

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Vorbemerkungen	1
1.2	Historischer Rückblick.....	3
1.3	Definition des Begriffs "Roboter".....	4
1.4	Bereiche für Rationalisierungsansätze	5
1.5	Zielsetzung und Begründung der Arbeit	7
2	Stand von Forschung und Entwicklung	9
2.1	Einsatzbereiche vorhandener Robotersysteme.....	9
2.2	Mechanisierung und Automatisierung bisheriger Verfahren.....	9
2.2.1	Rationalisierung mit Hilfe von Baustellengeräten.....	9
2.2.2	Rationalisierung durch Vorfertigung.....	11
2.3	Einsatz von Robotern.....	12
2.3.1	Mauerwerksroboter.....	12
2.3.2	Sonstige Entwicklungen	14
2.4	Die vollautomatische Baustelle	16
2.5	Zusammenfassung.....	18
3	Eignungsuntersuchung der vorhandenen Schalverfahren	19
3.1	Grundlagen	19
3.2	Schalungen für vertikale Tragglieder	20
3.2.1	Holzträgerschalungen für Wände und Stützen	21
3.2.2	Rahmenschalungen für Wände und Stützen	21
3.2.3	Sonderschalungen für Stützen.....	23
3.3	Schalungen für horizontale Tragglieder	23
3.3.1	Trägerschalung.....	24

3.3.2	Paneelschalungen	25
3.3.3	Deckentische.....	26
3.3.4	Unterzüge	26
3.4	Sonstige Schalungen	27
3.5	Grundsätzliche Überlegungen zum Einsatzbereich eines Roboters. 27	
3.5.1	Eigenschaften eines Roboters	27
3.5.1.1	Eigengewicht.....	27
3.5.1.2	Operationsreichweite.....	29
3.5.1.3	Begrenzung des Einzelteilgewichts	29
3.5.2	Rationalisierungsansätze bei Wand- und Decken- schalungen	30
3.5.2.1	Wandschalungen	31
3.5.2.2	Deckenschalungen.....	33
3.5.2.3	Marktbedeutung	34
3.5.2.4	Aufwandswerte	35
3.5.2.5	Automatisierungsansätze	36
3.6	Zusammenfassung.....	38
4	Analyse des Schalprozesses von Träger-Deckenschalungen	40
4.1	Aufteilung des Schalvorgangs in einzelne Arbeitsschritte	40
4.1.1	Aufstellen von Stützen und Jochträgern.....	41
4.1.2	Verlegen der Querträger.....	43
4.1.3	Schalplattenmontage	44
4.1.3.1	Verlegen	44
4.1.3.2	Zuschneiden von Paßbereichen.....	45
4.1.3.3	Auftragen von Trennmitteln.....	45
4.1.4	Sonstige Arbeiten (Randabschalung, Nivellement)	46
4.2	Schalungsplanung und -ablauf bei einfachen rechteckigen Deckenflächen	47
4.2.1	Erstellen des Schalungsplans	48
4.2.1.1	Stand sicherheitsnachweis	48
4.2.1.2	Geometrische Einflüsse	49
4.2.2	Montagereihenfolge	52
4.2.2.1	Jochträger und Stützen	52

4.2.2.2	Querträger und Schalplatten	52
5	Aufbau und Arbeitsweise eines Schalungsroboters.....	54
5.1	Teilsysteme eines Roboters.....	54
5.2	Äußere Randbedingungen	56
5.2.1	Temperaturen	57
5.2.2	Niederschläge	58
5.2.3	Luftreinheit	58
5.3	Der Roboterunterwagen oder Shuttle	58
5.3.1	Materialversorgung	59
5.3.1.1	Transportverfahren	59
5.3.1.2	Transportmenge	60
5.3.2	Mobilität	62
5.3.2.1	Beweglichkeit	63
5.3.2.2	Fahrwerk	64
5.3.3	Gewicht	67
5.3.4	Zuschneiden von Paßbereichen	68
5.4	Handhabungsgerät	70
5.4.1	Kinematik	71
5.4.1.1	Anforderungen an die Kinematik	72
5.4.1.2	Kinematik des Auslegers	74
5.4.1.3	Exakte Bestimmung der Auslegerlängen	75
5.4.1.4	Erforderliche Rotationswinkel von Haupt- und Nebenachsen	78
5.4.2	Der Endeffektor	81
5.4.2.1	Vakuumgreifer für Schalplatten	82
5.4.2.2	Mechanischer Greifer für Träger	83
5.4.2.3	Sprühgerät zum Trennmittelauftrag	86
5.4.2.4	Aufbau des Endeffektor	87
5.5	Antriebssystem	88
5.5.1	Energieversorgung	88
5.5.2	Antriebsart	90
5.6	Leittechnik	93

5.6.1	Genauigkeitsanforderungen	93
5.6.1.1	Querträger	94
5.6.1.2	Schalplatten	95
5.6.2	Positionsbestimmung	96
5.6.3	Fahrbewegung	97
5.6.4	Positioniergenauigkeit des Greifers	97
5.6.5	Schalplattenzuschnitt	98
5.6.6	Steuerung	99
5.6.6.1	Steuerungsart	99
5.6.6.2	Programmierung	100
6	Automatisation der Schalungsplanung	102
6.1	Bewegungsmöglichkeiten des Roboters	102
6.1.1	Einschalen der ersten Feldreihe	102
6.1.2	Einschalen der folgenden Feldreihen	104
6.1.3	Einschalen beliebiger polygonal begrenzter Flächen	106
6.1.3.1	Orthogonale Begrenzungslinien	106
6.1.3.2	Beliebige Begrenzungslinien	107
6.2	Algorithmus zur Ermittlung des Schalungsaufbaus	108
6.2.1	Berücksichtigung der geometrischen Kenngrößen	108
6.2.2	Ermittlung der Schalplattenverlegungen	110
6.2.2.1	Testen von Polygoninnenpunkten	110
6.2.2.2	Flutfüllen der Polygonfläche	111
6.2.2.3	Beschleunigter Test für regelmäßige Rechteckflächen	112
6.2.3	Festlegung des Trägerrosts	113
6.2.3.1	Festlegung der Jochträgerachsen	114
6.2.3.2	Verlegung der einzelnen Jochträger	115
6.2.3.3	Verlegung der Querträger	115
6.2.3.4	Sonderfälle	115
6.3	Fahrwegoptimierung	116
6.3.1	Hauptbewegungsrichtungen und Verlegepositionen	116
6.3.2	Fahrweg bei rechteckigen Deckenflächen	118
6.4	Paßbereiche	123

6.4.1	Paßbereiche in Plattenlängsrichtung	123
6.4.2	Paßbereiche in Plattenquerrichtung.....	125
6.4.3	Nichtorthogonale Paßbereiche.....	126
6.4.4	Paßbereich mit mehreren Schnittkanten.....	126
7	Wirtschaftlichkeitsanalyse	128
7.1	Ermittlung der Vergleichsparameter	128
7.1.1	Aufwandswerte zum manuellen Schalen.....	129
7.1.2	Schalungsleistung des Schalungsroboters	132
7.1.2.1	Ermittlung der Taktzeit.....	132
7.1.2.2	Ermittlung der monatlichen Gesamtleistung.....	134
7.1.3	Kosten eines Schalungsroboters	135
7.1.3.1	Investitionskosten.....	135
7.1.3.2	Einmalige Kosten je Einsatz	136
7.1.3.3	Betriebskosten.....	136
7.2	Kostenvergleich von manuellem und automatischem Einschalen ..	137
7.3	Kosten-Nutzungsverhältnis eines langsamen Schalungsroboters ...	140
7.4	Bewertung der Vergleichsrechnung.....	141
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	143
	Literaturverzeichnis	147