

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einführung in die Thematik</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangspunkt und Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Konventioneller und modellgestützter Planungsprozess im Infrastrukturbau</b>	<b>5</b>
2.1 Status quo in der Infrastrukturplanung . . . . .	5
2.1.1 Prozess zur Planung einer Infrastrukturmaßnahme im Straßen- und Schienenbau . . . . .	6
2.1.1.1 Prozess der Vermessung . . . . .	7
2.1.1.2 Prozess der Trassenplanung . . . . .	8
2.1.1.3 Prozesse der Baugrunduntersuchung . . . . .	11
2.1.1.4 Prozess der Ingenieurbauwerksplanung . . . . .	12
2.1.2 Beurteilung des Planungsprozesses . . . . .	14
2.2 Verwandte Arbeiten - BIM im Hochbau . . . . .	17
2.2.1 Beurteilung der Einsatzfähigkeit von BIM im Infrastruktursektor . . . . .	18
2.3 Planungsgrundlagen zur Modellierung eines parametrisch-assoziativen Infrastrukturmöglichkeitenmodells . . . . .	21
2.3.1 Datenschnittstellen im Infrastrukturbereich . . . . .	21
2.3.2 Erforderliche Anpassungen im Planungsprozess der Baugrunduntersuchung, der Trassenplanung und der geomechanischen Analyse . . . . .	23
2.3.2.1 Modellierung eines 3D-Baugrundinformationsmodells – Ansätze, Methoden und digitale Werkzeuge . . . . .	24
2.3.2.2 Baugrund-spezifische Erweiterung des Trassenplanungsprozesses . . . . .	32
2.3.2.3 Trassen-baugrund-spezifischer Integrationsansatz zur Umsetzung eines geomechanischen Analyseprozesses . . . . .	34
2.4 Zusammenfassung . . . . .	37
<b>3 Grundlagen der geometrischen Modellierung</b>	<b>39</b>
3.1 Definition verschiedener geometrischer 2D-/3D-Grundprimitive . . . . .	40
3.1.1 Grundprimitive in $\mathbb{R}^2$ . . . . .	40
3.1.1.1 Punkt . . . . .	40
3.1.1.2 Kurve . . . . .	40

3.1.1.3	Eignung von B-Spline-Kurven zur Konstruktion eines 3D-Trassenverlaufs . . . . .	47
3.1.2	Grundprimitive in $\mathbb{R}^3$ . . . . .	48
3.2	Geometrische Modellrepräsentationen . . . . .	49
3.2.1	Kantenmodell . . . . .	49
3.2.2	Flächenmodell . . . . .	50
3.2.3	Volumenmodell . . . . .	51
3.2.3.1	Definition eines Boundary-Representation-Modells (BRep) . . . . .	51
3.2.3.2	Definition eines Constructiv-Solid-Geometry-Modells (CSG) . . . . .	54
3.2.3.3	Definition eines Sweep-Modells . . . . .	55
3.2.4	Vor- und Nachteile der verschiedenen Repräsentationsformen . . . . .	56
3.3	Zusammenfassung . . . . .	56
<b>4</b>	<b>Parametrisch-assoziative Modellierungsansätze</b> . . . . .	<b>59</b>
4.1	Grundlagen zur assoziativen Modellkopplung . . . . .	60
4.1.1	Historien-freie Modellierung . . . . .	60
4.1.2	Historienbasierte Modellierung . . . . .	60
4.1.3	Ansätze zur Umsetzung einer assoziativen Kopplung . . . . .	62
4.2	Parameterdefinition . . . . .	65
4.3	Constraints . . . . .	67
4.3.1	Constraints in $\mathbb{R}^2$ . . . . .	71
4.3.1.1	Logische Constraints . . . . .	72
4.3.1.2	Dimensionale Constraints . . . . .	76
4.3.1.3	Algebraische Constraints . . . . .	78
4.3.2	Constraints in $\mathbb{R}^3$ . . . . .	79
4.3.2.1	Indirekte 3D-Constraints . . . . .	80
4.3.2.2	Direkte 3D-Constraints . . . . .	80
4.3.3	Parametrisierungszustand eines Modells . . . . .	82
4.3.3.1	Beispiel eines parametrisch voll-bestimmten Modells in $\mathbb{R}^2$ . . . . .	84
4.4	Methode der direkten Freiheitsgradanalyse . . . . .	86
4.4.1	Freiheitsgrade der geometrischen Primitive in $\mathbb{R}^2$ . . . . .	86
4.4.2	Analyse der reduzierten Freiheitsgrade in $\mathbb{R}^2$ . . . . .	89
4.4.3	Direkte Freiheitsgradanalyse . . . . .	92
4.4.4	Beispiele der direkten Freiheitsgradanalyse . . . . .	93
4.5	Methoden der constraint-basierten Modellierung . . . . .	96
4.5.1	Prozedural-parametrischer Modellierungsansatz . . . . .	97
4.5.2	Variationaler Modellierungsansatz . . . . .	99
4.5.3	Hybrides Model . . . . .	103
4.6	Constraint-Solver . . . . .	105
4.6.1	Algebraischer Ansatz . . . . .	107
4.6.2	Regel-basierter Ansatz . . . . .	109
4.6.3	Theorem-proving Ansatz . . . . .	112
4.6.4	Grafen-basierter Ansatz . . . . .	114
4.6.4.1	Analyse der Freiheitsgrad . . . . .	117
4.6.4.2	Ansatz der Constraint-Propagation . . . . .	122
4.6.4.3	Konstruktiver Ansatz . . . . .	124

4.6.5	Analyse der bestehenden Verfahren . . . . .	133
4.7	Zusammenfassung . . . . .	134
<b>5</b>	<b>Grundlagen zur Definition eines infrastruktur-spezifischen Modellierungsleitfadens</b>	<b>135</b>
5.1	Allgemeine Modellierungsstrategien . . . . .	136
5.1.1	Produkt-spezifische Modellierungsstrategien . . . . .	136
5.1.2	Produkt-neutrale Modellierungsstrategien . . . . .	137
5.2	Aufbau einer infrastruktur-spezifischen Modellstruktur . . . . .	141
5.2.1	Steuerungsebene . . . . .	142
5.2.2	Baugruppenebene . . . . .	143
5.2.3	Bauteilebene . . . . .	143
5.2.4	Teileebene . . . . .	143
5.3	Automatisierung von Konstruktionsprozessen . . . . .	144
5.3.1	Komplexität von Konstruktionsprozessen . . . . .	144
5.3.2	Automatisierungsansätze . . . . .	145
5.3.3	Softwaretechnische Konzepte . . . . .	147
5.3.3.1	Systemunabhängige Konstruktionssystem . . . . .	147
5.3.3.2	Systemgebundene Konstruktionssystem . . . . .	148
5.3.4	Beurteilung der Automatisierungsansätze . . . . .	151
5.4	Zusammenfassung . . . . .	151
<b>6</b>	<b>Konzepte zur Umsetzung des parametrisch-assoziativen Infrastrukturinformationsmodells</b>	<b>153</b>
6.1	Komponenten des PIM-Modells . . . . .	153
6.2	Konzepte zur Modellierung eines Infrastrukturmodells . . . . .	156
6.2.1	Allgemeingültige Modellierungskomponenten . . . . .	156
6.2.2	Konzept zur Modellierung des 3D-Trassen-Baugrund-Modells . . . . .	160
6.2.2.1	Ausführliche Beschreibung des automatisierten 3D-Trassen-Baugrund Modellierungskonzeptes . . . . .	162
6.2.2.2	Fazit des Automatisierungsansatzes . . . . .	173
6.2.3	Konzept zur Modellierung erdstabilisierender 3D-Bauwerks- und Baugrubenmodelle . . . . .	173
6.2.4	Konzept zur Modellierung des 3D-Brückenmodells . . . . .	176
6.2.4.1	Ausführliche Beschreibung des brücken-spezifischen Modellierungskonzeptes . . . . .	177
6.3	Zusammenfassung . . . . .	190
<b>7</b>	<b>Anwendungsbeispiele aus der Praxis</b>	<b>193</b>
7.1	Validierung des infrastruktur-spezifischen Modellierungsleitfadens am Beispiel einer Straßentrasse . . . . .	193
7.1.1	Konzept zur automatisierten 3D-Trassen-Baugrundmodellierung . . . . .	194
7.1.2	Konzept zur geomechanischen Profilanalyse . . . . .	198
7.1.3	Konzept zur 3D-Brückenbauwerksmodellierung . . . . .	199
7.2	Validierung der Methode zur direkten Analyse der Freiheitsgrade am Beispiel eines Rettungsschachtes . . . . .	208

7.2.1 Konzept der direkten Freiheitsgradanalyse . . . . .	208
7.3 Zusammenfassung . . . . .	213
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>215</b>
8.1 Zusammenfassung der Arbeit . . . . .	215
8.2 Ausblick . . . . .	217
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>219</b>
<b>A Anhang</b>	<b>241</b>