

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
Inhaltsverzeichnis	iii
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	2
2 Das Transportsystem MONAMOVE	5
2.1 Konzept von MONAMOVE	5
2.1.1 Überwachungssystem	6
2.1.2 Navigator	7
2.1.3 Pilot	8
2.1.4 Fahrzeuge	9
2.1.5 Weltmodell	9
2.1.6 Ergänzende Bemerkungen	10
2.2 Fahrerlose Transportsysteme	11
2.3 Vergleich: MONAMOVE – Fahrerlose Transportsysteme	12
2.4 Autonome mobile Roboter	13
2.5 Vergleich: MONAMOVE – Autonome mobile Roboter	14
2.6 Diskussion	18
3 Navigator und Pilot – Grundlegende Betrachtungen	19
3.1 Grenze zwischen Voraus- und Laufzeitplanung	19
3.1.1 Strikte hierarchische Planung	20
3.1.2 Überlappende hierarchische Planung	21
3.2 Forderungen an die Gesamtplanung	22
3.3 Navigator und Pilot in MONAMOVE	25

3.3.1	Grundlegende Betrachtung zur Einsatzumgebung	25
3.3.2	Konzepte für Navigatoren	26
3.3.3	Informationsfluß im Navigator	27
3.3.4	Konzepte für Piloten	29
3.3.5	Informationsfluß im Piloten	29
4	Bahnplanung des Navigators auf Basis eines geometrischen Modells	31
4.1	Literaturüberblick	33
4.1.1	Grundlegende Betrachtungen	33
4.1.2	Der Konfigurationsraum	34
4.1.3	Verschiedene Planungsansätze	35
4.1.3.1	Wegenetz	35
4.1.3.2	Zerlegung	36
4.1.3.3	Potentialfeld	37
4.1.4	Bahnplanung im $\mathcal{W}$ - und im $\mathcal{C}$ -Raum	39
4.1.4.1	Planen im $\mathcal{W}$ -Raum	39
4.1.4.2	Planen im $\mathcal{C}$ -Raum	40
4.1.5	Integration der zusätzlichen Forderungen in die Bahnplanung . . .	41
4.2	Konzept des Navigators	45
4.3	Weltmodell	47
4.3.1	Zerlegung mit einem Hindernis	47
4.3.2	Zerlegung mit mehreren Hindernissen	51
4.3.3	Hinzufügen und Löschen von Hindernissen	53
4.4	Fahrschlauchsuche	54
4.4.1	Aufbau des initialen Suchgraphen	56
4.4.2	Verwendetes Suchverfahren	56
4.4.3	Erweiterung des Graphen	58
4.4.4	Ergänzende Bemerkungen	61
4.5	Rechtsorientierung	61
4.5.1	Wege in überlappungsfreien Fahrschläuchen	63
4.5.1.1	Konstruktion der rechtsorientierten Punkte	63
4.5.1.2	Berechnung des rechtsorientierten Weges	65
4.5.1.3	Erweiterung des Fahrschlauchs	68

4.5.1.4	Bestimmung von blockierten Teilfahrerschläuchen	70
4.5.2	Wege in sich überlappenden Fahrerschläuchen	72
4.5.2.1	Berechnung des äußeren Fahrerschlauchrandes	72
4.5.2.2	Konstruktion der rechtsorientierten Punkte	73
4.5.2.3	Berechnung des rechtsorientierten Weges	74
4.5.3	Ergänzende Bemerkungen	76
4.6	Stetige Krümmungsänderung	77
4.6.1	Basiskurve	77
4.6.2	Kombination der Basiskurven	79
4.6.3	Auswahl einer Kurve	82
4.6.4	Kurven beim Start und beim Ziel	84
4.6.5	Kollisionstest für die Kurven	84
4.6.5.1	Tangentiale Fahrweise	85
4.6.5.2	Gestaucht tangentielle Fahrweise	86
4.6.6	Sperrung von Teilfahrerschläuchen	88
4.6.7	Ergänzende Bemerkungen	88
4.7	Maximales Geschwindigkeitsprofil	88
4.8	Diskussion	91
5	Bahnplanung des Navigators auf Basis eines statistischen Modells	96
5.1	Literaturüberblick	97
5.2	Integration der Belegungsstatistik in die Bahnplanung	100
5.2.1	Weltmodell	100
5.2.2	Erzeugung des Weltmodells	101
5.2.3	Berechnung der Potentialfelder	101
5.2.4	Beispiel für ein Potentialfeld	104
5.3	Integration des statistischen Flusses in die Bahnplanung	105
5.3.1	Weltmodell	105
5.3.2	Erzeugung des Weltmodells	105
5.3.3	Berechnung der Potentialfelder	106
5.3.4	Beispiel für ein Potentialfeld	108
5.4	Beispiel für die auf statistischen Daten basierende Bahnplanung	110
5.4.1	Weltmodell ohne statische und dynamische Hindernisse	110

5.4.2	Weltmodell mit statischen und dynamischen Hindernisse	112
5.4.2.1	Beschreibung des Weltmodells	113
5.4.2.2	Berechnete Potentialfelder	119
5.4.2.3	Wege innerhalb der berechnete Potentialfelder	126
5.5	Nachbearbeitung des gefundenen Weges	130
5.6	Diskussion	131
6	Mehrfahrzeugnavigatoren	133
6.1	Literaturüberblick	133
6.1.1	Integration der Nebenbedingungen in den Mehrfahrzeugnavigator	136
6.2	Koordination auf Basis von geometrischen Kreuzungen	138
6.2.1	Weltmodell	139
6.2.2	Repräsentation einer Bahn	140
6.2.3	Berechnung der Kreuzungsbereiche	141
6.2.3.1	Verwaltungszonen und Synchronisationspunkte	144
6.2.3.2	Vereinigung von Kreuzungen	146
6.2.3.3	Beispiel für das Hinzufügen mehrerer Bahnen	146
6.2.3.4	Integration von stehenden Fahrzeugen in das Weltmodell	147
6.2.4	Grenzen der Mehrfahrzeugkoordination	150
6.2.4.1	Koordination durch zusätzliche Nebenbedingungen . . .	150
6.2.4.2	Koordination durch Heuristiken	151
6.2.5	Schnittstelle zum Piloten	153
6.2.6	Diskussion	154
6.3	Mehrfahrzeugnavigator ohne Koordination	155
7	Konzepte für verschiedene Piloten	157
7.1	Literaturüberblick	157
7.2	Basismerkmale für alle Piloten	159
7.2.1	Weltmodell	159
7.2.2	Schnittstelle zum Navigator	160
7.2.3	Schnittstelle zum Fahrzeug	160
7.3	Bahntreuer Pilot	161
7.4	Pilot mit eigenständiger Wegplanung	163

7.4.1	Umplanen mit teilweise dynamischen Hindernissen	164
7.4.2	Umplanen mit vollständig dynamischen Hindernissen	165
7.4.3	Erweiterungen	167
7.5	Mehrfahrzeugpilot auf Basis vorgegebener Kreuzungen	168
7.5.1	Lokale Piloten	168
7.5.2	Globaler Pilot	169
7.6	Mehrfahrzeugpilot mit eigenständiger Mehrfahrzeugkoordination	170
7.6.1	Mehrfahrzeugkoordination mit teilweise dynamischen Hindernissen	171
7.6.2	Mehrfahrzeugkoordination mit vollständig dynamischen Hindernissen	171
7.7	Ergänzende Bemerkungen	172
8	Zusammenfassung und Ausblick	175
A	Algorithmen	180
A.1	Zerlegung eines einfachen Polygons in konvexe Teilpolygone	180
A.2	A^* -Algorithmus	182
A.2.1	Anwendungsbeispiel für den A^* -Algorithmus	185
A.3	Floyd Algorithmus	188
A.3.1	Anwendungsbeispiel für den Floyd Algorithmus	189
A.3.2	Erzeugung von rectorientierten Wegen mit dem Floyd Algorithmus	189
	Literaturverzeichnis	193
	Eigene Veröffentlichungen	203
	Stichwortverzeichnis	204