

Interaktives Visualisierungssystem mit automatischem Design für die Betriebsführung elektrischer Netze

Vom Fachbereich Elektrotechnik der
Gerhard-Mercator-Universität - Gesamthochschule Duisburg

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation

von

Wolfgang Kempinski

aus

Krefeld-Uerdingen

Referent: Prof. Dr.-Ing. D. Rumpel

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. W. Rasquin

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Januar 1999

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet „Elektrische Anlagen und Netze“ der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg.

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. D. Rumpel, dem damaligen Leiter des Fachgebietes, für die Anregung zu dieser Arbeit, die vielen fruchtbaren Diskussionen und die wertvollen Hinweise.

Prof. Dr.-Ing. W. Rasquin danke ich ganz herzlich für die Übernahme des Korreferates.

Bei allen wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Mitarbeitern des Fachgebietes möchte ich mich für die hervorragende Zusammenarbeit und das ausgesprochen angenehme Betriebsklima während meiner gesamten Zeit am Fachgebiet bedanken. Die Arbeit hat mir immer viel Freude gemacht.

Nürnberg, im Februar 1999

Wolfgang Kempinski

Inhaltsübersicht

Inhalt	7
Verzeichnisse der Abbildungen und Tabellen.....	13
1 Einleitung	17
2 Betriebsführung und Ergonomie	19
3 Bestehendes System	49
4 Konzept der neuen Visualisierung	69
5 Realisierung der neuen Visualisierung	83
6 Design der Übersichtsbilder	135
7 Handhabung des Netz-MMI.....	155
8 Resümee und Ausblick.....	173
Schrifttumsverzeichnis	175

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis.....	16
1 Einleitung	17
1.1 Ziel der Arbeit	17
1.2 Übersicht über die Arbeit	18
2 Betriebsführung und Ergonomie	18
2.1 Menschliche Auffassungsgaben	19
2.1.1 Räumliches Auflösungsvermögen	19
2.1.2 Farbwahrnehmung	20
2.1.3 Auffälligkeit	22
2.1.4 Gestaltgesetze	22
2.1.5 Zeitliches Auflösungsvermögen	24
2.1.6 Einfluß von Wartezeiten	24
2.1.7 Informationsaufnahme	24
2.1.8 Reaktionszeiten	25
2.1.9 Absolute Unterscheidungsleistungen	25
2.2 Aufbau elektrischer Netze	26
2.3 Betriebsführung der Netze	28
2.3.1 Aufgaben des Netzbetriebs	29
2.3.2 Organisation der Netzleitstellen	29
2.3.3 Anforderungen an das Bediensystem	30
2.4 Aufbau der Unterstationen	33
2.4.1 Primärtechnik	33
2.4.2 Sekundärtechnik	35
2.5 Bisherige Lösungen in der Darstellung	36
2.5.1 Feststehende Detailstufen	40
2.5.2 Nutzung von Weltbildern	41
2.5.3 Aufgabenbezogene Netzdarstellung	43
2.5.4 Fisheye Views	45
2.5.5 Darstellungsvarianten der Netzübersicht	45

3 Bestehendes System	48
3.1 Netzdatensprache GDL	49
3.1.1 Deskriptor	50
3.1.2 Spezieseteilungen	51
3.1.3 Quellform der Beschreibung	53
3.1.4 Quellform des Diktions	55
3.1.5 Quellform der Attributliste	56
3.1.6 Aufbau der GDL-Datenbank	57
3.2 Basiskomponenten des Trainingssimulators	58
3.2.1 Datenbankabfrage	59
3.2.2 Verriegelung	60
3.2.3 Schaltfolgen	61
3.3 Bestehende Komponenten der Visualisierung	63
3.3.1 Automatische Anlagenbildkonstruktion	64
3.3.2 Bestehendes Netz-MMI	65
4 Konzept der neuen Visualisierung	67
4.1 Aufgabenstellung und Grobkonzept	69
4.1.1 Bildhierarchie	69
4.1.2 Automatische Bilderstellung	71
4.1.3 Bildgestaltung	73
4.1.3.1 Übersichtsdarstellung	73
4.1.3.2 Detaillierte Anlagendarstellung	75
4.1.3.3 Knotenpunktdarstellung	76
4.2 Dynamische Expansion	77
4.3 Navigation im Bildsystem	79
4.4 Befehlseingabe	82
5 Realisierung der neuen Visualisierung	82
5.1 Assoziationsbezogene Topologieermittlung	83
5.1.1 Topologische Assoziationen	83
5.1.2 Verbindungen	84
5.2 Nachbildung mehrerer Leitstellen	85
5.3 Realisierung der Unterstationsdarstellung im Übersichtsbild	87
5.3.1 Symbole	87

6.1 Ermittlung der topologischen Daten	135
6.1.1 Ermittlung der Stations- und Anlagenkästen	136
6.1.2 Ermittlung der Verbindungen	137
6.1.3 Ermittlung der Sonderknoten	137
6.1.4 Symbole an Stations-, Anlagenkästen und Sonderknoten	138
6.1.5 Transformatoren	138
6.1.6 Knotenpunktdaten	138
6.2 Ermittlung der Bildpositionen	139
6.2.1 Vordefinierte Positionen der Stationen	140
6.3 Die graphische Bedienoberfläche	141
6.3.1 Start des Programms	141
6.3.2 Hauptfenster	142
6.3.3 Iconleiste	143
6.3.3.1 ENDE-Icon	143
6.3.3.2 Teilnetz-Icon	143
6.3.3.3 Optionen-Icon	144
6.3.3.4 Einstellungen-Icon	146
6.3.3.5 Bedienmodus-Feld	147
6.3.4 Bedienungen mit der Maus	147
6.3.5 Unterschiedliche Bedienmodi	148
6.3.5.1 Ursprung festlegen	148
6.3.5.2 Knickpunkt setzen	148
6.3.5.3 Knickpunkt löschen	149
6.3.5.4 Verschieben	149
6.3.5.5 Symbol positionieren	149
6.3.5.6 Symbol drehen	150
6.3.5.7 Graphiktext eingeben	150
6.3.5.8 Graphiktext löschen	150
6.3.6 Navigatorfenster	151
6.3.7 Interaktiver Programmablauf	151
6.3.8 Automatischer Programmlauf	153
7 Handhabung des Netz-MMI.....	154
7.1 Start des Programmsystems	155
7.1.1 Start des MMI-Servers	155
7.1.2 Start des MMI-Clients	155

7.2 Allgemeine Bedienoberfläche	156
7.2.1 Teilnetzauswahl	157
7.2.2 Spezielle Optionen	157
7.2.3 Anlagenauswahl	158
7.2.4 Bedienzeilenmodus	158
7.2.5 Vordefinierte Datenbankabfragen	159
7.2.6 Erstellen einer Fensterkopie	159
7.2.7 Aufruf von Schaltfolgen	160
7.2.8 Ein-/Ausblenden des Navigators	160
7.2.9 Fehlermeldungen	160
7.3 Übersichtsbild	160
7.3.1 Panning des Übersichtsbildes	161
7.3.2 Auswahl der Knotenpunktdarstellung	161
7.3.3 Auswahl eines Anlagenbildes	162
7.4 Anlagenbild	162
7.4.1 Panning des Anlagenbildes	162
7.4.2 Darstellung von Messwerten	162
7.4.3 Auswahl von Nachbaranlagen über Transformatoren/Leitungen	163
7.4.4 Rückkehr ins Übersichtsbild	163
7.5 Eingabe von Befehlen	163
7.5.1 Einzelbefehle mittels Bedienzeile	163
7.5.2 Einzelbefehle mittels Schaltfenster	164
7.5.3 Schaltfolgen	164
7.5.4 Aufzeichnung von Schaltbefehlen	165
7.6 Mauszeigersteuerung	165
7.6.1 Schließen eines geöffneten Stationskastens	166
7.6.2 Wechsel vom Anlagenbild zum Übersichtsbild	166
7.6.3 Schrittweises Panning	166
7.6.4 Arbeiten mit dem Schaltfenster	166
7.7 Optionsdatei MMI.OPT	166
7.7.1 Farbeinstellungen	167
7.7.2 Anwählbare Spezies	168
7.7.3 Generelle Ersetzung von Attributnamen	168
7.7.4 Namen der Sonderattribute	169
7.7.5 Tastenbeschriftungen	169

7.7.7 Vordefinierte Datenbankabfragen	171
7.8 Steuerkommandos in der Bedienzeile	172
8 Resümee und Ausblick.....	172
8.1 Resümee	173
8.2 Ausblick	174
Schriftumsverzeichnis	175

Abbildungsverzeichnis

Bild 2-1: Nutzung von Gestaltprinzipien (Quelle: [FOL-87])	23
Bild 2-2: Schematischer Aufbau eines Energieversorgungsnetzes	27
Bild 2-3: Typischer Aufbau einer Schaltanlage	34
Bild 2-4: Übersichtsdarstellung auf einem Mosaikwandbild	38
Bild 2-5: Feststehende Detailstufen Anlagenbild und Netzübersicht	40
Bild 2-6: Aufbau der Netzweltbilder (Quelle: [REI-96], [AUM-92])	42
Bild 2-7: Aufgabenbezogene Darstellung des Netzes (Quelle: [TIE-91])	44
Bild 2-8: Beispiel einer rein optischen Fisheye View	45
Bild 2-9: Unterschiedliche Stationssymbole	46
Bild 2-10: Prozentuale Auslastung von Transformatoren (Quelle: [COR-96])	47
Bild 2-11: Kiviatdiagramm für Knotenspannungen (Quelle: [STE-97])	47
Bild 2-12: Topologisch integrierte Messwertdarstellung (Quelle: [CHR-95])	48
Bild 3-1: Gekettete Schreibweise der GDL	50
Bild 3-2: Spezieseinteilung der GDL	51
Bild 3-3: Beispiel einer Speziesaufzählung	52
Bild 3-4: Beispiel der GDL-Beschreibung einer Station	54
Bild 3-5: Auszug aus dem Diktionar	56
Bild 3-6: Auszug aus der Attributliste	57
Bild 3-7: Bedienoberfläche des Schaltfolgenprogramms	63
Bild 3-8: Bestehendes Netz-MMI	66
Bild 4-1: Übersichtsbild (Prinzipdarstellung)	75
Bild 4-2: Anlagenbild (Prinzipdarstellung)	76
Bild 4-3: Knotenpunktbild (Prinzipdarstellung)	77
Bild 4-4: Vergleich der rechteckigen und der elliptischen Expansion	79
Bild 4-5: Navigationskonzept im Bildsystem	80
Bild 5-6: Beispiel für eine Steuerdatei der Teilnetzdefinitionen	87
Bild 5-7: Stationssymbole	88
Bild 5-8: Dynamische Markierungen des Stationssymbols	89
Bild 5-9: Öffnen einer Station mit mehreren Anlagen	91

Bild 5-10: Beispiele für Sonderknoten	93
Bild 5-11: Statische und dynamische Markierungen der Leitungen	94
Bild 5-12: Kreissegmente an der Anlage	98
Bild 5-13: Knotenpunktdarstellungen der Sammelschienen	100
Bild 5-14: Symbole der Anschlüsse	102
Bild 5-15: Feldknoten und Anschlüsse	103
Bild 5-16: Bestimmung der Feldreihenfolge	104
Bild 5-17: Knotenpunktdarstellung der Felder (1)	107
Bild 5-18: Knotenpunktdarstellung der Felder (2)	109
Bild 5-19: Knotenpunktdarstellung der Felder (3)	110
Bild 5-20: Allgemeine Meldungen bei der Knotenpunktdarstellung	112
Bild 5-21: Anwahl der Knotenpunktdarstellung einer Anlage	113
Bild 5-22: Übersichtsbild mit eingebetteten Knotenpunktdarstellungen	114
Bild 5-23: Netz-MMI mit Anlagenbild	115
Bild 5-24: Schaltfenster für Einzelbefehle	118
Bild 5-25: Anwahlbereiche der Gegenanlage	119
Bild 5-26: Elliptische Expansion des Übersichtsbildes (Prinzipdarstellung)	121
Bild 5-27: Übersichtsbild eines Transmissionsnetzes	123
Bild 5-28: Übersichtsbild mit geöffneten Knotenpunktdarstellungen	123
Bild 5-29: Schaltfenster eines Stufenschalters	126
Bild 5-30: Behandlung einer Schaltfolge	128
Bild 5-31: Schaltfenster für die Schaltaufzeichnung	130
Bild 5-32: Beispiel einer verknüpften Datenbankabfrage	132
Bild 5-33: Navigatorfenster	134
Bild 6-1: Steuerdatei der Topographieinformationen	140
Bild 6-2: Bedienoberfläche des Übersichtsbildeditors	142
Bild 6-3: Teilnetzmenü	143
Bild 6-4: Optionenmenü	144
Bild 6-5: Einstellungsmenü	146
Bild 6-6: Bedienmodusmenü	147
Bild 6-7: Übersichtsbildeditor mit topographisch angeordneten Stationen	152

Bild 6-8: Übersichtsbildeditor mit eingeblendeten Leitungszügen	153
Bild 6-9: Übersichtsbildeditor mit endgültigem Übersichtsbild	153
Bild 7-1: Bedienoberfläche des Netz-MMI	156
Bild 7-2: Teilnetzmenü	157
Bild 7-3: Menü der speziellen Optionen	157
Bild 7-4: Anlagenmenü	158
Bild 7-5: Menü der vorbereiteten Datenbankabfragen	159
Bild 7-6: Menü zur Einstellung der Hardcopy-Parameter	159

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Auffälligkeit von Signalen (Quelle: [CHA-92])	22
Tabelle 2-2: Anzahl unterscheidbarer Codestufen (Quelle: [GEI-90], [FOL-87])	26
Tabelle 2-3: Betriebsauslastung einer Netzleitstelle (Quelle: [TIE-91])	31
Tabelle 3-1: Hierarchieebenen der GDL	50
Tabelle 3-2: Mögliche Lokationsangaben bei der Datenbankabfrage	60
Tabelle 3-3: Vergleichsbedingungen für Attribute bei der Datenbankabfrage	60
Tabelle 5-1: Anschlüsse der topologischen Assoziationen	84
Tabelle 5-2: Typen von Assoziationen	84
Tabelle 5-3: Anschlusspunkte der Feldknoten der Knotenpunktdarstellung	101
Tabelle 5-4: Zuordnung der relativen Spezies zu möglichen Befehlsmodi	125
Tabelle 7-1: Farbindizes (Auswahl)	167
Tabelle 7-2: Steuerwörter zur Einstellung der Sonderattributnamen	169
Tabelle 7-3: Steuerwörter zur Einstellung der Tastenbeschriftung	170
Tabelle 7-4: Bedienzeilenkommandos	172