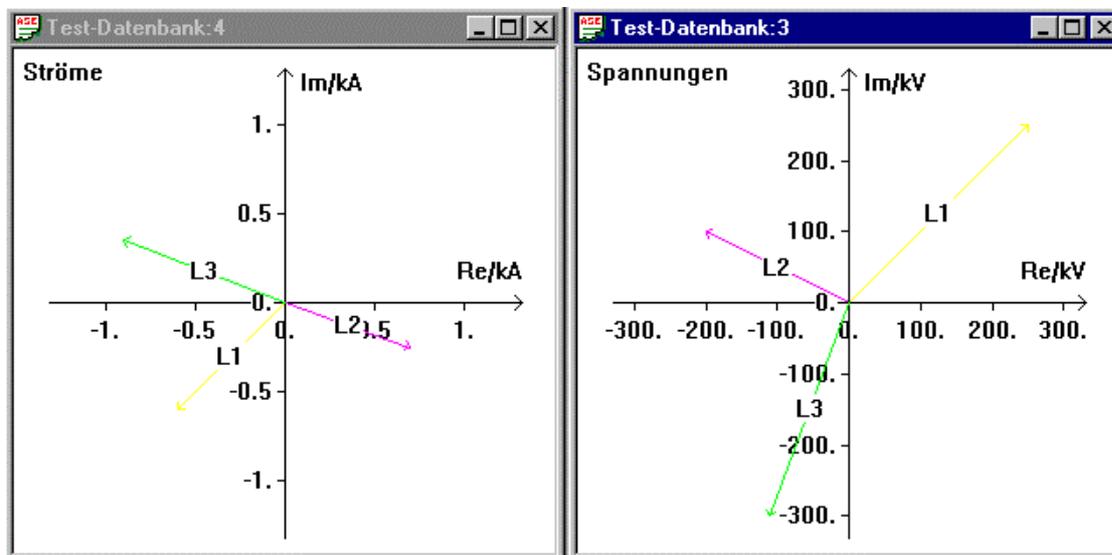


**Bild 48: Fenster für Kurzschlussstrom und Zustands-Diagramme  
3,7: Schutzeinrichtungen**

Durch Klicken mit der Maus auf das Balkendiagramm eines Schutzgerätes (z.B. der Balken der Schutzeinrichtung 3 oder 7 in Bild 48) werden drei Detailfenster geöffnet, in denen genauere Informationen über das aktuell gewählte Schutzgerät angezeigt werden (Bild 49, Bild 50). Das erste Detailfenster (Bild 49) zeigt das Balkendiagramm des Schutzgerätes in Verbindung mit den elektrischen Größen an, die für die Anregeentscheidung dieses Schutzgerätes maßgebend sind. Die beiden anderen Detail-Fenster (Bild 50) enthalten Zeigerdiagramme für Strom und Spannung am Einbauort des Schutzgerätes. Die Anzeige dieser Zeigerdiagramme wird durch Klicken mit der Maus innerhalb des Diagrammbereiches aktualisiert. Dazu wird die x-Koordinate der Mausposition ausgewertet und der zugehörige Zeitpunkt (siehe Bild 49) ermittelt. Der gewählte Zeitpunkt wird durch eine rote, vertikale Linie markiert.



**Bild 49:** Detail-Fenster mit Zustandsdiagramm, Strömen und Spannungen



**Bild 50:** Detail-Fenster mit Zeigerdiagrammen zu den Zustandsdiagrammen nach Bild 49

## **11 Prototyp einer Analysesoftware**

### **11.1 Allgemeines**

Um die Machbarkeit der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Konzeption zu demonstrieren, wurde der Prototyp einer Analysesoftware erstellt, der vor allem die Funktionen der Analyse und der Nachbildung von Schutzeinrichtungen beinhaltet. Als objektorientierte Programmiersprache wurde Microsoft Visual C++ 6.0 sowie die Microsoft Foundation Class (MFC) und die Standard Template Library (STL) genutzt. Für die Nachbildung der Schutzeinrichtungen wurde die weitverbreitete Simulationssoftware Matlab & Simulink gewählt. Zur Datenablage wurde eine Schutzdatenbank mit allen für die Simulation notwendigen Einträgen unter MS Access erstellt. Mit diesem Datenbankmanagementsystem können zwar die notwendigen Belange eines Prototypen abgedeckt werden, für eine Anwendung in der Praxis empfiehlt sich allerdings die Verwendung eines professionelleren Datenbankmanagementsystems. Die Aufgabenteile „Nachbildung von Schutzeinrichtungen“, „Schutzdatenbank“ und „Analysesoftware“ wurden getrennt gelöst und durch geeignete Schnittstellen zusammengeführt. Hierdurch kann sowohl die Schutzdatenbank als auch die Nachbildung der Schutzeinrichtungen für weitere Aufgaben genutzt werden. In der Analysesoftware ist die Kurzschlussstromberechnung aus INTEGRAL /UNIFEH/ verwendet worden.

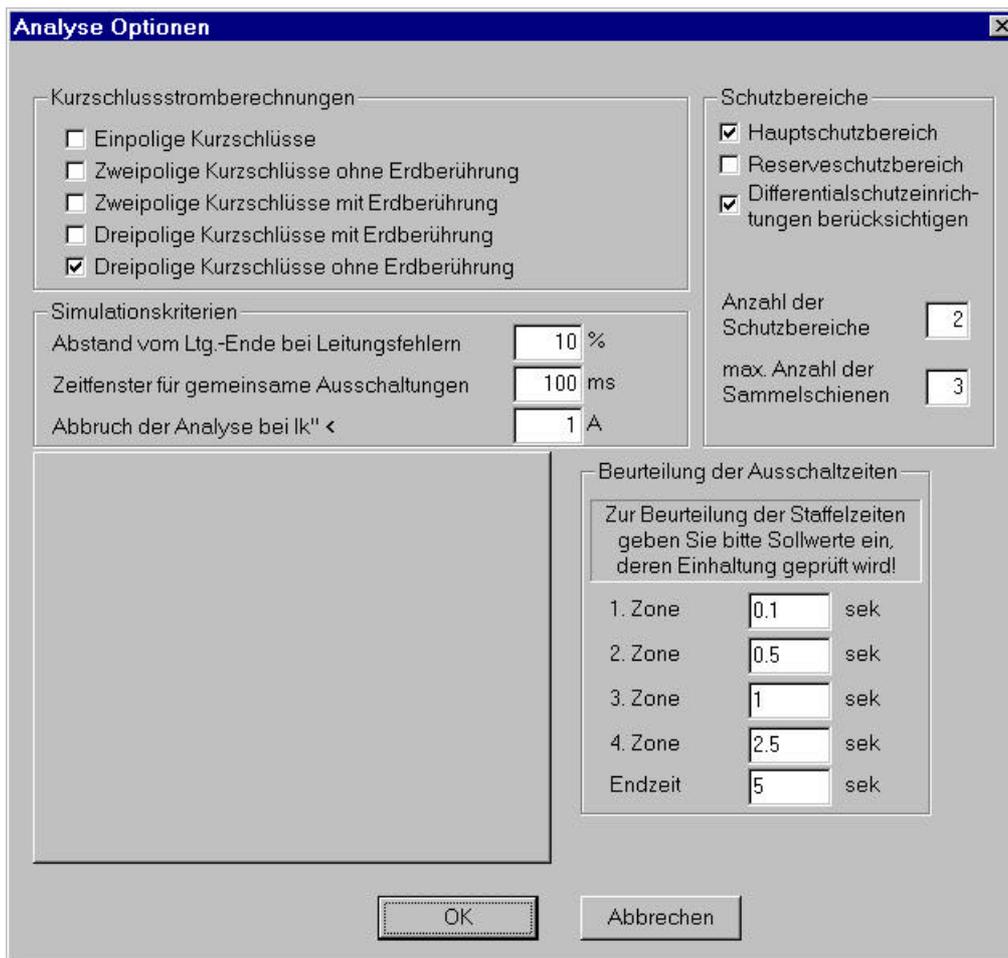
In diesem Kapitel wird die Analysesoftware detailliert beschrieben. Die Datenablage ist schon in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich dargestellt. Daher wird auf deren Realisierung nicht nochmals eingegangen. Gleiches gilt für die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Visualisierungsfunktionen. Da es sich um einen Prototypen handelt, wurden die Oberflächen mit einem geringeren Aufwand erstellt und lediglich Standardwerkzeuge verwendet.

### **11.2 Vorgaben für die Untersuchungen**

Vor dem Start der Untersuchungen werden vom Anwender die Optionen eingestellt (siehe Bild 51). Dies sind zum einen Angaben zu Kurzschlussarten und Schutzbereiche und zum anderen Angaben zu den Simulationskriterien und zur Beurteilung der Ergebnisse.

Die Angabe der Schutzbereiche umfasst die Kriterien, Untersuchung des Haupt- und/oder des Reserveschutzes. Zur Untersuchung der Reserveschutzbereiche ist die Anzahl der zu analysierenden Schutzbereiche anzugeben. Des Weiteren kann die Untersuchung von

Vergleichsschutzeinrichtungen ein/ausgeschaltet werden. Um die Suche nach Schutzeinrichtungen gezielt abbrechen zu können, muss vom Anwender die maximale Anzahl von zu durchlaufenden Sammelschienen als ein Abbruchkriterium der Suchfunktion angegeben werden. Die Suche selbst basiert auf einer Baumentwicklung. Wird die Anzahl der in diesem Baum durchlaufenen Sammelschienen bei der Suche überschritten, wird sie in dem jeweiligen Zweig abgebrochen.



**Bild 51: Analyseoptionen im Prototypen**

Die Auswahl der zu betrachtenden Kurzschlussstromberechnungen kann mehrere Kurzschlussarten umfassen. Wie in Bild 51 dargestellt, umfasst das Angebot alle Kurzschlussarten von einpoligen bis hin zu dreipoligen Fehlern. Die Auswahl erfolgt durch Aktivieren des entsprechenden Kontrollkästchens.

Simulationskriterien erlauben es dem Anwender, begrenzten Einfluss auf die Simulation zu nehmen. Mit der Angabe des Abstandes eines Fehlers vom Leitungsende kann der Fehlerort für alle zu untersuchenden Leitungsfehler festgelegt werden.

In der Simulation werden Ausschaltungen aufgrund der Einstellungen des Distanzentscheids der Schutzeinrichtungen vorgenommen. Um die Anzahl der Berechnungen zu begrenzen, aber auch um Verzögerungen in den Schalthandlungen in geeigneter Weise zu berücksichtigen, kann der Anwender eine Angabe über ein Zeitfenster machen. Alle Schutzeinrichtungen deren Schaltzeitpunkt kleiner ist, als der Zeitpunkt der nächsten durchzuführenden Ausschaltung zuzüglich des Zeitfensters, werden gleichzeitig ausgeschaltet. Wird die gleichzeitige Ausschaltung in dieser Form nicht gewünscht, ist der Wert auf Null zu setzen.

Um mit dem Programm die Ergebnisse der Analyse zu bewerten, werden die Ausschaltzeiten mit Vorgaben für jeden Schutzbereich verglichen. Hierzu dienen die Angaben zur Beurteilung der Ausschaltzeiten.

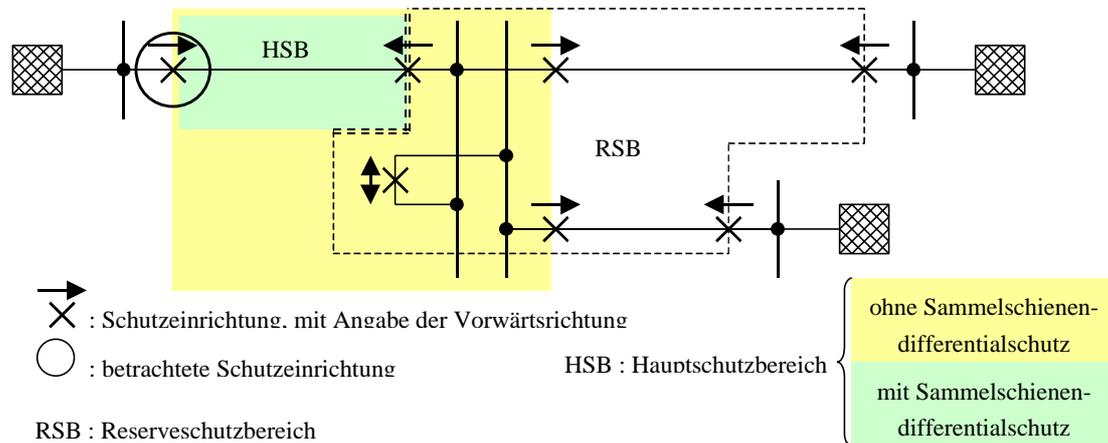
## **11.3 Einzelanalysen**

### 11.3.1 Suche der Fehlerorte und Schutzeinrichtungen

Ausgehend von einer ausgewählten Schutzeinrichtung werden die zugehörigen Fehlerorte ermittelt. Ist die gewählte Schutzeinrichtung eine Vergleichsschutzeinrichtung, so wird ein Fehler auf dem zu schützenden Betriebsmittel gesetzt. Im anderen Fall, es handelt sich um eine Nicht-Vergleichsschutzeinrichtung, werden alle Fehler derart gesetzt, dass sie am anderen Ende eines Betriebsmittels bzw. am Ende des Schutzbereichs sind und von der Schutzeinrichtung aus in dessen Vorwärtsrichtung liegen. Geht man, wie in Bild 52 dargestellt, von einem in Richtung Leitung gerichteten Distanzschutz aus, so gehören alle Fehler bis zum Einbauort der nächsten Schutzeinrichtung in Rückwärtsrichtung zum Hauptschutzbereich der Schutzeinrichtung. Bei Einsatz eines Sammelschienenendifferentialschutzes verringert sich der Schutzbereich bis zum Schaltfeld der zu schützenden Leitung.

Allgemein lässt sich somit formulieren, dass das Ende des jeweiligen Schutzbereichs nicht durch eine Schutzeinrichtung begrenzt ist, die in ihrer Vorwärtsrichtung in Richtung des ausgewählten Geräts schaut, sondern durch eine Schutzeinrichtung, die das ausgewählte Schutzgerät in Rückwärtsrichtung sieht oder ungerichtet arbeitet. Schutzeinrichtungen in Sammelschienenkupplungen bleiben in diesem Verfahren unberücksichtigt. Üblicherweise eingesetzte Sammelschienenendifferentialschutzeinrichtungen reduzieren den Schutzbereich

derart, dass er vor den Sammelschienen endet. Eine solche Vergleichsschutzeinrichtung begrenzt den Schutzbereich aber nur dann, wenn diese direkt vor der Schutzeinrichtung in Rückwärtsrichtung angeordnet ist.



**Bild 52: Auswahl von Schutzeinrichtungen**

Bei der Vorgabe eines Fehlerorts sind alle Schutzeinrichtungen zu suchen, die zum Haupt- bzw. zum Reserveschutzbereich gehören. Wird ein Betriebsmittel durch eine Vergleichsschutzeinrichtung geschützt, so gilt die Vergleichsschutzeinrichtung als Hauptschutz. Ansonsten endet ein Schutzbereich an der nächsten Schutzeinrichtung, die den Fehler in Vorwärtsrichtung sieht.

Bei der Auswahl verschiedener Fehler und Schutzeinrichtungen, werden die Vorgaben durch die Analyseoptionen herangezogen, die dann zur Auswahl der Anzahl der Reserveschutzbereiche dienen. Die Auswahl aller Reserveschutzbereiche erfolgt analog derer des Hauptschutzes.

### 11.3.2 Setzen der Kurzschlüsse

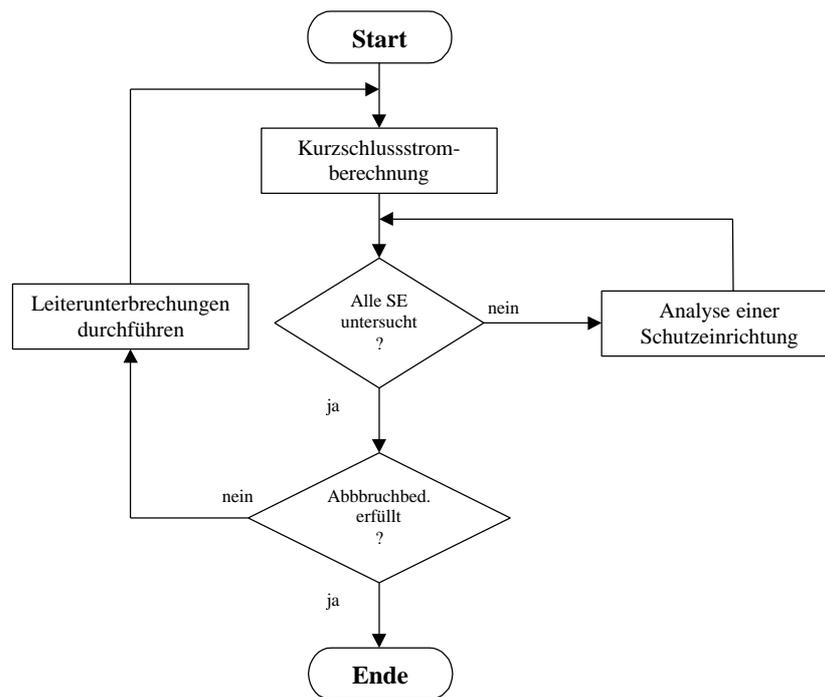
Aus der Ermittlung von Fehlerorten und Schutzeinrichtungen ergeben sich Fehlersituationen mit zugehörigen Schutzversagern. Durch die Vorgabe in den Optionen werden schließlich die ermittelten Fehler weiter in Einzelanalysen für jede Kurzschlussart aufgeteilt. Alle weiteren Ausführungen beziehen sich nun auf die Darstellung einer einzelnen Analyse.

## 11.4 Analyse

### 11.4.1 Analyseablauf

Ausgehend von der vorgegebenen Netztopologie wird die erste Kurzschlussstromberechnung gestartet. Den Nachbildungen der ausgewählten Schutzrichtungen (siehe Abschnitt 11.3.1) werden die Kurzschlussgrößen (Spannungen und Ströme) übergeben, die anschließend Anregung und Ausschaltzeit berechnen.

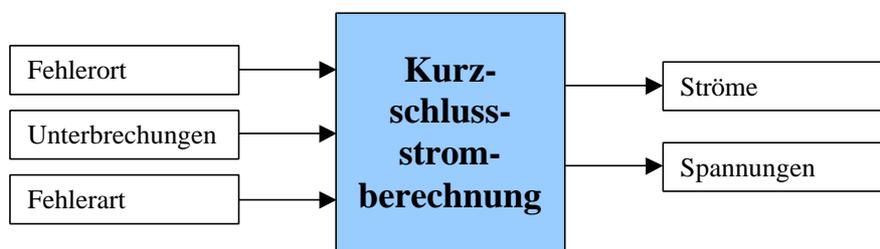
Die Schutzrichtungen mit der kürzesten Ausschaltzeit und diejenigen, deren Ausschaltzeit kleiner als diese minimale Ausschaltzeit plus des Zeitfensters ist, werden daraufhin ausgeschaltet (siehe Abschnitt 11.2). Die nächste Kurzschlussstromberechnung wird mit dem Zeitstempel der längsten Ausschaltzeit der ermittelten auszuschaltenden Schutzrichtungen versehen. In allen Feldern, in denen ein Schaltkontakt mit den ermittelten auszuschaltenden Schutzrichtungen verbunden ist, werden Leiterunterbrechungen für diese anschließende Kurzschlussstromberechnung gesetzt. Anschließend werden die verbliebenen Schutzrichtungen nochmals mit den Kurzschlussgrößen untersucht. Diese Vorgehensweise wird solange fortgesetzt, bis eine Abbruchbedingung erreicht wird. Als Abbruchbedingungen gelten, dass der Strom an der Fehlerstelle Null ist oder die Tatsache, dass aufgrund der Berechnungen keine weitere Ausschaltungen vorgenommen werden können. Der Ablauf der Analyse ist in Bild 53 dargestellt.



**Bild 53: Analyseablauf**

#### 11.4.2 Kurzschlussstromberechnungen

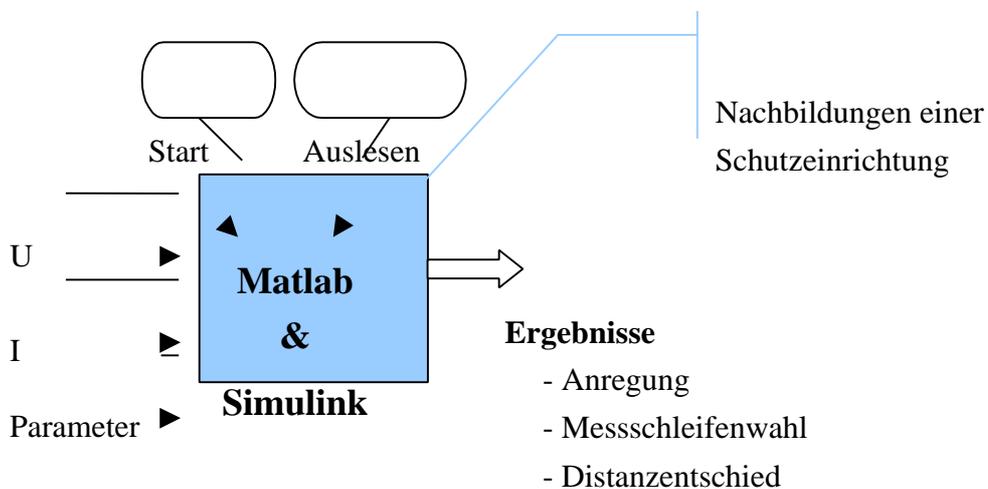
Dem Berechnungsmodul werden als Eingangsparameter die Fehlerart und der Fehlerort, sowie die durch die Schalthandlungen hergerufenen Leiterunterbrechungen übergeben. Nach der Berechnung können Ströme und Spannungen an jedem Feld abgerufen werden. Die Berechnungen erfolgen nach /DIN VDE 0102/.



**Bild 54: Kurzschlussstromberechnungsmodul**

### 11.4.3 Simulation der Schutzeinrichtungen

Die Simulation der Schutzeinrichtungen erfolgt mit den Modellen in der Simulationssoftware Matlab & Simulink (siehe Bild 55). Den Modellen werden hierbei die Spannungen, Ströme und Parameter übergeben. Diese Übergabe erfolgt über eine Schnittstelle als Zeichenkette, bestehend aus Variablenname und Werten. Ebenso lassen sich die Simulationen durch Übergabe eines „Strings“ starten und die Analyseergebnisse auslesen. Als Ergebnisse werden Informationen über Anregung und Ausschaltzeiten übergeben. Die verwendete Schnittstelle („C Engine“) wird vom Simulationsprogramm Matlab mitgeliefert und ist in eigenen Klassen integriert.



**Bild 55: Zugriff auf die Nachbildungen in Matlab & Simulink**

## 11.5 Analyseergebnisse

Für die Beurteilung der Schutzfunktionen wurden Kriterien eingeführt, die einen Überblick über die Qualität der Einstellung liefern. Hierbei hat der Anwender die Möglichkeit eigene Vorgaben zu machen (siehe Abschnitt 11.2). Die Qualität wird hierbei an der Ausschaltzeit gemessen. Die Vorgaben der Analyseoptionen sind derart zu wählen, wie sie vom Anwender für den gewählten Fehlerort (siehe Optionen) gewünscht sind. Im vorliegenden Bild 51 wird eine Ausschaltung bei einem Fehler, der 10% vom Leitungsende auftritt, in 100 Millisekunden erwartet. Die Qualität wird in Kategorien zwischen sehr gut und ungenügend in mehreren Stufen beurteilt.

## 11.6 Test

Für die Anforderungen an eine Software wurden Netzstudien und Untersuchungen der Datenhaltung in Zusammenarbeit mit einem deutschen Energieversorgungsunternehmen herangezogen /Böse et al.-1999/.

Die Nachbildungen der Schutzeinrichtung wurde nach Eingabe realer Einstellungen und den Ergebnissen aus Kurzschlussstromberechnungen realer Netze überprüft. Die Ergebnisse entsprachen den erwarteten Reaktionen der Geräte. Die Nutzung der Nachbildungen in C++-Programmen aber auch in MS Excel wurden getestet. Die Verwendung in C++ ist zwar mit einem Verlust an Performance verbunden, ist aber funktionstüchtig.

Der Mechanismus der Auswahl von Fehlerorten, Schutzeinrichtungen und Schutzversagern wurde anhand eines realen Netzes untersucht. Die Ermittlung der zu untersuchenden Schutzeinrichtungen war auch bei komplexeren Gebilden noch gegeben.

Die Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnungen unter Berücksichtigung der Schalthandlungen wurde verifiziert.

Das Zusammenwirken der einzelnen Teile ist ausführlich getestet und funktioniert einwandfrei. Der Vergleich zwischen der Simulation und dem erwarteten Verhalten in einem realen Netz steht noch aus. Zudem werden die Ergebnisse noch mit vorangegangenen Untersuchungen basierend auf Ausschaltungen nach einem festen Pseudozeitstrahl /Böse et al.-1999/ verglichen.

## 12 Literatur

/Baumann, et al.-1996/

Baumann, U.; Wellßow, W.H.

„Computer aided analysis of protection relay settings with respect to starting conditions“

Proceedings Vol. 1, 12<sup>th</sup> Power Systems Computation Conference (PSCC),  
Seite 331-336, August 1996, Dresden

/Baumann, et. al.-2000/

Baumann, U.; Böse C.; Lambrecht, D.; Weber, Th.

"Data Acquisition of Protection Settings for Planning Tools – Extension of an Existing German Data Model"

Proceedings, Conference on Power System Protection 2000 (PSP2000),  
September 2000, Bled (Slovenia)

/Bernhard/

Bernhard, U.:

„XML in 10 Punkten“

<http://www.w3.org/Consortium/Offices/Germany/Misc/XML-in-10-Punkten.html>, called on 17.10.2000

/Böse et al.-1999/

Böse, C.; Baumann, U.; Kühn, H.; Wellßow, W.H.

„Simulation of Distance Protection Scheme Performance in Heavily Meshed Systems – Experience and Further Development“

Proceedings Vol. 1, 13<sup>th</sup> Power Systems Computation Conference (PSCC),  
S. 575-581, Juni/Juli 1999, Trondheim (Norway)

/Böse et. al. -2000/

Böse, C.; Theisen, D.; Weber, Th.:

„A flexible representation of digital distance relays for protection studies“

7th International Conference, Exhibition on OPTIMIZATION OF  
ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT OPTIM 2000,  
May 2000, Transylvania University, Brasov, Romania

/DIN VDE 0102/

„DIN VDE 0102: Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen“

Ausgabe Januar 1990

/DVG/

N.N.

„Datenmodell für Netzberechnungen“

Deutsche Verbundgesellschaft (DVG), Heidelberg (1999)

/Doemeland/

Doemeland, W.

„Handbuch Schutztechnik: Grundlagen, Schutzsysteme, Inbetriebnahme“

Verlag Technik GmbH, Berlin (1997) 6. Auflage

ISBN 3-341-01187-0 (Verlag Technik)

ISBN 3-8007-2259-3 (VDE-VERLAG)

/FGH1999/

N.N.

„Erweiterungen und Ergänzungen des Datenmodells für Netzberechnungen der DVG für INTEGRAL“

Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V.

(FGH e.V.), Mannheim (1999)

/Hauser/

Hauser, A.J.:

„Visualization of Global Power System States in a Compact and Task Oriented Way“

Proceedings Vol. 1, 13<sup>th</sup> Power Systems Computation Conference (PSCC),  
S. 413-419, Juni/Juli 1999, Trondheim (Norway)

/Herrmann/

Herrmann, Hans-Joachim

„Digitale Schutztechnik: Grundlagen, Software und Ausführungsbeispiele“

VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach (1997)

/Huwer/

Huwer, Richard  
„Funktionsprüfung digitaler Distanzschutzeinrichtungen mittels dynamischer Fehler“  
Shaker Verlag GmbH, Aachen (1999)  
Berichte der Energieversorgung, Universität Kaiserslautern, Dissertation  
ISBN 3-8265-6391-3

/IEC 60050-448:1995-12/

„Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch  
Kapitel 448: Enernetz-Selektivschutz“  
Beuth-Verlag GmbH Berlin Wien Zürich, 1. Auflage (1999)

/INTEGRAL/

N.N.:  
„Einsteigen in INTEGRAL Version 6“  
Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik e.V.  
(FGH), Mannheim (1999)

/Kruglinski et al./

Kruglinski, D.; Sheperd, G.; Wingo, S.  
„Inside Visual C++ 6.0“  
Microsoft Press Deutschland, Unterschleißheim (1998) ISBN 3-86063-461-5

/Lippman/

Lippman, S. B.  
„C++: Einführung und Leitfaden“  
Addison-Wesley (Deutschland) GmbH, Bonn, München, (1996)  
2. Auflage / 7. Nachdruck; ISBN 3-89319-375-8

/RIO1996/

N.N.  
„RIO - Relay Data Interchange Format by OMICRON“  
OMICRON, Altach, Österreich (1996)

/RIO1999/

N.N.  
„Current State of the OMICRON Distance RIO Format“  
OMICRON, Altach, Österreich (1999)

/RIO2000/

N.N.:  
„RIO Format – Version 2.1“  
OMICRON, Klaus, Österreich (2000)

/SANDIA1997/

Baumann, U.  
„SANDIA – Schutzdatenformate (Version 1.4)“  
Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V.  
(FGH e.V.), Mannheim (1997) (unveröffentlicht)

/SIEMENS/

N.N.:  
„Digitaler Abzweigschutz 7SA511 V2.0“  
Siemens AG, (1992)

/TB 1-261/

„Matrizenrechnung in der Energieübertragungstechnik“  
Technischer Bericht 1-261, FGH, Mannheim (1986)

/UNIFEH/

N.N.:  
„UNIFEH Plus Manual“  
Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik e.V.  
(FGH), Mannheim (1994)

/Weitzel, et. al./

Weitzel, T; Buxmann, P.; Ladner, F.; König, W.:  
„XML – Konzept und Anwendung der Extensible Markup Language“  
<http://xml.c nec.org/paper/index.htm>, called on 17.10.2000

## 13 Indizes und Abkürzungen

### 13.1 Indizes

(0), (1), (2)	Nullsystem, Mitsystem, Gegensystem
(L1), (L2), (L3)	Leitergrößen L1, L2, L3
(E)	Erde

### 13.2 Abkürzungen

AMZ	abhängiger Maximalstrom-Zeitschutz
COM	Component Objectiv Model
CSS	Cascading Style Sheet
DCD	Document Content Definition
DLL	Dynamic Link Library
DTD	Document Type Definition
DV	Datenverarbeitung
DVG	Deutsche Verbundgesellschaft e.V.
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FGH e.V.	Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V.
HTML	Hyper Text Markup Language
IDMT	<b>I</b> nverse <b>T</b> ime <b>R</b> eplay with <b>D</b> efinite <b>M</b> inimum <b>T</b> ime
IT	Informationstechnik

ODBC	Open Database Connectivity
RDF	Resource Description Framework
RIO	<b>R</b> elay Data <b>I</b> nterchange Format by <b>O</b> MICRON
SGML	Standard Generalized Markup Language
SQL	Structured Query Language
STL	Standard Template Library
UMZ	unabhängiger Maximalstrom-Zeitschutz
XML	Extensible Markup Language
XLink	XML Linking Language
XPointer	XML Pointer Language
XLS	Extensible Style Sheet Language

## 14 Tabellen und Bilder

### 14.1 Tabellen

Tabelle 1: Anregung zu unterschiedlichen Schaltzeitpunkten.....	13
Tabelle 2: Kennlinienbeschreibung für IDMT-Überstromrelais /Doemeland/.....	41
Tabelle 3: Auslösevarianten für UMZ-Schutzeinrichtungen (für $I_{>} < I_{>>}$ ).....	59
Tabelle 4: Messschleifenwahl bei mehrpoligen Fehlern im geerdeten Netz für Überstromanregung oder U-I-Anregung der Siemens Distanzschutzeinrichtung 7SA511.....	61
Tabelle 5: Zusammenfassung „Zielsetzung“ .....	67
Tabelle 6: Zusammenfassung „Topologische Daten“ .....	70
Tabelle 7: Zusammenfassung „Datenaustausch Parametriersoftware“ .....	73
Tabelle 8: Daten zur Topologie .....	84
Tabelle 9: Daten zu Wandlern .....	85
Tabelle 10: Daten zu Schaltkontakten.....	86
Tabelle 11: Daten zu Schutzeinrichtungen.....	86
Tabelle 12: Veränderung von Kennlinien .....	89
Tabelle 13: Änderungen von Kennlinien .....	90

## 14.2 Bilder

Bild 1:	Teil eines vermachten Hochspannungsnetzes mit Fehlersituation.....	11
Bild 2:	Objekte des DVG-Datenmodells zur Verknüpfung der Schutzdaten.....	17
Bild 3:	Umwandlung der Netztopologie in das DVG-Datenmodell .....	20
Bild 4:	Objektorientierte Modellierung und Verzeigerung der Klassen .....	21
Bild 5:	Schematische Darstellung des Schutzdatenmodells mit der Verbindung zu DVG-Daten .....	24
Bild 6:	Relationale Darstellung /PSP2000/ .....	25
Bild 7:	Darstellung unter Verwendung der Assoziation /PSP2000/ .....	26
Bild 8:	Beschreibung der Schutzgeräte in der relationalen Schutzdatenbank.....	27
Bild 9:	Vererbungshierarchie der Klassen zur Spannungs- und Strommessung.....	33
Bild 10:	Vererbungshierarchie der Klassen von Schaltern .....	34
Bild 11:	Vererbungshierarchie der Klassen von Schutzeinrichtungen.....	35
Bild 12:	Ablaufplan für UMZ-Schutzeinrichtungen .....	37
Bild 13:	Kennlinien für UMZ-Relais /Müller, Boog/.....	38
Bild 14:	AMZ-Kennlinien /Müller, Boog/ .....	39
Bild 15:	Kennlinien für IDMT-Überstromrelais /Doemeland/.....	41
Bild 16:	Strom-Zeit-Kennlinien für HH-Sicherungen 6 kV/12 kV /Doemeland/ (Vollbereichssicherungen).....	42
Bild 17:	Ansprechkennlinie eines Differentialrelais /Doemeland/.....	44
Bild 18:	Distanzkennlinien des Siemens 7SA511 Version 2.0 .....	48
Bild 19:	Binäre Darstellung des Schwellwertentscheids für eine Überstromanregung .....	54
Bild 20:	Modell einer Unterimpedanzanregung in Simulink.....	55

---

Bild 21: Subsystem der Unterimpedanzanregung mit weiteren Subsystems .....	56
Bild 22: Verschiedene Datenablagen in der Schutztechnik .....	63
Bild 23: Umfang und Verwendung einer zentralen Erfassung von Schutzdaten.....	65
Bild 24: Datenerweiterung des Schutzdatenmodells.....	66
Bild 25: Verwendung der Schutzdatenbank.....	67
Bild 26: Einphasige Darstellung eines Netzes für Netzberechnungen.....	68
Bild 27: Topologische Informationen des DVG-Datenmodells.....	69
Bild 28: Topologische Darstellung betrieblicher Datenerfassung .....	69
Bild 29: Ablage der Informationen für Zugriffsrechte (Legende siehe Bild 27) .....	75
Bild 30: Funktionsbibliothek unter Simulink.....	76
Bild 31: Verschiedene Funktionstypen in Simulink .....	77
Bild 32: Darstellungen von Daten in proprietären Formaten [Quelle: Microsoft TechTalk XML] .....	80
Bild 33: XML-Beispiel.....	82
Bild 34: Beschreibung einer Kennlinien mit RIO (vergl. Bild 18) .....	88
Bild 35: Kennlinienbeschreibung im RIO-Format.....	88
Bild 36: Änderung der RIO-Daten .....	91
Bild 37: XML-Syntax für Netzdaten (hier: DVG-Datenmodell).....	93
Bild 38: XML-Format für Wandler.....	94
Bild 39: XML-Format für Schalter .....	94
Bild 40: XML-Format für Schutzdaten .....	95
Bild 41: Mehrtorbeschreibung eines Schutzobjekts.....	99
Bild 42: Lösung durch eine Eintorbeschreibung.....	100

---

Bild 43: Lösung durch eine Mehrtorbeschreibung.....	100
Bild 44: Auswahlmechanismus.....	105
Bild 45: Fenster für die Darstellung der Netz-/Schutzdaten .....	107
Bild 46: Aufbereitung der Analyseergebnisse.....	108
Bild 47: Dreidimensionale Darstellung (Microsoft Excel-Beispiel).....	109
Bild 48: Fenster für Kurzschlussstrom und Zustands-Diagramme 3,7: Schutzeinrichtungen .....	110
Bild 49: Detail-Fenster mit Zustandsdiagramm, Strömen und Spannungen.....	111
Bild 50: Detail-Fenster mit Zeigerdiagrammen zu den Zustandsdiagrammen nach Bild 49 .....	111
Bild 51: Analyseoptionen im Prototypen .....	113
Bild 52: Auswahl von Schutzeinrichtungen.....	115
Bild 53: Analyseablauf.....	117
Bild 54: Kurzschlussstromberechnungsmodul .....	117
Bild 55: Zugriff auf die Nachbildungen in Matlab & Simulink.....	118