

fml · Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik · Technische Universität München
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner

Frank Schröder · Willibald A. Günthner

Automatisierte und datenbankgestützte Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkranen



Abschlußbericht

Automatisierte und datenbankgestützte Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkränen

Dieses Vorhaben (Projekt-Nr. 11 521 N) ist aus Mitteln des Bundesministeriums für
Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
„Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag der deutschen
Gesellschaft für Logistik e.V., Dortmund, durchgeführt worden.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner
Dipl.-Ing. Frank Schröder

fml • Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15
85758 Garching bei München

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problemstellung und Zielsetzung	5
2.1	Problemstellung	5
2.2	Stand der Technik	8
2.3	Zielsetzung	10
3	Grundlagen der Kranberechnung	13
3.1	Konstruktion	13
3.1.1	Konstruktionsphasen und -arten	14
3.1.2	Berechnungen im Konstruktionsprozeß	15
3.1.3	Konstruktionsprinzip	16
3.2	Berechnung	17
3.2.1	Besonderheiten	17
3.2.2	Normen und Nachweise	18
3.2.3	Lastannahmen	21
3.2.4	Klassifizierung	24
4	Datenbankgrundlagen	27
4.1	Datenbanksysteme	27
4.1.1	Motivation	28
4.1.2	Datenabstraktion und -unabhängigkeit	29
4.1.3	Datenmodelle	31
4.1.4	Modelle des konzeptuellen Entwurfs	32
4.1.5	Logische Datenmodelle	33

4.2	Grundlagen der Datenmodellierung	34
4.2.1	Phasen des Datenbankentwurfs	35
4.2.2	Das Entity-Relationship-Modell	36
4.2.3	Charakteristika von Beziehungstypen	37
4.2.4	Charakteristika von Entitytypen	39
4.3	Relationales Datenbankschema	40
4.3.1	Schema-Definition	40
4.3.2	Umsetzung des konzeptuellen Schemas	41
4.3.3	Schema-Verfeinerung	42
4.3.4	Strukturelle Integritätsregeln	44
5	Automatisierte Berechnung	47
5.1	Grundlagen der Automatisierung	47
5.1.1	Notwendigkeit	48
5.1.2	Berechnungsprozeß	49
5.1.3	Entwicklungsmöglichkeiten	51
5.2	Prozeßschritt: Modellierung	52
5.2.1	Generierung der Bauteile	53
5.2.2	Montage der Baugruppen	59
5.2.3	Definition der Ausrichtungszustände	62
5.2.4	Prototypenkonzept	74
5.2.5	Definition der Lasten	76
5.3	Prozeßschritt: Berechnung	78
5.3.1	Modellvorbereitung	79
5.3.2	Lasttypen und Zeitfunktionen	82
5.3.3	Berechnungssysteme	84
5.3.4	Ergebnisverarbeitung	85
5.4	Prozeßschritt: Auswertung	87
5.4.1	Hierarchiebezogene Auswertung	87
5.4.2	Nachweisführung und Optimierung	90
5.4.3	Visualisierung	92
5.5	Zusammenfassung	94

6	Datenbankgestützte Berechnung	95
6.1	Definition von Datenbereichen	95
6.1.1	Datenbereich Bauteil	96
6.1.2	Datenbereich Baugruppe	98
6.1.3	Datenbereich Ausrichtungszustand	99
6.1.4	Datenbereich Last und Berechnung	101
6.2	Entityklassen	103
6.2.1	Prototypenentity	103
6.2.2	Wertentity	107
6.2.3	Katalogentity	113
6.2.4	Verwendungsenity	116
6.3	ER-Modell der Berechnung	118
6.3.1	ER-Modell Bauteil	119
6.3.2	ER-Modell Baugruppe	121
6.3.3	ER-Modell Ausrichtungszustand	123
6.3.4	ER-Modell Last und Berechnung	125
7	Umsetzung in ein Programmsystem	129
7.1	Graphische Benutzeroberfläche	130
7.1.1	Navigationsdialog	131
7.1.2	Steuer- und Eigenschaftsdialoge	133
7.1.3	Besondere Funktionalitäten	135
7.2	Implementierungskonzept	137
7.2.1	Systemarchitektur	138
7.2.2	Benutzeroberfläche	138
7.2.3	Module	140
7.3	Beispielhafte Anwendung	141
7.3.1	Systembeschreibung	141
7.3.2	Prototypenbildung	142
7.3.3	Abbildung eines Kransystems	149
8	Zusammenfassung	153
	Literatur	155

Abbildungsverzeichnis

1.1	Einsatz eines Gittermast-Fahrzeugkrans	2
1.2	Baugruppen eines Gittermast-Fahrzeugkrans	3
2.1	Rüstzustände eines Gittermast-Fahrzeugkrans	6
2.2	Schematische Darstellung einer Traglasttabelle	7
2.3	Softwarestruktur in der Berechnung und Entwicklung	9
2.4	Wechselwirkungen mit anderen Unternehmensbereichen	12
3.1	Lebensphasen eines Produkts	13
3.2	Konstruktionsarten	14
3.3	Berechnungen im Konstruktionsprozeß	15
3.4	Baukastensystem eines Gittermast-Fahrzeugkrans	16
3.5	Koordinaten und Verschiebungsgrößen beim Knicken	20
3.6	Beanspruchung des Tragwerks durch Biegeschwingungen	23
4.1	Abstraktionsebenen eines Datenbanksystems	30
4.2	Übersicht der Datenmodellierung	32
4.3	Phasen des Datenbankentwurfs	35
4.4	Grafische Darstellung eines ER-Modells	36
4.5	Funktionalität einer binären Beziehung	38
4.6	Schema-Definition einer Relation	40
4.7	Abbildung einer 1:N-Beziehungsmenge	43
4.8	Abbildung einer N:M-Beziehungsmenge	43
4.9	Abbildung einer identifizierenden Beziehung	44
4.10	Gewährleistung der referentiellen Integrität	46
5.1	Variationen der Auslegerstellungen und -längen eines Krans	48

5.2	Traglastkurven verschiedener Krankonfigurationen	49
5.3	Anforderungen an die Berechnung von Fahrzeugkranen	50
5.4	Phasen einer Fahrzeugkranberechnung	50
5.5	Entwicklung des Zeitaufwands der Berechnungsphasen	51
5.6	Einzelschritte der Modellierung	52
5.7	Ebenen der Modellgenerierung	53
5.8	Verknüpfungen der Modelltypen	55
5.9	Anschlußmodellierung eines Bauteils	57
5.10	Eigenschaften eines Bauteilanschlusses	58
5.11	Formen von Anschlüssen	58
5.12	Montage der Bauteile zu Baugruppen	59
5.13	Bauteilorientierung bei der Baugruppenmontage	60
5.14	Definition von Baugruppenanschlüssen	61
5.15	Schritte zur Erstellung eines Ausrichtungszustands	62
5.16	Referenzierung der Baugruppen bei der Ausrichtung	63
5.17	Ausrichtung einer Baugruppe durch A-Gruppe	65
5.18	Ausrichtung einer Baugruppe über eine L-Gruppe	66
5.19	Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer W-Gruppe	67
5.20	Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer Z-Gruppe	68
5.21	Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer P-Gruppe	69
5.22	Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer F-Gruppe	70
5.23	Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer D-Gruppe	71
5.24	Mehrstufige Ausrichtung mit Hilfe von Superbaugruppen	72
5.25	Prototypenkonzept der Hierarchieebenen	74
5.26	Funktionsweise der Prototypen	75
5.27	Kombination der Lasttypen und Lastfälle zu Gruppen	78
5.28	Einzelschritte der Berechnung	79
5.29	Vorbereitung der Modelldaten	80
5.30	Zeitfunktionen für die Hub- und Eigenlast	83
5.31	Struktur der Berechnungssysteme	85
5.32	Bereichsaufteilung für die Auswertung	87
5.33	Diagramm für die Verformung unter Last	93
5.34	Auslastungsgrade eines Bauteils	93

6.1	Einteilung der Berechnungsdaten in Bereiche	96
6.2	ER-Modell des Datenbereichs Bauteil	120
6.3	ER-Modell des Datenbereichs Baugruppe	122
6.4	ER-Modell des Datenbereichs Ausrichtungszustand	124
6.5	ER-Modell des Datenbereichs Last und Berechnung	126
7.1	Aufbau und Funktion des Navigationsdialogs	132
7.2	Verzweigung in die Steuer- und Eigenschaftsdialoge	133
7.3	Architektur der Steuer- und Eigenschaftsdialoge	134
7.4	Importieren und Exportieren von Einzelstabmodellen	136
7.5	Implementierung des Programmsystems	137
7.6	Architektur des Programmsystems	138
7.7	Verwendungsmatrix der Dialogmasken	139
7.8	Beschreibung des exemplarischen Kransystems	141
7.9	Bildung von Prototypen	142
7.10	Anschlüsse des Bauteilprototypen Fußstück	144
7.11	Anschlüsse des Bauteilprototypen Oberwagen	145
7.12	Anschlüsse des Baugruppenprototypen Ausleger	146
7.13	Parameter und Seile des Ausrichtungszustandsprototypen	149
7.14	Anwendung der Prototypen zur Modellierung	150

Tabellenverzeichnis

3.1	Nachweise und Normen für Fahrzeugkrane	18
3.2	Einteilung der auf ein Tragwerk wirkenden Lasten	21
3.3	Teilsicherheitsbeiwerte γ_F	22
3.4	Hublastbeiwerte ψ für die Hubklassen H1, H2	22
3.5	Berechnungsmethoden und Nachweise	25
5.1	Attribute der Modelltypen	54
5.2	Attributklassen des Basismodells	55
5.3	Methoden zur Ausrichtung von Baugruppen	64
5.4	Vordefinierte Informationen der Prototypen	76
5.5	Aufteilung der Lastannahmen in Lasttypen	77
5.6	Daten der Berechnungsmodelle	81
5.7	Definition des Last- und Bewegungszustands	82
5.8	Berechnete und gespeicherte Berechnungsergebnisse	86
5.9	Methoden für eine hierarchiebezogene Auswertung	88
6.1	Informationen für den Datenbereich Bauteil	97
6.2	Informationen für den Datenbereich Baugruppe	98
6.3	Informationen für den Datenbereich Ausrichtungszustand	100
6.4	Informationen für den Datenbereich Last und Berechnung	102
6.5	Prototypenentities für den Datenbereich Bauteil	104
6.6	Prototypenentities für den Datenbereich Baugruppe	105
6.7	Prototypenentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand	106
6.8	Wertentities für den Datenbereich Bauteil	108
6.9	Wertentities für den Datenbereich Baugruppe	110
6.10	Wertentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand	111

6.11	Wertentities für den Datenbereich Last und Berechnung	112
6.12	Katalogentities für den Datenbereich Bauteil	114
6.13	Katalogentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand	115
6.14	Katalogentities für den Datenbereich Last und Berechnung	115
6.15	Verwendungsentities für den Datenbereich Bauteil	117
6.16	Verwendungsentities für den Datenbereich Baugruppe	117
6.17	Verwendungsentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand	117
6.18	Verwendungsentities für den Datenbereich Last und Berechnung	118
7.1	Interne und externe Module	140
7.2	Identifikationsdaten der Bauteilprototypen	143
7.3	Anschlußdaten des Bauteilprototypen Fußstück	143
7.4	Anschlußdaten des Bauteilprototypen Oberwagen	144
7.5	Anschlußdaten des Baugruppenprototypen Ausleger	146
7.6	Transformationsdaten des Ausrichtungszustandsprototypen	147
7.7	Freie Parameter des Ausrichtungszustandsprototypen	148
7.8	Verlauf des Seilprototypen Hubseil	148
7.9	Exemplarische Parameterbelegung	151

Kapitel 1

Einleitung

Heute werden Krane nach ihrer Bauart klassifiziert [DIN 15001, ISO 4306 T2]. Hierbei ist die Gruppe der Fahrzeugkrane hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten besonders flexibel. Zu ihr gehören Raupen-, Mobil-, Auto- und Schienenkrane. Sie unterscheiden sich zum einen nach der Gestaltung des Fahrzeugs und zum anderen nach den Typen der möglichen Ausleger. In der Praxis sind Raupen-, Mobil- und Autokrane am weitesten verbreitet. Sie können Ortswechsel mit eigenen Antrieben vollziehen und lassen sich mit vielfältigen Auslegervarianten betreiben.

Mobilkrane zeichnen sich durch ihre große Mobilität auf der Baustelle aus. Um einen schnellen und einfachen Wechsel des Einsatzortes zu ermöglichen gibt es auch Mobilkrane, die zum Straßenverkehr zugelassen sind. Für die Dauer des Einsatzes sind sie auf eine zusätzliche Abstützung angewiesen und somit nur stationär einsetzbar. Im Gegensatz dazu kann ein mobiler Raupenkran ohne zusätzliche Abstützung auf der Baustelle unter Last verfahren [MDC-98b]. Je nach Bauart des Auslegers unterscheidet man Gittermast- und Teleskopauslegersysteme. Hohe Tragfähigkeiten von Auslegersystemen werden entscheidend durch das Verhältnis von Steifigkeit zu Eigengewicht beeinflusst. Auslegerkonstruktionen in Gittermastbauweise erweisen sich als deutlich günstiger, da sie Gewichtseinsparungen mit guter Werkstoffausnutzung vereinen [Löw-93].

Für schnelle Hubaufgaben in Industriekomplexen, in Raffinerien oder in Stahlwerken bewähren sich die mobilen Teleskop- oder Telekrane, die wenig Platz beanspruchen. Da ihr Ausleger bereits fertig montiert ist und nur noch teleskopiert werden muß, zeichnen sich die Telekrane durch besonders kurze Rüstzeiten aus. Mit Teleskopkranen wurden bisher Traglasten bis zu 1000 t erreicht.



Abbildung 1.1: Einsatz eines Gittermast-Fahrzeugkrans

Bei der Umsetzung von Großprojekten im Anlagen-, Stahl- und Hochbau stehen oft sehr hohe Traglasten, Verfahbarkeit unter Last oder besondere Anforderungen an die Hubhöhe im Vordergrund. Hier kommen große Gittermast-Fahrzeugkrane zum Einsatz. Großkrane ermöglichen den Einbau großer, vorgefertigter Komponenten in Gesamtanlagen. Es ist ein gängiges Verfahren Raffinerieschiffe mit an Land vorgefertigten Wohnsektionen auszubauen (vgl. Abb. 1.1). Sie sind in der Lage gigantische Lasten aufzunehmen und dank riesiger Raupenfahrwerke die Lasten auf der Baustelle zu transportieren.

Optimierte Konstruktionen, hochfeste Werkstoffe und verbesserte Fertigungsmethoden in Verbindung mit außergewöhnlichen Anforderungen und Einsatzgebieten führten zur Entwicklung von Gittermast-Fahrzeugkranen mit Traglasten bis zu 3000 t und Rollhöhen von

230 m [Söth-87, MDC-87, MDC-90, MDC-98a]. Gittermast-Fahrzeugkrane sind weltweit im Einsatz. Deshalb sind alle Krankomponenten hinsichtlich ihrer Transportabmessungen und Montagemöglichkeiten optimiert. Abbildung 1.2 zeigt die wichtigsten Baugruppen eines Gittermast-Fahrzeugkrans.

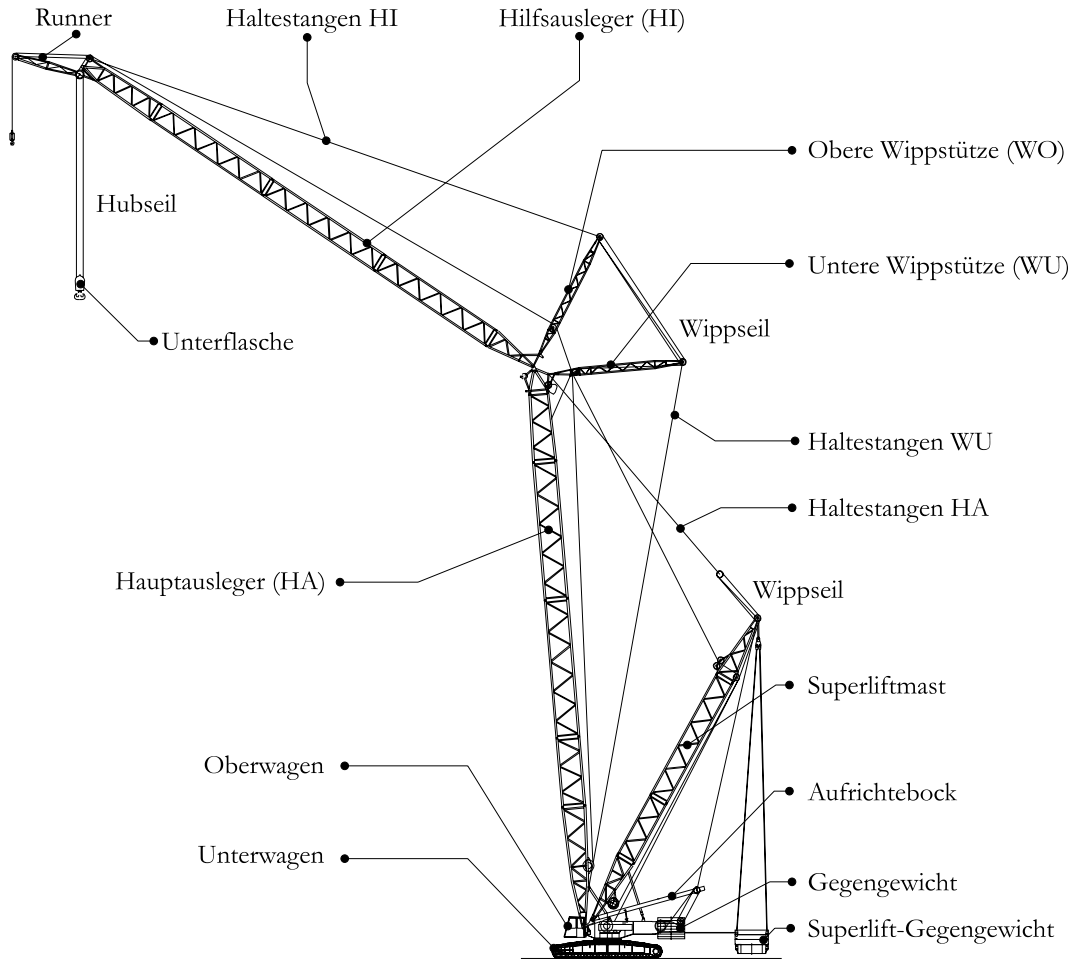


Abbildung 1.2: Baugruppen eines Gittermast-Fahrzeugkrans

Kapitel 2

Problemstellung und Zielsetzung

Gittermast-Fahrzeugkrane besitzen eine Vielzahl verschiedener Rüstzustände und Auslegerstellungen. Das Hauptmerkmal eines Rüstzustands ist die Auslegervariante, in der er konfiguriert ist. Rüstzustände gleicher Auslegervariante können sich in ihren Auslegerlängen unterscheiden. Auf den speziellen Einsatzfall abgestimmt, wird das Kransystem entsprechend der Hubaufgabe und den äußeren Gegebenheiten passend konfiguriert. Lange Haupt- und Hilfsausleger ermöglichen das Heben von Lasten in große Höhen und Reichweiten. Dagegen erreichen Rüstzustände mit kurzem Ausleger, Superliftmast und großen Gegengewichten höchste Lastmomente, definiert als das Produkt aus Hublast und Ausladung. In Abb. 2.1 sind exemplarisch drei Rüstzustände dargestellt, die sich sowohl in den Auslegervarianten als auch in den -längen unterscheiden.

2.1 Problemstellung

Die Berechnung der verschiedenen Rüstzustände von Gittermast-Fahrzeugkranen umfaßt drei wesentliche Aufgabengebiete:

- Erstellung von Traglasttabellen
- Optimierung der maximalen Tragfähigkeit
- Berechnung von Sonderfällen

Eine vorrangige Aufgabe der Berechnung ist die Erstellung von Traglasttabellen, die als wichtigstes Hilfsmittel zur zielgerichteten Auswahl und Konfiguration eines geeigneten

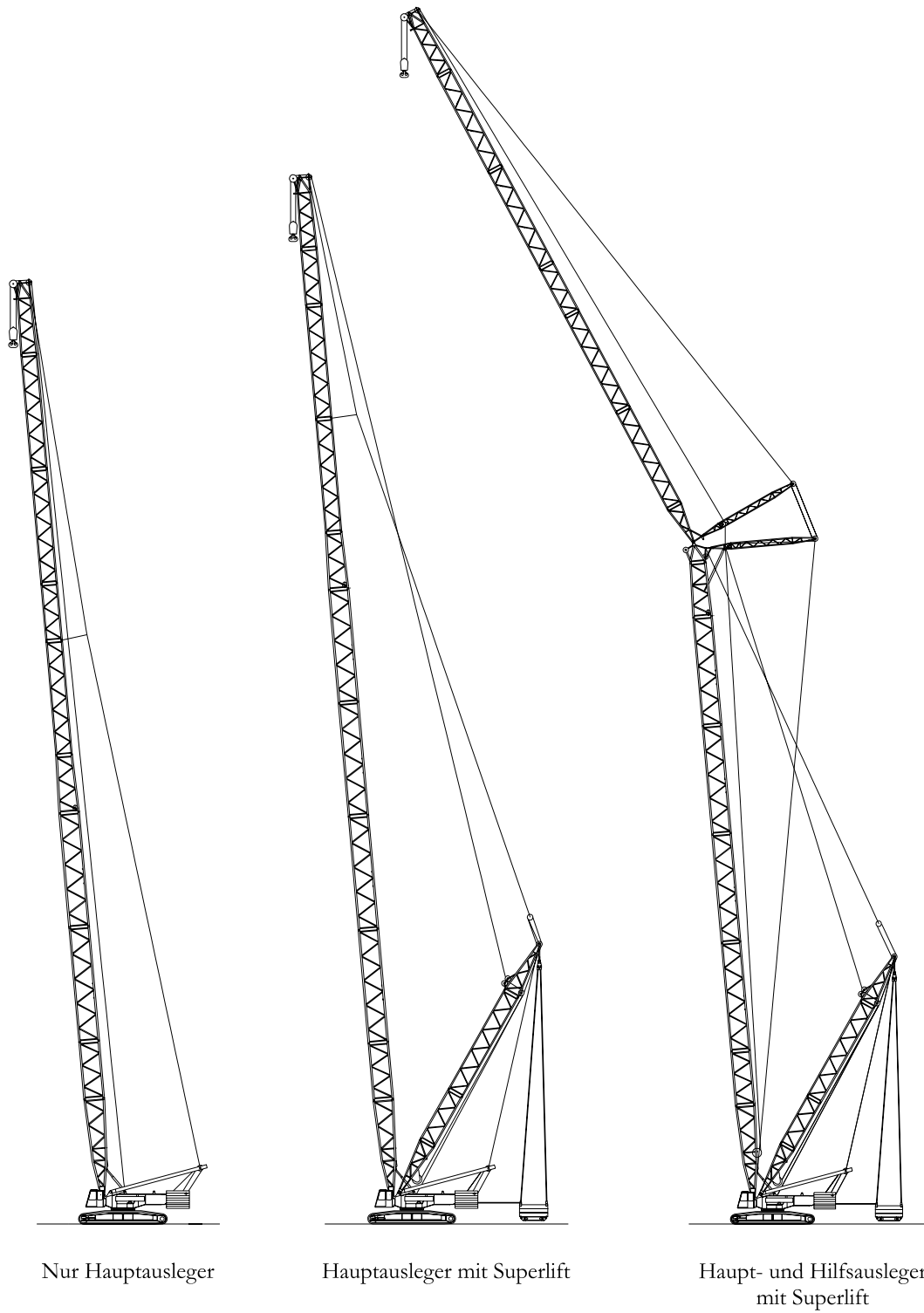


Abbildung 2.1: Rüstzustände eines Gittermast-Fahrzeugkrans

Rüstzustands für eine definierte Hubaufgabe dienen. Abbildung 2.2 zeigt exemplarisch den schematischen Aufbau einer Traglasttabelle. Sie enthält für jeden Rüstzustand eine Traglastkurve, die als Funktion der Ausladung die maximale Traglast beschreibt. Eine Traglastkurve entsteht, in Abhängigkeit vom Rüstzustand, aus der Verbindung mehrerer Traglastpunkte, entsprechend den Einträgen in der Traglasttabelle.

Auslegerlänge			
Ausladung	L1	L2	L3
R1	T11	T12	T13
R2	T21	T22	T23
R3	T31	T32	T33

Abbildung 2.2: Schematische Darstellung einer Traglasttabelle

Ein einzelner Traglastpunkt gibt für eine definierte Ausladung die maximale Traglast an, für die alle geforderten Nachweise nach den gültigen Normen erfüllt sind. Dies sind der allgemeine Spannungsnachweis, der Stabilitätsnachweis und der Standsicherheitsnachweis. Für einen Traglastpunkt sind nach Norm [DIN 15018 T3] alle Nachweise für 15 verschiedene Lastfälle zu führen. Diese erfassen spezielle Beanspruchungen, besondere Betriebsweisen sowie äußere Gegebenheiten während des Einsatzes von Fahrzeugkränen. Zusätzlich sind bei der Bestimmung von Traglastpunkten noch weitere Parameter zu berücksichtigen. Dies sind z.B. der maximal zulässige Bodendruck des Raupenfahrwerks oder die maximal übertragbare Kraft der Rollendrehverbindung.

In Verbindung mit den Anforderungen der Nachweisführung nach Norm bedeutet die Vielzahl der möglichen Rüstzustände und Auslegerstellungen eine große Anzahl durchzuführender Berechnungen [Gün-95, Löw-93, Döm-95]. Da große Gittermast-Fahrzeugkrane nur in kleinen Stückzahlen und häufig nach speziellen Kundenwünschen gefertigt werden, verursachen die Konstruktion und die Berechnung bei der Auftragsabwicklung einen hohen Zeit- und Kostenaufwand.

Ein hoher Automatisierungsgrad der Berechnung könnte zwar eine schnelle Auftragsabwicklung bedeuten, jedoch kein optimiertes Produkt garantieren. Die Produktoptimierung wird erzielt durch den Informationsfluß zwischen allen beteiligten Personen eines Projekts,

insbesondere jedoch durch die Art der Speicherung und Verwaltung der Projektdaten. Oft sind es kaum überschaubare Datenbestände, die hier zu Problemen führen.

Aus der Vielzahl durchzuführender Berechnungen für einen Fahrzeugkran entstehen große Datenmengen, die im Regelfall benutzerbezogen gespeichert werden. Zusätzlich werden viele Informationen, die während der Konstruktion und Berechnung entstehen, nicht geordnet erfaßt und gehen deshalb verloren. Mangelnde Informationsverfügbarkeit und Dateninkonsistenzen sind oft die Folge. Sie können zu einem nicht abschätzbaren Mehraufwand bei der Datensichtung und Informationsbeschaffung führen. Mögliche Folgen sind Zeitverzögerungen oder sogar Fehlentscheidungen innerhalb des Projekts.

2.2 Stand der Technik

In der gängigen Berechnungspraxis führt man, unterstützt durch die geltende Normung, die Nachweise für die Auslegung und Konstruktion von Gittermast-Fahrzeugkränen mit statischen Berechnungen. Während die Standsicherheit eines Kransystems mit Hilfe von starrkörperstatischen Methoden nachgewiesen wird, ist zum Nachweis der Festigkeit und Stabilität der Einsatz der Finite-Elemente-Methode (FEM) Stand der Technik. Sie bewährt sich seit Mitte der siebziger Jahre als das bestgeeignete Verfahren zur Kranberechnung [Gün-95, Döm-95, Kle-96]. Mit Hilfe von Finite-Elemente-Berechnungen läßt sich das optimale Verhältnis von Traglast zu Eigengewicht bestimmen.

Die Computerunterstützung für diese Art von Berechnungstätigkeiten findet auf unterschiedlichen Niveaus statt. Abbildung 2.3 zeigt die Struktur der in Entwicklungs- und Berechnungsabteilungen eingesetzten Programme. Preisgünstige Standardsoftware ist soweit ausgereift und benutzerfreundlich, daß diese Programme mehr und mehr in den Ingenieuralltag einziehen und als selbstverständliches Arbeitsmittel eingesetzt werden. Für Standardberechnungen gibt es heute eine Anzahl von kommerziellen, gut eingeführten Programmsystemen [Frö-93]. Dabei gilt es zwischen den herstellerneutralen, übergreifenden Paketen und den produktspezifischen Programmen zu unterscheiden. Zur Berechnung von Kranstrukturen werden überwiegend Groß- und Spezialprogrammsysteme eingesetzt. Mit Hilfe von Großprogrammsystemen, wie z.B. dem FE/CAD-System I-DEAS werden in Berechnungsabteilungen komplexe Problemstellungen bearbeitet.

Daneben existiert eine große Anzahl von Berechnungsprogrammen zur Bearbeitung spezieller Aufgabenstellungen. Solche abteilungsspezifischen Programme werden in der Re-

gel von Mitarbeitern für einen besonderen Einsatz entwickelt. Sie sind entweder auf eine Zielgruppe abgestimmt oder werden nur vom Ersteller selbst und wenigen anderen genutzt. Werden solche Programme zusammengefaßt und gekoppelt, entstehen Spezialprogrammsysteme, die genau auf die Arbeitsweisen und Anforderungen der Abteilung zugeschnitten sind. In der Praxis stellt diese Programmstruktur den Softwarestandard in den Entwicklungs- und Berechnungsabteilungen der großen Fahrzeugkranhersteller dar.

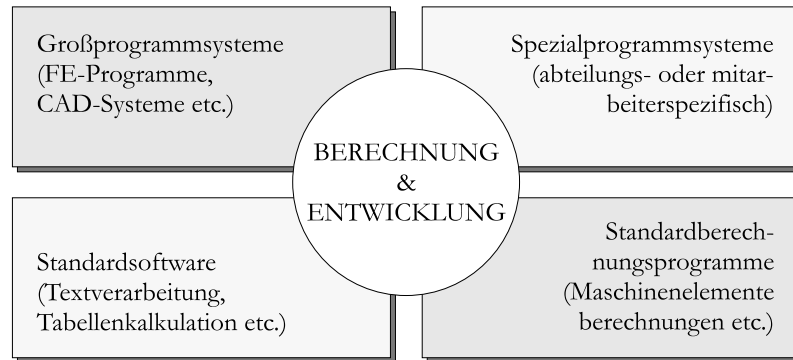


Abbildung 2.3: Softwarestruktur in der Berechnung und Entwicklung

NODYA ist ein am Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluß Logistik entwickeltes Finite-Elemente Programm, das speziell für die Erfordernisse der Kranberechnung entwickelt wurde [Kle-96]. Es wird von vielen Kranbaufirmen sowohl zur Analyse von Einzelproblemen als auch in Verbindung mit automatisierten Berechnungsumgebungen eingesetzt. Eingebunden in komplexe Programmsysteme zur automatisierten Kranberechnung stellen Pre- und Postprozessoren einfache Dateneingabe- und Ergebnisaufbereitungsmöglichkeiten für das FE-Programm zur Verfügung.

Preprozessoren setzen FE-Bauteilmodelle zu kompletten Kranmodellen mit definierten Auslegerstellungen und allen Lasten zusammen. Postprozessoren werten die Berechnungsergebnisse unter Berücksichtigung aller relevanten Normen aus. Schließlich werden die Festigkeitsergebnisse aus den FE-Berechnungen mit allen anderen Berechnungsergebnissen, die zusätzlich in die endgültige Traglastermittlung einfließen, verglichen. Unter Berücksichtigung von Grenzkriterien können Traglastpunkte ermittelt und abschließend Traglastkurven und Traglasttabellen erstellt werden.

Tausend Rechenläufe sind zur Erstellung der umfassenden Traglasttabellenwerke eines Fahrzeugkrans keine Seltenheit. Durch den Einsatz spezieller Berechnungsumgebungen las-

sen sich deutliche Effektivitätssteigerungen sowohl unmittelbar in der Berechnung als auch mittelbar in der Entwicklung und Konstruktion erzielen. Die Mehrzahl der produktiven Berechnungssysteme haben entscheidende, nachteilige Eigenschaften:

- Datenhaltung im Dateisystem
- Anwenderunfreundliche Bedienung
- Mangel an Transparenz und Systemintegration

Nach wie vor arbeiten viele der eingesetzten Berechnungssysteme dateibasiert, d.h. alle anfallenden Konstruktions- und Berechnungsdaten werden im Dateisystem gespeichert und verwaltet. Die Nachteile und die Konsequenzen dieser Art der Datenhaltung sind in Kapitel 2.1 angedeutet. Trotz Pre- und Postprozessorunterstützung bei der Dateneingabe und Ergebnisauswertung fehlen den automatisierten Programmsystemen in der Regel komfortable, benutzerfreundliche Bedienoberflächen. Meistens erfolgt die Bedienung noch auf der Ebene von Kommandozeilen.

Zudem setzen sich die im Einsatz befindlichen Berechnungsumgebungen aus einer Vielzahl kleiner Einzelprogramme zusammen, die mit Hilfe von Schnittstellen Daten austauschen. Die fehlende Integration der vielen Programme in ein einheitliches Gesamtsystem in Kombination mit ständigen Erweiterungen hat zur Folge, daß die Berechnungsumgebungen schwierig in der Handhabung sind. Sie sind wenig transparent und unflexibel.

2.3 Zielsetzung

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt in der Analyse und Lösung der o.g. Problematiken. Ziel ist die Konzeption und Entwicklung eines datenbankbasierten Programmsystems zur automatisierten Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkranen. Es soll folgende Vorteile gegenüber den bisherigen Systemen bieten:

- Zentrale Datenhaltung
- Anwenderfreundliche Benutzeroberfläche
- Transparente und flexible Systemorganisation
- Integriertes Gesamtsystem

Das Berechnungssystem ist ein kompaktes Programmsystem, mit dem Gittermast-Fahrzeugkrane ganzheitlich berechnet werden können. Es ermöglicht sowohl Starrkörperberechnungen als auch FE-Berechnungen von Kranstrukturen. Zudem bietet es einen durchgängigen und automatisierten Berechnungsablauf von der Modellerstellung und Berechnung bis zur Verarbeitung und Auswertung der Berechnungsergebnisse.

Eine Datenbank realisiert die zentrale Datenhaltung als wichtigste Voraussetzung für eine durchgängige Automatisierung [Gün-96]. Ein Datenbankverwaltungssystem speichert und verwaltet alle Daten und Informationen, die während des Berechnungs- und Konstruktionsprozesses entstehen und stellt sie allen Projektbeteiligten zur Verfügung. Der Zugriff auf die Daten erfolgt über eine einheitliche Benutzeroberfläche, die aus einer Hierarchie von Bildschirmmasken aufgebaut ist. Als Anwenderschnittstelle ist sie klar und übersichtlich strukturiert und ermöglicht eine einfache Anwendung des Systems. Zudem schirmt sie den Benutzer von allen programmiertechnischen Vorgängen ab und steuert die komplette Berechnung eines Gittermast-Fahrzeugkrans.

Die Berechnungsumgebung vereinfacht den teilweise komplizierten Berechnungsablauf und erhöht die Transparenz der Berechnung. Die große Anzahl der Einzelprogramme und Schnittstellen bisheriger Systeme wird durch wenige Programmodule ersetzt, die in das Gesamtsystem integriert sind. Der Anwender braucht die Datenformate der einzelnen Programme nicht zu kennen. Die Abläufe und Prozesse der Berechnung sind verständlich und durchgängig abgebildet. Alle algorithmischen und sich ständig wiederholenden Tätigkeiten werden automatisiert bearbeitet.

Verschiedenste, ständig wachsende Ansprüche an die Berechnung fordern flexible und transparente Programmsysteme. Sowohl Veränderungen als auch Erweiterungen der Berechnungsumgebung werden durch eine offene, modulare Systemarchitektur unterstützt. Durch die Anwendung der CASE-Methode (Computer Aided Software Engineering) zur Softwareentwicklung sind alle Grundlagen des Programmsystems dokumentiert und geordnet abgelegt [Bal-91].

Der Einsatz des automatisierten Programmsystems reduziert den zeitlichen Aufwand für die Berechnung. Kürzere Reaktionszeiten auf Anfragen der Konstruktion bieten schon während der Projektierung und Entwicklung eines neuen Kransystems mehr Flexibilität. Es kann gezielt und schnell auf Kundenanforderungen reagiert werden. Zusätzlich bieten schnellere Berechnungen mehr Spielraum zur Optimierung und ermöglichen so genauere und aussagekräftigere Ergebnisse.

Schließlich tragen kürzere Berechnungszeiten entscheidend dazu bei, den gesamten Zeitraum der Entwicklung eines Fahrzeugkrans zu verkürzen und Kosten zu verringern. Die gesamte Projektdauer wird verkürzt und der Kran ist schneller am Markt.

Die Anwendung des Programmsystems muß sich jedoch nicht auf den Einsatz in der Berechnungsabteilung beschränken. Es soll erreicht werden, daß auch andere Bereiche eines Unternehmens von der Funktionalität des Systems profitieren. Hierzu zeigt Abb. 2.4 die Unternehmensbereiche, die mit der Berechnung eng verbunden sind.

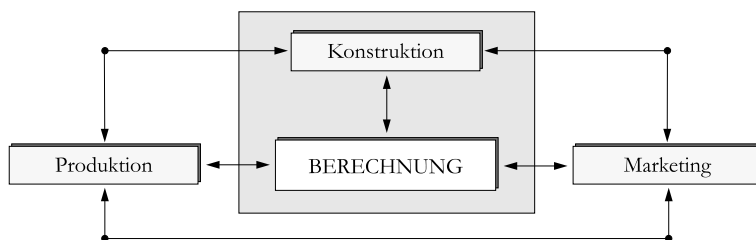


Abbildung 2.4: Wechselwirkungen mit anderen Unternehmensbereichen

Im Wechselspiel mit den Bereichen Produktion, Marketing und insbesondere Konstruktion werden ständig sowohl Anforderungen und Wünsche als auch Ergebnisse und erbrachte Leistungen ausgetauscht. Bisher erfolgt der Austausch in Gesprächen oder schriftlich zwischen einzelnen Personen oder Personengruppen. Diese Art des Informationsaustausches ist aufwendig und kann zu inkonsistenten Informationsständen führen.

Durch die Realisierung einer zentralen Datenhaltung in der Berechnung und der Integration aller Unternehmensbereiche steht überall gleichzeitig dieselbe Information zur Verfügung. Personen aller Unternehmensbereiche greifen zu Informationszwecken auf die Daten der Berechnung zu. Viele Fragen an die Berechnung können so direkt in den anfragenden Bereichen selbst beantwortet werden.

Kapitel 3

Grundlagen der Kranberechnung

Ein ständiger Informationsaustausch zwischen der Berechnungs- und Konstruktionsabteilung prägt den gesamten Entwicklungszeitraum eines Fahrzeugkrans. In der Berechnung werden Vorgaben aus der Konstruktion geprüft und vorab Randbedingungen zur Auslegung von Kranbauteilen festgelegt. Je besser der Dialog beider Bereiche funktioniert, desto schneller und optimierter sind die Konstruktionen fertigungsbereit.

Berechnung und Konstruktion sind eng miteinander verknüpft. Genaue Kenntnisse über die Entwicklung und Konstruktion von Fahrzeugkranen sowie die Arbeitsweisen in den Konstruktionsabteilungen bilden daher eine wichtige Grundlage für die Erstellung eines Programmsystems zur Berechnung von Fahrzeugkranen.

3.1 Konstruktion

Zur Entwicklung eines Produkts zählen alle Vorgänge, die nach dem Anstoß des Entwicklungsvorhabens die Aufnahme einer regulären Produktion vorbereiten [Ehr-98]. In Abb. 3.1 ist die Entwicklung und Konstruktion als Lebensphase eines Produkts dargestellt.

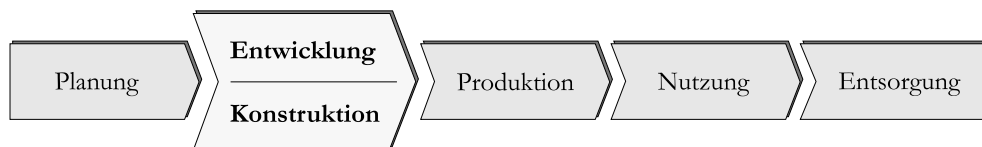


Abbildung 3.1: Lebensphasen eines Produkts

Während des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses werden die Eigenschaften eines Produkts so festgelegt, daß eine anschließende Fertigung entsprechend den Vorgaben der Projektierung möglich ist [Ehr-98]. Die charakteristische Tätigkeit beim Konstruieren ist das Gestalten, teilweise algorithmisch und teilweise intuitiv.

3.1.1 Konstruktionsphasen und -arten

In der modernen Konstruktionsmethodik [Ehr-94, Pahl-86] wird der gesamte Konstruktionsablauf in vier wesentliche Einzelphasen unterteilt:

- Aufgabenklärung: Eindeutige Problemdefinition
- Konzeptphase: Entwerfen von Prinziplösungen
- Entwurfsphase: Festlegung der Geometrie in den Hauptabmessungen
- Ausarbeitungsphase: Festlegung von Details bis zur Fertigungszeichnung

Bei der Konstruktion eines Produktes ist es nicht zwingend notwendig alle Einzelphasen zu durchlaufen und in der Aufgabenklärung oder der Konzeptphase anzusetzen. Abwandlungen in der Vorgehensweise des Konstruktionsablaufs führen zu drei unterschiedlichen Konstruktionsarten [Pahl-86], deren Grenzen aber fließend sind (vgl. Abb. 3.2):

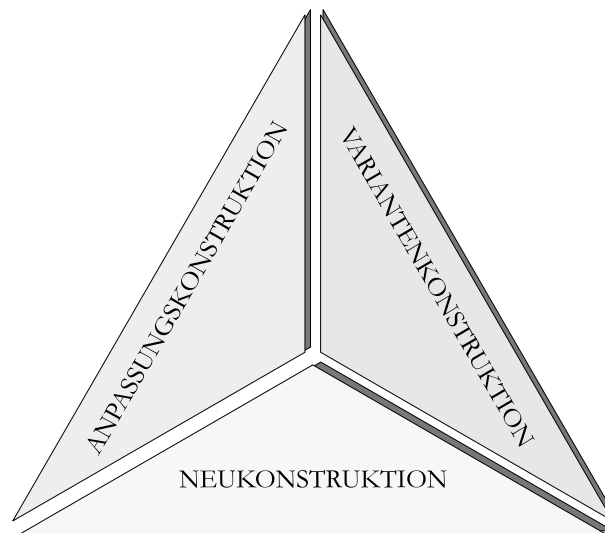


Abbildung 3.2: Konstruktionsarten

Unter einer Neukonstruktion versteht man eine komplett neue Konstruktion, die bei der Erarbeitung eines neuen Lösungsprinzips ansetzt und alle o.g. Einzelphasen durchläuft. Die Aufgabenstellung kann die gleiche, eine veränderte oder eine neue sein. Bei einer Anpassungskonstruktion wird ein bekanntes System zur Überwindung offenbar entstandener Grenzen an eine veränderte Aufgabenstellung angepaßt. Das Lösungsprinzip bleibt erhalten. Zur Anpassung sind oft Neukonstruktionen von Bauteilen oder Baugruppen notwendig. Variantenkonstruktionen entstehen durch die Variation von Größen oder Anordnungen innerhalb von Grenzen vorausgedachter Systeme. Die Funktion und das Lösungsprinzip bleiben erhalten.

Im Maschinenbau sind, bezogen auf die Produkte, über die Hälfte aller Konstruktionen Anpassungskonstruktionen [Eve-74]. Auch Fahrzeugkrane sind in der Regel Anpassungskonstruktionen, seltener Varianten- oder sogar Neukonstruktionen.

3.1.2 Berechnungen im Konstruktionsprozeß

Für alle drei aufgeführten Konstruktionsarten sind im Verlauf eines Konstruktionsprozesses Berechnungen durchzuführen. Abbildung 3.3 ordnet den Konstruktionsarten und den Konstruktionsphasen unterschiedliche Berechnungsarten zu.

	Konzipieren	Entwerfen	Ausarbeiten
Neukonstruktion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anpassungskonstruktion		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Variantenkonstruktion			<input type="checkbox"/>
		Auslegungsrechnung	Nachrechnung

Abbildung 3.3: Berechnungen im Konstruktionsprozeß

Berechnungen sind nur in den Konstruktionsphasen Entwerfen und Ausarbeiten auszuführen. Entsprechend der Intention der Berechnungen unterscheidet man Auslegungs- und Nachrechnungen. In der Entwurfsphase geben Auslegungsrechnungen über das mechanische Verhalten der Struktur Aufschluß. Sie dienen im wesentlichen zur Festlegung von Konstruktionsparametern und unterstützen die Strukturoptimierung. Exakte Nachrech-

nungen von Strukturen sind in der Ausarbeitungsphase notwendig. Sie überprüfen vorgegebene Konstruktionsparameter und beinhalten die erforderlichen Nachweise nach den gültigen Normen und Vorschriften. Die Konstruktion eines Fahrzeugkrans erfordert beide Berechnungsarten. Ein automatisiertes Berechnungssystem muß daher die Auslegungsrechnung in der Entwurfsphase und die Nachrechnung in der Ausarbeitungsphase unterstützen.

3.1.3 Konstruktionsprinzip

Muß ein Produktprogramm verschiedene Funktionen erfüllen, so ergeben Einzelkonstruktionen eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte, was einen entsprechend großen konstruktiven Aufwand bedeutet [Pahl-86]. Der Rationalisierungsansatz liegt also in der Kombination festgelegter Bauteile oder Baugruppen zu den jeweils geforderten Funktionsvarianten des Produkts. Die Anwendung des Baukastenprinzips realisiert diese Kombination.

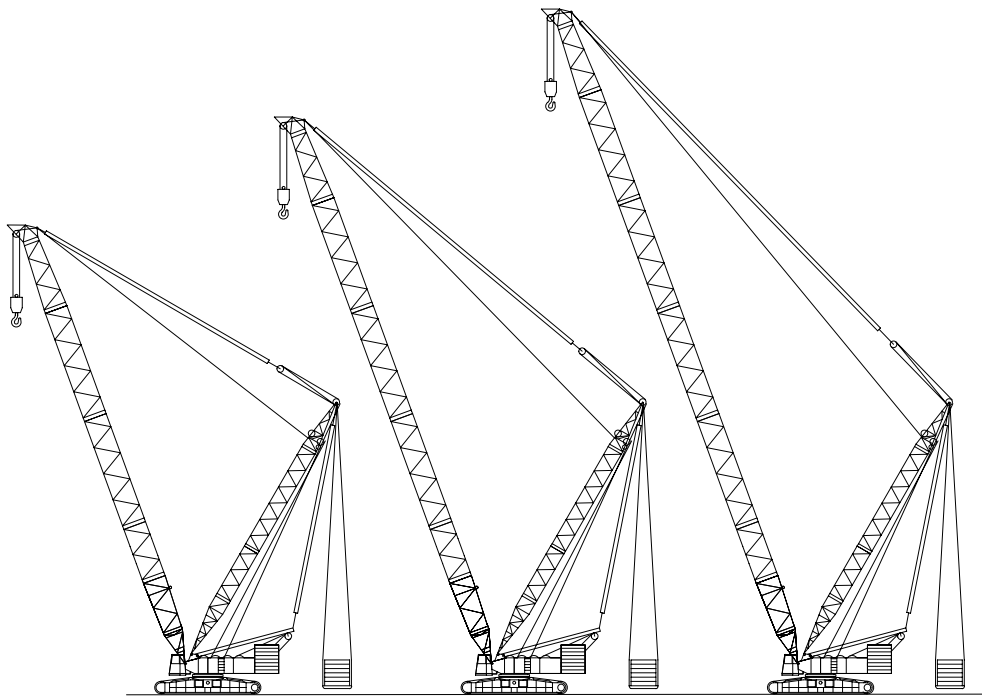


Abbildung 3.4: Baukastensystem eines Gittermast-Fahrzeugkrans

Aufgrund vielfältiger Aufgabenstellungen werden Gittermast-Fahrzeugkrane als Baukastensystem konstruiert. Abbildung 3.4 veranschaulicht dies. Das Baukastensystem setzt sich neben dem Ober- und Unterwagen im wesentlichen aus einer begrenzten Anzahl

von Gittermast-Bauteilen für das Auslegersystem zusammen. Die hieraus resultierende variable Gestaltbarkeit des Auslegersystems ist ein besonderer Vorteil der Gittermast-Fahrzeugkrane und erlaubt eine optimale Anpassung des Kransystems an jede Hubaufgabe.

3.2 Berechnung

Aufbauend auf die konstruktiven Grundlagen folgt nun eine Einführung in die Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkranen, beginnend mit den zu berücksichtigenden konstruktiven Besonderheiten dieser Krane. Weiterhin werden die zur Berechnung anzusetzenden Lastannahmen sowie die erforderlichen Nachweise in Verbindung mit der derzeit geltenden Normvorschrift dargestellt. Abschließend gibt das Kapitel einen Einblick in die verwendeten Methoden zur Berechnung und Nachweisführung von Fahrzeugkranen.

3.2.1 Besonderheiten

Gittermast-Fahrzeugkrane werden für Traglasten bis zu 3000 t und Rollhöhen bis zu 226 m gebaut. Die notwendige Leichtbauweise führt zu sehr langen und schlanken Auslegersystemen. Die Tragfähigkeit dieser Systeme wird in vielen Fällen nicht durch die Festigkeit des Werkstoffs, sondern durch Knicken des Gesamtsystems oder von Einzelstäben begrenzt. Hierbei wird die Gesamtstabilität entscheidend durch die meist spitzwinklige Seilabspannung beeinflusst. Insbesondere bei Belastungen senkrecht zur Tragwerksebene, beispielsweise durch Wind oder dynamische Kräfte beim Drehen, zeigt sich ihre große Nachgiebigkeit. Unter Belastung weisen diese Auslegerstrukturen ein ausgeprägt nichtlineares Verformungsverhalten auf. Zur Ermittlung der Tragfähigkeit erfordert dieses Last-Verformungsverhalten eine geometrisch nichtlineare Berechnung [Kle-96].

Alle beweglichen Seile eines Krans laufen über Umlenkrollen und bewegen sich entsprechend der Verschiebung des Gesamtsystems. Zur Reduzierung der Seilkräfte werden die Seile über Flaschenzüge mit vielfacher Einscherung geführt. Die durch Seile und Stangen in das Auslegertragwerk eingeführten Kräfte sind poltreu. Sie bleiben auch bei seitlicher Verschiebung des Auslegers auf die Befestigungspunkte, Umlenkrollen oder Seiltrommeln gerichtet. Dagegen sind die Kräfte aus dem Eigengewicht der Auslegerteile und der Hublast richtungstreu. Im Gegensatz zu allen anderen Seilkräften ist bei einer Verschiebung des Gesamtsystems nur die Hubseilkraft konstant.

Der Betrieb von Fahrzeugkränen verlangt eine vorsichtige, gleichmäßige Entfaltung der Antriebskräfte und eine geringe Gleichzeitigkeit unterschiedlicher Bewegungen. Die Anzahl der auftretenden Lastspiele innerhalb der Kranlebensdauer ist sehr gering, da ihr Einsatzgebiet vorwiegend im Montagebetrieb liegt. Weitere systemspezifische Eigenarten von Fahrzeugkränen sind die eventuell außermittige Führung des Hubseils und die mögliche seitliche Schrägstellung des Gesamtsystems auf Grund der Nachgiebigkeit des Ober- und Unterwagens oder deren Aufstandsfläche.

Alle beschriebenen Effekte gilt es in der Berechnung zu berücksichtigen. Im Kranbau dient der überwiegende Anteil der Berechnungen der Nachweisführung. Vorschriften, Regelwerke und Normen bilden die Grundlage hierfür. Sie erfassen alle systemspezifischen Eigenarten, Anforderungen und Betriebsweisen der Fahrzeugkrane.

3.2.2 Normen und Nachweise

Die Anzahl durchzuführender Berechnungen für einen Gittermast-Fahrzeugkran resultiert aus den Anforderungen der Nachweisführung. In nachstehender Tabelle sind die wesentlichen Nachweise in Verbindung mit den gültigen Normen aufgelistet.

Tabelle 3.1: Nachweise und Normen für Fahrzeugkrane

Bezeichnung	Nachweis	Norm
Allgemeiner Spannungsnachweis	Sicherheit gegen Erreichen der Fließgrenze	DIN 15018 Teil 1/3
Stabilitätsnachweis	Sicherheit gegen Knicken und Beulen	DIN 18800 Teil 2 DIN 4114 Teil 1/2 DIN 15018 Teil 1/3
Stand sicherheitsnachweis	Sicherheit gegen Umkippen	DIN 15019 Teil 2 DIN 15018 Teil 1/3

Die Grundsätze zur Berechnung der Stahltragwerke von Fahrzeugkränen sind in DIN 15018 Teil 3 [DIN 15018 T3] in Verbindung mit DIN 15018 Teil 1 [DIN 15018 T1] festgelegt. Während der Teil 1 dieser Norm für Stahltragwerke von Kranen und Kranausrüstun-

gen aller Art angewendet werden kann, ist Teil 3 speziell auf Fahrzeugkrane ausgerichtet. Die Unterschiede in den Lastannahmen und somit in der Art der Berechnung beruhen im wesentlichen auf dem besonderen Tragverhalten. Da die Zahl der auftretenden Spannungsspiele während der Einsatzdauer eines Fahrzeugkrans so gering ist, wird ein Betriebsfestigkeitsnachweis von der Norm [DIN 15018 T3] generell ausgeschlossen.

Die quasistatische Methode der Nachweisführung ist wesentlicher Inhalt der DIN 15018 [DIN 15018 T1, DIN 15018 T3]. Die Nachweise werden mit den Ergebnissen statischer Berechnungen auf der Basis eines elastostatischen Modells geführt. Durch quasistatische Lastannahmen kann eine dynamische Berechnung vermieden werden. Dynamische Belastungen des Tragwerks werden durch Multiplikation der statischen Lasten mit Schwingbeiwerten berücksichtigt. Zusätzlich werden die, mit einem starrkörperkinetischen Rechenmodell ermittelten, Trägheitskräfte angesetzt. Bewegliche Lasten sind in den betrieblich ungünstigsten Stellungen, Werten und Richtungen anzunehmen.

Das Last-Verschiebungsverhalten der langen, schlanken Auslegersysteme erfordert für das Tragwerk einen Nachweis nach geometrisch nichtlinearer Spannungstheorie. Das Verformungsverhalten ist nicht mehr linear, sondern nichtlinear. Die Gleichgewichtsbedingungen werden hierbei am verformten Tragwerk aufgestellt. Der Nachweis nach geometrisch nichtlinearer Theorie erfolgt mit Hilfe der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte und Grenzspannungen [DIN 15018 T3]. Hierbei dürfen die Spannungen im Tragwerk die zulässigen Grenzspannungen $\lim \sigma$ und $\lim \tau$ nicht überschreiten.

Die Tragfähigkeit eines Kransystems wird in vielen Fällen nicht durch die Festigkeit des Werkstoffs begrenzt, sondern durch Knicken des Gesamtsystems oder von Einzelstäben. Demzufolge hängt die Gesamtstabilität eines Tragwerks sowohl von der lokalen als auch von der globalen Stabilität ab. Das Knicken des Gesamtsystems bezieht sich auf das Knicken einzelner Baugruppen, in den meisten Fällen auf das Knicken des Auslegersystems. Um einen Kran sicher handhaben zu können, dient die seitliche Verschiebung des Gesamtsystems unter Last als weiteres Auslegungskriterium.

Steifigkeitsbedingte, lokale Instabilitäten der Verformung werden dem Charakter der Verformungsfigur entsprechend bei stabartigen Bauteilen „Knicken“ und bei flächigen Bauteilen „Beulen“ genannt. Nach DIN 18800 Teil 2 [DIN 18800 T2] treten beim Versagen infolge Knicken Verschiebungen v , w oder Verformungen ϑ um die Stabachse auf, oder diese Verformungen kommen gleichzeitig vor. Man unterscheidet die Knickarten Biegeknicken und Biegedrillknicken.

Beim Biegeknicken treten nur Verschiebungen v oder w oder beide auf. Die Verdrehungen ϑ um die Stabachse dürfen vernachlässigt werden. Beim Biegedrillknicken hingegen treten nur Verschiebungen v , w und gleichzeitig Verdrehungen ϑ um die Stabachse auf, wobei diese Verdrehungen berücksichtigt werden müssen. In Abb. 3.5 sind die Koordinaten und Verschiebungsgrößen beim Knicken dargestellt.

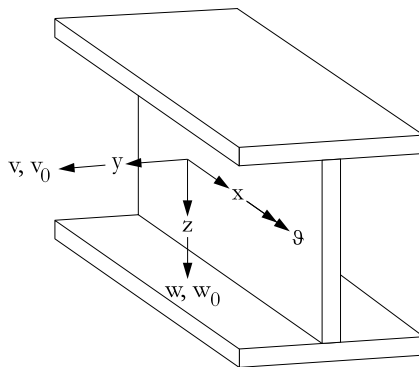


Abbildung 3.5: Koordinaten und Verschiebungsgrößen beim Knicken

Die lokale Stabilität von Auslegertragwerken wird mit Hilfe der DIN 18800 Teil 2 [DIN 18800 T2] in Verbindung mit DIN 4114 Teil 1 und Teil 2 [DIN 4114 T1, DIN 4114 T2] nachgewiesen. Für den Nachweis werden die Stäbe, unter Beachtung der realen Randbedingungen, gedanklich aus dem Tragwerk herausgelöst und als Einzelstäbe betrachtet. Biegeknicken und Biegedrillknicken werden getrennt untersucht.

Zu den behandelten Nachweisen der festigkeits- und steifigkeitsbedingten Stabilität eines Krans ist die Standsicherheit für das Gesamtsystem nachzuweisen. Ein Verlust der Standsicherheit wird durch unkontrollierte Tragwerksbewegungen, wie beispielsweise Umkippen, hervorgerufen. Letzteres kann passieren, wenn das Tragwerk über eine Kippkante umkippt. Dabei wird das Tragwerk als ein starrer, nicht schwingungsfähiger Körper angesehen. Die maßgebende Kippkante ist die für den betreffenden Belastungszustand ungünstigste Verbindungslinie zweier Stützpunkte des Tragwerks.

Aus statischer Sicht kippt ein Tragwerk, sobald es sein Gleichgewicht verliert. In diesem kritischen Belastungszustand ist die Summe der Standmomente kleiner als die Summe der Kippmomente. Standmomente sind die auf die Kippkante bezogenen Momente von Kräften, die dem Umkippen des Tragwerks entgegenwirken. Kippmomente sind die auf die Kippkante bezogenen Momente von Kräften, die das Umkippen des Tragwerks unterstützen.

Nach gültiger Normvorschrift erfolgt der Nachweis der Standsicherheit für gleislose Fahrzeugkrane mit Hilfe der DIN 15019 Teil 2 [DIN 15019 T2]. Die Sicherheit eines Krans gegen Umkippen ist sowohl durch Prüfbelastung als auch durch Rechnung nachzuweisen. Ein Kran gilt als ausreichend standsicher, wenn - bezogen auf die jeweils ungünstigste Kippkante - bei Beanspruchung durch die Eigengewichtskräfte und die in DIN 15019 Teil 2 [DIN 15019 T2] angegebenen Kräfte und Lastfälle die Summe aller Momente > 0 ist, wobei die kippenden Momente negativ einzusetzen sind.

3.2.3 Lastannahmen

In DIN 15018 Teil 3 [DIN 15018 T3] sind alle auf ein Krantragwerk wirkenden Lasten festgelegt, mit denen ein Kran zur Berechnung beaufschlagt werden muß. Nach folgender Übersicht werden sie in Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten eingeteilt.

Tabelle 3.2: Einteilung der auf ein Tragwerk wirkenden Lasten

Hauptlasten (H)	Zusatzlasten (Z)	Sonderlasten (S)
- Eigenlasten	- Windlasten	- Prüflasten
- Hublasten		
- Fliehkräfte		
- Kräfte aus Lastheben und -senken		
- Massenkräfte aus Antrieben		
- Kräfte aus Kranbetrieb oder -fahren		

Aus den Lastgruppen H, Z und S werden nach Norm [DIN 15018 T3] die Regellastfälle H (Hauptlasten) und HZ (Haupt- und Zusatzlasten) sowie die Sonderlastfälle HS (Haupt- und Sonderlasten) kombiniert. Zusammen beinhalten sie 15 unterschiedliche Einzellastfälle.

Zur Nachweisführung nach geometrisch nichtlinearer Theorie wird die Methode der Teilsicherheitsbeiwerte und Grenzspannungen verwendet. Sie ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der unterschiedlichen Lastfälle und Lastarten und berücksichtigt die breitere Streuung von Massenkräften im Vergleich zu Hub- und Eigenlasten. Nach dieser Methode sind zur Berechnung die auf das Tragwerk einwirkenden Lasten mit Teilsicherheitsbeiwerten zu multiplizieren. Diese unterscheiden sich nach DIN 15018 Teil 3 [DIN 15018 T3] für

die einzelnen Lasten entsprechend den Lastfällen H, HZ und HS. In Tab. 3.3 sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für die einzelnen Lasten und Lastfälle aufgelistet.

Tabelle 3.3: Teilsicherheitsbeiwerte γ_F

Lasten	Lastfall H	Lastfall HZ	Lastfall HS
Eigenlasten	1,20	1,09	1,09
Hublasten	1,35	1,20	-
Prüflasten	-	-	1,09
Massenkräfte	1,50	1,35	1,20
Windlasten	-	1,20	1,09

Mit Hilfe der quasistatischen Lastannahme werden zusätzlich dynamische Beanspruchungen des Tragwerks berücksichtigt. Die statischen Lasten werden mit Schwingbeiwerten vervielfacht und die mit einem starrkörperkinetischen Modell ermittelten Trägheitskräfte werden angesetzt. So wird das Auslegertragwerk beim Heben und Senken durch Kraftwirkungen beim Beschleunigen und Verzögern der Hublast dynamisch belastet. Die hierbei auf die Hublast wirkenden Trägheitskräfte gehen in die quasistatischen Lastannahmen der Norm [DIN 15018 T3] durch Multiplikation der Hublast mit dem Hublastbeiwert ψ ein.

Tabelle 3.4: Hublastbeiwerte ψ für die Hubklassen H1, H2

Hubklasse	Hublastbeiwert ψ	
	bei Hubgeschwindigkeiten v_H in m/min	
	bis 90	über 90
H1	$1,1 + 0,0022 v_H$	1,3
H2	$1,2 + 0,0044 v_H$	1,6

Der Hublastbeiwert ist abhängig von der Hubgeschwindigkeit und der Betriebsweise des Krans. Die Norm legt die Betriebsweise von Kranen fest, indem sie Hubklassen von H1, für geringe dynamische Beanspruchung, bis H4, für hohe dynamische Beanspruchung, definiert. Fahrzeugkrane sind nach DIN 15018 Teil 3 [DIN 15018 T3] in die Hubklassen H1

(Fahrzeugkrane für Montagebetrieb) oder H2 (Fahrzeugkrane für Montage- und zeitweiligen Umschlagbetrieb) einzustufen. In Abhängigkeit vom Hublastbeiwert ψ , der ein Maß für die dynamische Beanspruchung des gesamten Kransystems darstellt, wird nach Norm [DIN 15018 T3] zusätzlich eine Querbeschleunigung ϵ definiert, die senkrecht zur jeweiligen Auslegerlängsachse in der Ebene des Auslegersystems wirkt. Die aus der Querbeschleunigung ϵ resultierenden Massenkräfte erfassen näherungsweise die Biegebeanspruchungen der Ausleger. Die Querbeschleunigung ϵ wird nach gemäß folgender Beziehung errechnet:

$$\epsilon = \pm 3 (\psi - 1) \text{ in } m/s^2 \quad (3.1)$$

Die folgende Abbildung stellt die aus der Querbeschleunigung resultierenden Lasten bzw. Kräfte schematisch dar.

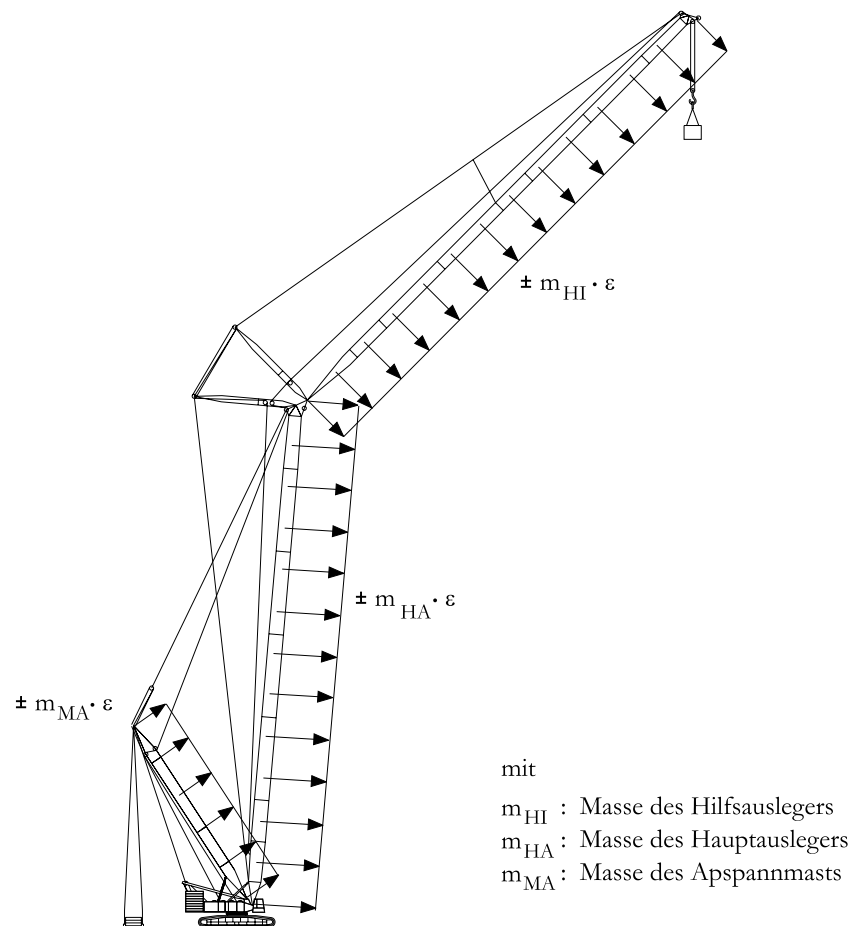


Abbildung 3.6: Beanspruchung des Tragwerks durch Biegeschwingungen

Wie bereits in Kapitel 3.2.2 erwähnt, werden die nach geltender Normvorschrift erforderlichen Nachweise mit den Ergebnissen statischer Berechnungen geführt. Darauf aufbauend werden nun die verwendeten Methoden sowie deren Einsatz zur Berechnung und Nachweisführung von Gittermast-Fahrzeugkränen beschrieben.

3.2.4 Klassifizierung

Die Statik als Untergruppe der Dynamik ist die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte an ruhenden Systemen [Mag-74]. Sie unterteilt sich in die beiden Bereiche:

- Stereo-Statik
- Elasto-Statik

Die Stereo-Statik ist die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte an starren, ruhenden Körpern. Die Körper können dabei als starr betrachtet werden. Zur Dimensionierung von Bauteilen ist dies jedoch nicht ausreichend, da hierzu deren innere Beanspruchungen bekannt sein müssen. Diese lassen sich nicht mehr aus den Gleichgewichtsbedingungen berechnen, da die Aufgabe statisch unbestimmt ist. Mit Hilfe der Elasto-Statik wird das Problem unter Berücksichtigung der Verformungen und ihres durch die Stoffgesetze bestimmten Zusammenhangs mit den Spannungen im Bauteil lösbar.

Statische Berechnungen von Gittermast-Fahrzeugkränen unterteilen sich in starrkörperstatische und elastostatische Berechnungen. In beiden Fällen bestehen die Berechnungsmodelle für die Kranstrukturen aus einer endlichen Anzahl von starren bzw. elastischen Körpern. Die Teilkörper können bereits Modelle mit sechs Freiheitsgraden im starren Fall und zusätzliche elastische Freiheitsgrade im elastischen Fall ergeben [Bre-92].

Bei den elastostatischen Berechnungen unterscheidet man Fragestellungen der geometrischen Linearität und der geometrischen Nichtlinearität. Bleiben die Verformungen der Körper klein und proportional zu den Beanspruchungen, spricht man von geometrisch linearen Problemen für linear-elastische Körper. Ist dies nicht der Fall, handelt es sich um geometrisch nichtlineare Probleme. Bei Auslegersystemen von Gittermast-Fahrzeugkränen liegen geometrisch nichtlineare Probleme vor. Sie weisen bezüglich ihrer Verformung unter Last ein ausgeprägt nichtlineares Verhalten auf.

Der starrkörperstatischen Berechnung liegt ein Stab-Knoten-Modell zugrunde, das aus Knoten, Elementen, Gelenken und Kräften besteht. Die elastostatische Berechnung ba-

siert auf der Methode der finiten Elemente (FEM). Der Berechnung liegt demzufolge ein FE-Modell zugrunde. Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt, entspricht diese Methode zur Berechnung von Fahrzeugkränen dem Stand der Technik. Je nach Bedarf wird eine der beiden Methoden zur Berechnung eingesetzt. In Tab. 3.5 sind die Nachweise nach Berechnungsmethoden eingeteilt dargestellt.

Tabelle 3.5: Berechnungsmethoden und Nachweise

Starrkörperberechnung	FE-Berechnung
- Standsicherheitsnachweis	- Festigkeitsnachweis
- Nachweis der Rollendrehverbindung	- Stabilitätsnachweis
- Nachweis der Haltestangen und -seile	
- Abheben des SL-Gegengewichts	
- Stützkraftnachweis	
- Nachweis der Seile	

FE-Berechnungen werden eingesetzt, um die Tragfähigkeit von Kransystemen bezüglich der Festigkeit und Stabilität zu ermitteln. Durch eine detailgenaue Abbildung des Krans liefern die Berechnungen genaue Aussagen zu den Verformungen und Spannungen der Struktur. Detaillierte FE-Modelle kompletter Fahrzeugkrane sind zwar die Voraussetzung für bestmögliche Ergebnisse, gestalten aber die Berechnungen aufwendig.

Im Vergleich dazu sind die Starrkörperberechnungen sowohl bezüglich der Modellbildung als auch bezüglich des Berechnungsverfahrens weniger aufwendig. Wenn möglich, werden daher die einfachen Nachweise auf der Basis starrkörperstatischer Berechnungen geführt. Darüberhinaus können Starrkörperberechnungen in frühen Phasen der Konstruktion zur Vorauslegung von Kransystemen verwendet werden.

Kapitel 4

Datenbankgrundlagen

In der heutigen Gesellschaft spielt der Zugriff auf Informationen und ihre Verwaltung eine immer wichtiger werdende Rolle - sei es für Unternehmen, Wissenschaftler oder Verwaltungen. Es wird geschätzt, daß sich die „Informationsmenge“ derzeit alle fünf Jahre verdoppelt [Kem-99]. Während in früheren Zeiten der Großteil der Information in Papierform vorlag, werden wir heute von einer Flut elektronischer Informationen überrollt. Deshalb gewinnen Datenbankverwaltungssysteme (DBMS) eine immer größere Bedeutung. Man findet heute kaum noch ein größeres Unternehmen, das nicht ein DBMS für seine Informationsverwaltung einsetzt.

4.1 Datenbanksysteme

Ein Datenbankverwaltungssystem besteht zum einen aus einer Menge von Daten und zum anderen aus Programmen zu deren Verarbeitung:

- Die gespeicherten Daten werden als Datenbasis bezeichnet. Diese enthält die miteinander in Beziehung stehenden Informationseinheiten, die zur Kontrolle und Steuerung eines Aufgabenbereichs notwendig sind.
- Die Gesamtheit aller Programme zum Zugriff auf die Datenbasis, zur Kontrolle der Konsistenz und zur Manipulation der Daten wird als Datenbankverwaltungssystem bezeichnet.

In den meisten Fällen werden diese beiden Komponenten aber auch weniger scharf getrennt, sodaß mit dem Begriff Datenbankverwaltungssystem (oder kürzer: Datenbanksys-

tem) sowohl die Datenbasis als auch die Verwaltungsprozesse gemeint sind. Die folgenden Kapitel geben einen kleinen Einblick in die Thematik von Datenbanksystemen.

4.1.1 Motivation

Zur Verarbeitung der vielfältigen und großen Informationsmengen gibt es in den meisten Unternehmen keine Alternative zum Einsatz eines Datenbanksystems. Ohne die Nutzung eines einheitlichen, globalen DBMS müßten alle Daten entweder auf Papier oder in isolierten Computerdateien abgelegt werden. Diese Arten der Informationsverwaltung bergen schwerwiegende Probleme:

- **Redundanz und Inkonsistenz**

Wenn Daten in isolierten Dateien gehalten werden, müssen dieselben Informationen bezüglich eines Anwendungsobjekts oft mehrfach, d.h. redundant gespeichert werden. Durch Änderungen der Daten kann es zu Inkonsistenzen kommen, sofern nicht alle Kopien der Daten einheitlich und gleichzeitig geändert und auf den aktuellen Informationsstand gebracht werden.

- **Beschränkte Zugriffsmöglichkeiten**

Die in isolierten Dateien gespeicherten Informationen können nicht miteinander verknüpft werden. Es ist unmöglich Informationen aus einer Datei mit anderen logisch verwandten Daten aus einer anderen Datei in Beziehung zu setzen.

- **Probleme des Mehrbenutzerbetriebs**

Die heutigen Dateisysteme bieten entweder gar keine oder nur rudimentäre Kontrollmechanismen für den Mehrbenutzerbetrieb. In den meisten Fällen werden Daten aber von vielen Anwendern gleichzeitig genutzt. Bei unkontrolliertem Zugriff kann es leicht zu unerwünschten Anomalien kommen.

- **Verlust von Daten**

Werden Daten in Dateisystemen gehalten, wird im Fehlerfall die Wiederherstellung eines konsistenten Zustands der Gesamtinformation schwierig. Im allgemeinen bieten Dateisysteme nur die Möglichkeit einer periodisch durchgeführten Sicherung der Daten. Daher sind Datenverluste während der Bearbeitung von Dateien nicht auszuschließen.

- **Verletzung der Datenintegrität**

Je nach Anwendungsgebiet gibt es vielfältigste, sich global über mehrere Informationseinheiten erstreckende, Integritätsbedingungen. Ihre Erhaltung ist bei einer isolierten Speicherung der Informationseinheiten in verschiedenen Dateien schwierig zu realisieren, da man zur Kontrolle Daten aus unterschiedlichen Dateien verknüpfen muß. Außerdem will man neben der Prüfung der Konsistenzbedingungen insbesondere ihre Einhaltung erzwingen. In diesem Fall sollen solche Datenmanipulationen unterbunden werden, die zu einer Verletzung der Integrität führen.

- **Probleme mit der Datensicherheit**

Nicht alle Benutzer sollten Zugriff auf die gesamten gespeicherten Daten haben. Darüberhinaus sollten nur bestimmte, ausgewählte Anwender das Privileg haben, Daten zu ändern.

Durch den Einsatz eines Datenbankverwaltungssystems können die aufgeführten Probleme einer Datenhaltung im Dateisystem oder sogar in Papierform vermieden werden. In einem globalen, integrierten DBMS wird die gesamte Information einheitlich modelliert, sodaß sich alle Daten flexibel miteinander verknüpfen lassen. Unkontrollierte Redundanzen werden vermieden und Transaktionen nur dann vollzogen, wenn sie die Datenbasis in einen konsistenten Zustand überführen. Weiterhin bieten DBMS sowohl die Möglichkeit, die Zugriffsrechte flexibel an einzelne Benutzer oder Gruppen zu übertragen als auch eine Mehrbenutzerkontrolle, die unerwünschte Anomalien des Mehrbenutzerbetriebs ausschließt. Schließlich besitzen DBMS eine Recoverykomponente, die den Anwender für alle Fehlerfälle vor Datenverlust sichern soll. Auf Grund der genannten Vorteile bildet ein Datenbankverwaltungssystem folglich die Basis für das in vorliegender Arbeit entwickelte Berechnungssystem für Gittermast-Fahrzeugkrane.

4.1.2 Datenabstraktion und -unabhängigkeit

Integrierte Datenbanksysteme sollen die Verwaltung der Daten übernehmen. Im Idealfall existiert in einem Unternehmen hierzu nur eine Datenbank und somit auch nur eine Datenbankstruktur. Diese Struktur ist das konzeptionelle Schema der Datenbank und hat eine fundamentale Bedeutung für die gesamte Verwendung der in der Datenbank aufbewahrten Daten. Sie stellt die logische Gesamtsicht aller Daten dar. Für viele Benutzer bzw. Benutzergruppen genügt ein kleiner Ausschnitt dieses Gesamtmodells zur Erledigung der mit den

Daten auszuführenden Aufgaben. Jeder einzelne dieser Modellausschnitte ist aus der logischen Gesamtsicht aller Daten ableitbar. Darüberhinaus muß intern im Datenbanksystem dafür gesorgt werden, daß die Daten auf den dafür zur Verfügung stehenden Speichermedien physisch abgelegt werden, und daß man in geeigneter Form darauf zugreifen kann. Somit können in einem Datenbanksystem die in Abb. 4.1 dargestellten drei Abstraktionsebenen unterschieden werden:

- **Die physische (interne) Ebene**

Auf dieser Ebene wird definiert, wie die Daten gespeichert sind. In den meisten Fällen sind die Daten auf dem Hintergrundspeicher (i.a. Plattenspeicher) abgelegt.

- **Die logische (konzeptionelle) Ebene**

Auf der logischen Ebene wird in einem Datenbankschema festgelegt, welche Daten gehalten werden.

- **Die Benutzersichten (externe Ebene)**

Die Sichten stellen in Modellausschnitten Teilmengen der gesamten Informationsmenge bereit. Sie sind auf die Bedürfnisse der jeweiligen Benutzer zugeschnitten.

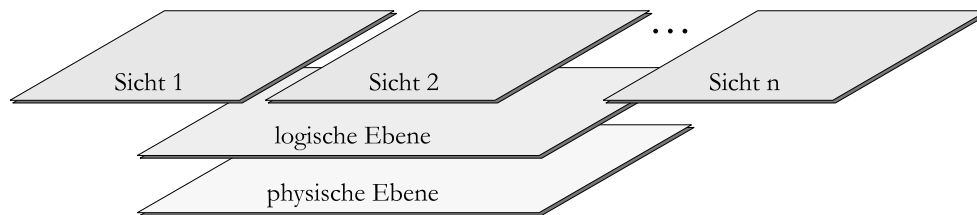


Abbildung 4.1: Abstraktionsebenen eines Datenbanksystems

Die drei Ebenen eines Datenbanksystems gewährleisten einen bestimmten Grad der Datenunabhängigkeit. Durch eine strikte Trennung wird bezweckt, daß Änderungen auf der physischen Ebene vorgenommen werden können, ohne daß die logische Ebene davon berührt wird. Ebenso können bestimmte Änderungen auf der konzeptionellen Ebene vorgenommen werden, ohne daß bereits existierende Benutzersichten davon beeinflusst werden. Das bedeutet für externe Benutzergruppen, daß Programme, die mit den Daten der Datenbank operieren, sowohl physisch als auch logisch datenunabhängig sind. Dadurch sind bei Änderungen des Datenmodells Programmanpassungen nicht mehr notwendig.

Die heutigen DBMS erfüllen zumeist die physische Datenunabhängigkeit. Die logische Datenunabhängigkeit kann schon rein konzeptuell nur für einfachste Modifikationen des Datenbankschemas gewährleistet werden [Kem-99].

4.1.3 Datenmodelle

Ein Datenmodell bildet die Grundlage eines Datenbankverwaltungssystems. Seine Aufgabe liegt in der formalen Beschreibung aller Objekte der realen Welt, unabhängig von jeglichen Gesichtspunkten der Datenverarbeitung. Das Datenmodell legt die Modellierungskonstrukte fest, mittels derer man das Informationsabbild der realen Welt generieren kann und beinhaltet sowohl die Möglichkeit zur Beschreibung der Datenobjekte als auch zur Festlegung der anwendbaren Operatoren.

Analog zu einer Programmiersprache legt das Datenmodell die generischen Strukturen und Operatoren fest, die man zur Modellierung von Anwendungen ausnutzen kann. Folglich besteht das Datenmodell aus den beiden Teilsprachen:

- Datenmanipulationssprache (DML)
- Datendefinitionssprache (DDL)

Die DML wird zur Änderung von abgespeicherten Datenobjekten, zum Einfügen von Daten und zum Löschen von gespeicherten Daten benutzt. Sie kann auf zwei unterschiedliche Arten eingesetzt werden: Entweder interaktiv durch die Eingabe von DML-Kommandos direkt am Arbeitsplatzrechner oder eingebettet in Programme einer höheren Programmiersprache (Embedded DML).

Im Vergleich dient die DDL zur Strukturbeschreibung der abzuspeichernden Datenobjekte, wobei gleichartige Datenobjekte durch ein gemeinsames Schema beschrieben werden. Die Beschreibung der Struktur aller Datenobjekte des betrachteten Anwendungsbereichs wird als Datenbankschema bezeichnet. Das Schema sagt allerdings noch nichts über die individuellen Datenobjekte aus. Deshalb kann man das Schema auch als Metadaten - also Daten über den Daten - verstehen [Kem-99]. Unter der Datenausprägung versteht man demgegenüber den aktuell gültigen Zustand der Datenbasis. Die Datenausprägung muß also den im Schema definierten Strukturbeschreibungen der Daten folgen. Man geht davon aus, daß sich das einmal festgelegte Datenbankschema sehr selten ändert, die Datenausprägung aber laufenden Veränderungen unterliegt.

Gemäß den in Abb. 4.2 dargestellten Phasen der Datenmodellierung unterscheidet man bei Datenmodellen zwischen Modellen des konzeptionellen Entwurfs und logischen oder Implementationsdatenmodellen.

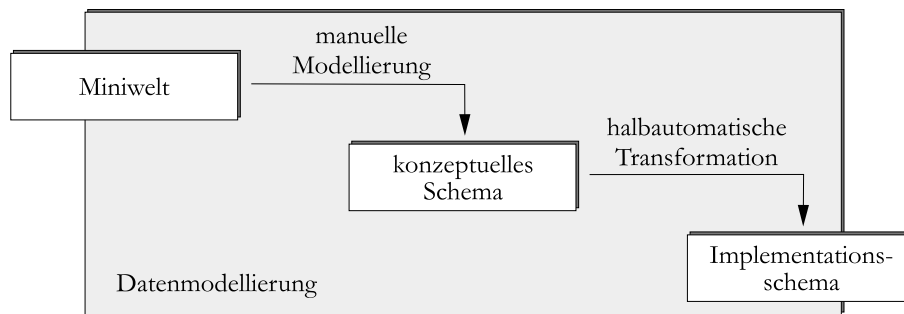


Abbildung 4.2: Übersicht der Datenmodellierung

Zu Beginn der Datenmodellbildung grenzt man einen Teil der realen Welt ab, um den Teilausschnitt (Miniwelt) zu bestimmen, der in der Datenbank modelliert werden soll. Diese eingegrenzte Miniwelt wird dann konzeptuell modelliert. Die verwendbaren Datenmodelle werden im folgenden Absatz beschrieben.

4.1.4 Modelle des konzeptuellen Entwurfs

Zur Entwicklung eines konzeptionellen Schemas einer definierten Miniwelt stehen mehrere mögliche Datenmodelle zur Verfügung:

- Entity-Relationship-Modell
- semantisches Modell
- funktionales Modell
- objektorientierte Entwurfsmodelle

Das Entity-Relationship-Modell (kurz: ER-Modell) ist das am häufigsten eingesetzte Modell für den konzeptuellen Entwurf. Es stellt die in der realen Welt vorkommenden Konzepte als Gegenstandsmengen und Beziehungen zwischen diesen Gegenstandsmengen dar. Folglich bildet ein ER-Modell die Grundlage für das Datenbankschema des in vorliegender Arbeit entwickelten Berechnungssystems.

Ähnlich der ER-Modellierung werden auch beim Entwurf objektorientierter Anwendungen Objekttypen und deren Beziehungen bestimmt. Zusätzlich wird aber die Modellierung des Verhaltens in den Entwurf integriert. Man kann die Methodologie des objektorientierten Entwurfs daher als Erweiterung der ER-Entwurfsmethode verstehen.

Die konzeptuellen Datenmodelle verfügen im allgemeinen nur über eine Datendefinitionssprache, da sie nur die Struktur der Daten beschreiben. Sie bilden keine individuellen Datenobjekte ab, d.h. es werden keine Datenausprägungen generiert. Deshalb benötigen sie auch keine DML.

4.1.5 Logische Datenmodelle

Die bisher beschriebenen Datenmodelle für den konzeptuellen Entwurf sind meist reine Beschreibungsmodelle mit vielfältigen Modellierungskonstrukten, um die Gesetzmäßigkeiten der realen Welt bestmöglich abbilden zu können. Daher ist das konzeptuelle Schema in dieser Form nicht als Implementationsschema geeignet. Die logische Ebene eines DBMS wird von einem der folgenden Datenmodelle gebildet:

- hierarchisches Datenmodell
- Netzwerkmodell
- relationales Datenmodell
- objektorientiertes Datenmodell
- deduktives Datenmodell

In einem hierarchischen Datenmodell wird die reale Welt durch eine Baumstruktur streng hierarchisch abgebildet. Demzufolge besteht es aus Daten, zwischen denen ausschließlich hierarchische Beziehungen bestehen [Schla-83]. Im Netzwerkmodell wird das die Realität abbildende Modell als Netzwerk dargestellt. Im Gegensatz zum hierarchischen Datenmodell kann ein Objekt mehrere übergeordnete Objekte besitzen. Beide Datenmodelle werden oft als satzorientierte Datenmodelle zusammengefaßt. Sie haben heute fast nur noch historische Bedeutung [Kem-99].

Das relationale Datenmodell beinhaltet einen mengenorientierten Ansatz, in dem die Daten nicht strukturiert, wie in den beiden erstgenannten Modellen, sondern als Menge

dargestellt werden. Sowohl das deduktive als auch das objektorientierte Datenmodell stellen eine Erweiterung des relationalen Modells dar. Während das deduktive Modell um eine Regelkomponente erweitert ist, integriert das objektorientierte Datenmodell Verhaltens- und Strukturbeschreibungen in einer einheitlichen Objekttyp-Definition.

Nach Dömök [Döm-95] ist ein relationales Datenbanksystem zur Speicherung und Verwaltung aller Daten einer Fahrzeugkranberechnung am besten geeignet. Es ermöglicht die Speicherung großer, auch unformatierter Datenmengen und ist bezüglich Änderungen in der Datenstruktur flexibel. Außerdem ermöglicht es eine einfache Abbildung des modularen Aufbaus von Gittermast-Fahrzeugkränen. Hinzu kommt, daß das relationale Datenmodell unter den heutigen Datenbanksystemen vorherrschend ist.

Zur Realisierung des datenbankbasierten Programmsystems wird daher in vorliegender Arbeit als Implementations-Datenmodell das relationale Modell verwendet. Als konzeptuelles Datenmodell kommt nach Kapitel 4.1.4 das Entity-Relationship-Modell zum Einsatz. Im weiteren Verlauf des Kapitels wird deshalb näher auf die Methode der ER-Modellierung und das relationale Datenmodell eingegangen.

4.2 Grundlagen der Datenmodellierung

Aufbauend auf Kapitel 4.1.3 kann man beim Entwurf einer Datenbankanwendung drei Abstraktionsebenen unterscheiden:

- konzeptuelle Ebene
- Implementationsebene
- physische Ebene

Auf der konzeptuellen Ebene wird der projektierte Anwendungsbereich strukturiert. Dieser konzeptuelle Entwurf erfolgt unabhängig von dem zum Einsatz kommenden Datenbanksystem mit Hilfe der Entity-Relationship-Methode. Die Implementationsebene dient dazu, die Datenbankanwendung in den Konzepten des zum Einsatz kommenden Datenbanksystems zu modellieren. Beim relationalen Modell hat man es hierbei mit Relationen, Tupeln und Attributen zu tun. Im physischen Entwurf geht es darum die Leistungsfähigkeit der Datenbankanwendung zu erhöhen. Die betrachteten Strukturen sind beispielsweise Datenblöcke oder Indizes.

4.2.1 Phasen des Datenbankentwurfs

Zur Beschreibung eines Ausschnitts aus der realen Welt bis hin zur Festlegung der eigentlichen Datenbank sind die in Abb. 4.3 dargestellten drei Schritte notwendig. Sie orientieren sich an den oben beschriebenen Abstraktionsebenen einer Datenbankanwendung.

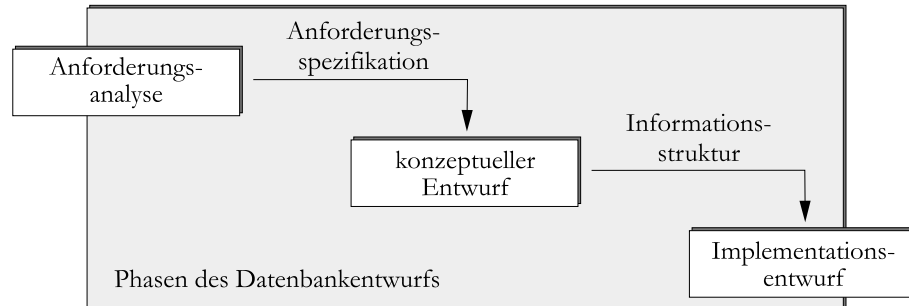


Abbildung 4.3: Phasen des Datenbankentwurfs

Wie in jeder semantischen Entwurfsmethodik beginnt man auch im Datenbankentwurf mit einer Anforderungs- oder Datenanalyse. Hierbei geht es darum, zusammen mit dem Benutzer die für das Informationssystem notwendigen Daten und deren Beziehungen samt Mengengerüst zu entwickeln. In der Analyse müssen sowohl die Informationsanforderungen der zu modellierenden Miniwelt als auch die Datenverarbeitungsvorgänge berücksichtigt werden. Das erstellte Entwurfsdokument wird als Anforderungsspezifikation oder Pflichtenheft bezeichnet.

Im nächsten Abstraktionsschritt erfolgt der konzeptuelle Entwurf in Form eines Entity-Relationship-Modells. In diesem Modell werden Gegenstände der realen Welt zu Gegenstandsmengen und Beziehungen zwischen den Gegenständen zu Beziehungstypen abstrahiert. Zusätzlich werden den Gegenstandsmengen und den Beziehungstypen Attribute zugeordnet. Dieser konzeptuelle Entwurf ist noch gänzlich unabhängig vom später eingesetzten Datenbanksystem.

Das Datenmodell des eingesetzten DBMS wird erst im letzten Schritt, dem Implementationsentwurf, festgelegt. Jetzt wird das ER-Modell in eine entsprechende logische Datenbankstruktur überführt. Das Implementationschema für das entwickelte Berechnungssystem entspricht einem relationalen Datenmodell. Da ein relationales DBMS nur Tabellen zulässt, müssen sowohl die Gegenstandsmengen als auch die Beziehungstypen in Tabellenform ausgedrückt werden.

4.2.2 Das Entity-Relationship-Modell

Die grundlegendsten Modellierungsstrukturen von Entity-Relationship-Modellen sind Gegenstände (Entities) und Beziehungen (Assoziationen oder Relationships) [Chen-76]. Zusätzlich stehen Merkmale (Attribute) zur Verfügung, um die Gegenstände und Beziehungen des Modells zu charakterisieren oder zu identifizieren.

Unter Entity versteht man ein bestimmtes, d.h. von anderen unterscheidbares Objekt der realen Welt oder unserer Vorstellung [Mei-95]. Dabei kann es sich um ein Individuum, einen Gegenstand oder um einen abstrakten Begriff handeln. Entities des gleichen Typs werden zu Entitymengen oder -typen zusammengefaßt und durch Attribute genauer beschrieben. Eine minimale Menge von Attributen, deren Werte das zugeordnete Entity eindeutig innerhalb aller Entities seines Typs identifiziert, nennt man Identifikations- oder Primärschlüssel. Oft gibt es einzelne Attribute, die als Schlüssel künstlich eingebaut werden müssen, um die Forderung der Eindeutigkeit zu erfüllen. Manchmal gibt es aber auch zwei unterschiedliche Schlüsselkandidaten, von denen einer auszuwählen ist.

Neben den Entities selbst sind Beziehungen zwischen ihnen von Bedeutung. Beziehungen werden auf analoge Weise wie Entitytypen zu Beziehungstypen zwischen den Entitymengen abstrahiert und können ebenso durch eigene Merkmale charakterisiert werden.

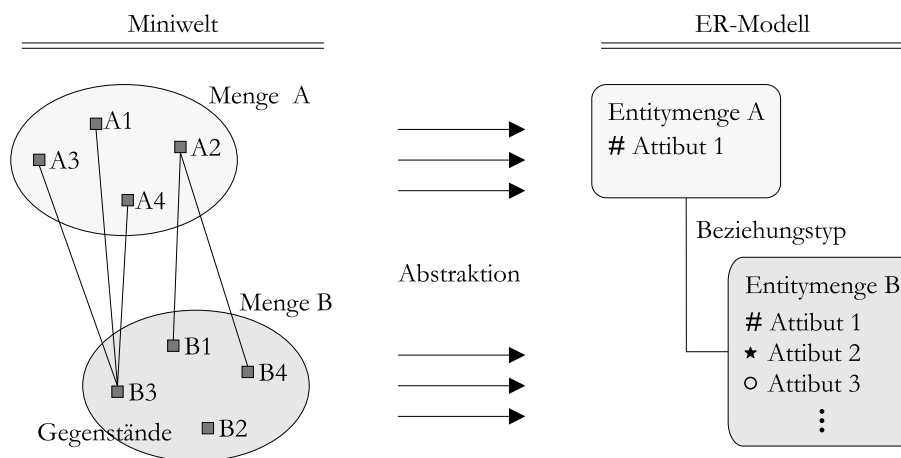


Abbildung 4.4: Grafische Darstellung eines ER-Modells

In Abb. 4.4 ist der Abstraktionsschritt von einem Teilausschnitt der realen Welt zu einem Informationsmodell grafisch dargestellt. Im Modell werden Entitymengen als abgerundete Rechtecke und Beziehungstypen als Verbindungslinien zwischen den abgerundeten

Rechtecken abgebildet. Weiterhin unterscheiden sich die eine Entitymenge charakterisierenden Attribute in verschiedene Typen, die im Modell durch bestimmte vorangestellte Symbole gekennzeichnet werden:

- Primärschlüssel-Attribut (#)
- Zwingendes Attribut (★)
- Optionales Attribut (○)

Ein oder mehrere Primärschlüssel-Attribute bilden den eindeutigen Identifikationsschlüssel einer Entitymenge. Durch die Unterscheidung in zwingende und optionale Attribute wird für ein bestimmtes Attribut festgelegt, ob die zugeordnete Entity durch dieses Attribut beschrieben werden muß (obligatorisch) oder kann (optional). Dieser Unterschied kommt jedoch erst bei einer späteren Datenausprägung zum Tragen.

Nachdem die grundlegendsten Modellierungsstrukturen von Entity-Relationship-Modellen sowie deren grafische Darstellung geklärt sind, werden im folgenden verschiedene Charakteristika von Beziehungs- und Entitytypen beschrieben.

4.2.3 Charakteristika von Beziehungstypen

Ein Beziehungstyp zwischen den Entitytypen E_1, E_2, \dots, E_n kann als Relation im mathematischen Sinn angesehen werden. Die Ausprägung der Beziehung R stellt demnach eine Teilmenge des kartesischen Produkts der an der Beziehung beteiligten Entitytypen dar [Kem-99]. Also gilt:

$$R \subseteq E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n \quad (4.1)$$

Man bezeichnet n als den Grad der Beziehung R . Die in der Praxis am häufigsten vorkommenden Beziehungstypen sind binär. Die Funktionalität einer Beziehung wird sowohl durch ihre Kardinalität als auch durch ihre Modalität charakterisiert. Hinsichtlich der Kardinalität kann man drei binäre Beziehungstypen zwischen den Entitytypen E_1 und E_2 unterscheiden:

- **1:1-Beziehung**

Jedem Entity e_1 aus E_1 ist höchstens ein Entity e_2 aus E_2 und umgekehrt jedem Entity e_2 aus E_2 höchstens ein Entity e_1 aus E_1 zugeordnet.

- **1:N-Beziehung**

Jedem Entity e_1 aus E_1 sind beliebig viele (also mehrere oder auch gar keine) Entities aus E_2 zugeordnet, aber jedes Entity e_2 aus E_2 steht mit maximal einem Entity aus E_1 in Beziehung.

- **N:M-Beziehung**

Es gelten keinerlei Restriktionen. Jedes Entity aus E_1 steht mit beliebig vielen Entities aus E_2 und umgekehrt jedes Entity aus E_2 steht mit beliebig vielen Entities aus E_1 in Beziehung.

In Abb. 4.5 sind die genannten Funktionalitäten der Beziehungstypen und ihre graphische Darstellung im ER-Modell veranschaulicht. Die Ovale stehen für die Entitytypen: das linke für den Entitytyp E_1 und das rechte für den Entitytyp E_2 . Die Quadrate innerhalb der Ovale stellen die Entities des jeweiligen Typs dar.

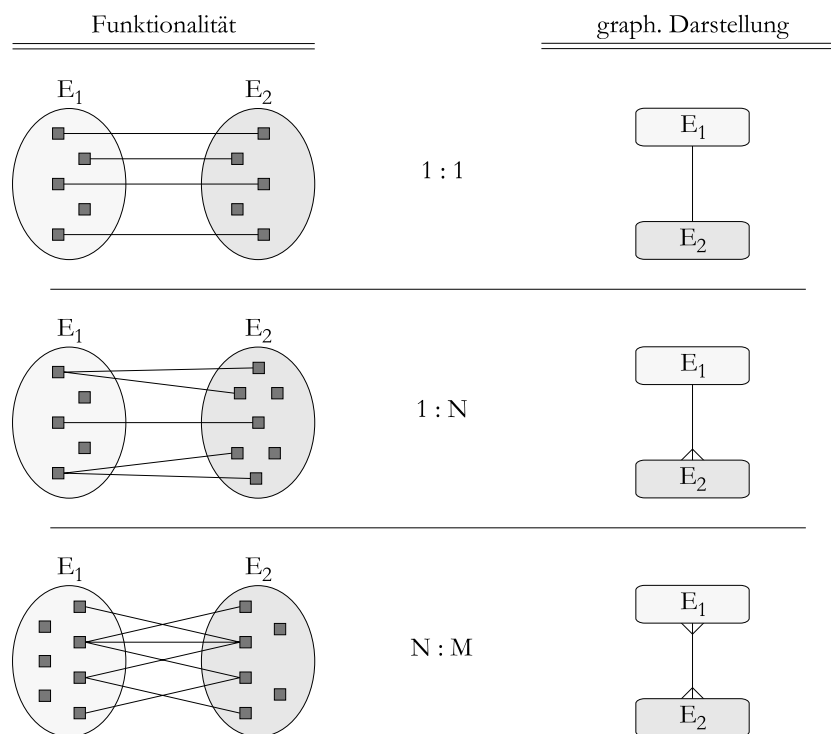


Abbildung 4.5: Funktionalität einer binären Beziehung

Neben der Kardinalität wird die Funktionalität von Beziehungstypen noch durch ihre Modalität charakterisiert. Die Modalität gibt an, ob es sich bei einem Beziehungstyp um

eine Muß-Beziehung (obligatorische Beziehung) oder um eine Kann-Beziehung (optionale Beziehung) handelt [ORACLE-96]. Während in einer obligatorischen Beziehung jedem Entity aus E_1 mindestens ein Entity aus E_2 oder umgekehrt jedem Entity aus E_2 mindestens ein Entity aus E_1 zugeordnet sein muß, kann es in optionalen Beziehungen auch Entities aus E_1 bzw. E_2 geben, die in keiner Beziehung zu einen anderen Entity stehen. Im ER-Modell werden obligatorische Beziehungstypen mit Hilfe von durchgezogenen Linien und optionale Beziehungstypen durch gestrichelte Linien dargestellt.

Beide Charakteristika, sowohl die Kardinalität als auch die Modalität sind immer für beide Richtungen eines Beziehungstyps festzulegen. Im Datenmodell repräsentieren die Funktionalitäten von Beziehungstypen Integritätsbedingungen, die in der zu modellierenden Welt immer gelten müssen. Sie stellen Gesetzmäßigkeiten dar, deren Einhaltung erzwungen wird.

4.2.4 Charakteristika von Entitytypen

Ein oder mehrere Primärschlüssel-Attribute bilden den eindeutigen Identifikationsschlüssel einer Entitymenge. Hinsichtlich der Zusammensetzung dieses Schlüssels unterscheidet man zwei Arten von Entities:

- reguläre Entities
- schwache Entities

Reguläre Entities existieren autonom und sind innerhalb ihrer Entitymenge über die Schlüsselattribute eindeutig identifizierbar. Für die sogenannten schwachen oder existenz-abhängigen Entities gilt dies nicht. Sie sind in ihrer Existenz von einem anderen Entity abhängig und meist nur in Kombination mit dem Schlüssel des zugeordneten Entities eindeutig identifizierbar.

Schwache Entities hingegen lassen sich nur durch ihre Beziehung zu anderen Entities identifizieren. Da eine solche Beziehung zur eindeutigen Identifikation eines schwachen Entities beiträgt, indem sie Bestandteil ihres Primärschlüssels wird, bezeichnet man sie auch als identifizierende Beziehung. Zum abhängigen Entity besitzt sie in den meisten Fällen eine 1:N-Kardinalität oder, in seltenen Fällen, eine 1:1-Kardinalität. Ihre Modalität muß jedoch obligatorisch sein. Im ER-Modell sind schwache Entities durch einen Querbalken in ihrer Beziehungslinie gekennzeichnet.

Bisher wurden die Grundlagen der Datenmodellierung unabhängig von dem zum Einsatz kommenden Datenbanksystem mit Hilfe der Entity-Relationship-Methode beschrieben. Hierauf aufbauend wird im nächsten Abschnitt das auf der Implementationsebene eingesetzte relationale Datenmodell vorgestellt.

4.3 Relationales Datenbankschema

Die Besonderheit des relationalen Datenmodells besteht in der mengenorientierten Verarbeitung der Daten. Im wesentlichen gibt es nur Relationen, in denen die Zeilen den Datenobjekten entsprechen. Die in den Relationen gespeicherten Daten werden durch entsprechende Operatoren ausschließlich mengenorientiert verknüpft [Codd-70]. In dieser einfachen Struktur liegt der Erfolg der relationalen Datenbanktechnologie, die heute eine marktdominierende Stellung besitzt.

4.3.1 Schema-Definition

In den meisten kommerziellen Datenbanksystemen werden die Relationen als flache Tabellen bezeichnet, weil man sich die Ausprägung einer Relation, wie Abb. 4.6 zeigt, als Tabelle veranschaulichen kann.

Tabelle			
# A	B	C	D
A 1	B 1	C 1	D 1
A 2	B 2	C 2	D 2
A 3	B 3	C 3	D 3
⋮	⋮	⋮	⋮

Spalte

Abbildung 4.6: Schema-Definition einer Relation

Die Spalten bezeichnet man als Attribute. Diese müssen innerhalb einer Relation eindeutig benannt sein. Zwei unterschiedliche Relationen dürfen aber gleiche Attributnamen enthalten. Die Zeilen (Datensätze) der Tabelle entsprechen den Tupeln der Relation. Das

eindeutige Identifizieren eines Datensatzes innerhalb der Tabelle wird durch das mit einem „#“ gekennzeichnete Attribut A ermöglicht. Aufgrund dieser Eigenschaft wird durch das Attribut A als Identifikationsschlüssel für die Tabelle festgelegt. Ein solcher Identifikationsschlüssel besitzt zwei wesentliche Eigenschaften: Sofern der Schlüssel eine echte Kombination von Attributen darstellt, muß diese Kombination minimal sein (Minimalität) und jeder Schlüsselwert identifiziert eindeutig einen Datensatz innerhalb einer Tabelle (Eindeutigkeit). Zusammenfassend versteht man unter einer Relation oder Tabelle eine Menge von Tupeln die folgende Eigenschaften erfüllen:

- Eine Tabelle besitzt einen eindeutigen Tabellennamen.
- Innerhalb einer Tabelle ist jeder Merkmalsname eindeutig und bezeichnet eine bestimmte Spalte mit der gewünschten Eigenschaft.
- Die Anzahl der Merkmale (Attribute) ist beliebig, die Ordnung der Spalten innerhalb der Tabelle ist bedeutungslos.
- Eines der Merkmale oder eine Merkmalskombination identifiziert eindeutig die Tupel innerhalb der Tabelle und wird als Primärschlüssel bezeichnet.
- Die Anzahl der Tupel einer Tabelle ist beliebig, die Ordnung der Tupel innerhalb der Tabelle ist bedeutungslos.

Aus dieser Definition ist ersichtlich, daß beim Relationenmodell jede Tabelle als Menge ungeordneter Tupel aufgefaßt werden kann. Aufgrund dieses Mengenbegriffs darf in einer Tabelle ein und dasselbe Tupel nur einmal vorkommen. Unter Verwendung der bisher vorgestellten Grundbegriffe und Zusammenhänge des Relationenmodells wird nachfolgend die Abbildung des ER-Modells auf ein relationales Datenbankschema beschrieben.

4.3.2 Umsetzung des konzeptuellen Schemas

Das Entity-Relationship-Modell besitzt zwei grundlegende Strukturierungskonzepte: Die Entitytypen und die Beziehungstypen. Diesen steht im relationalen Modell nur ein einziges Strukturierungskonzept - nämlich die Relation - gegenüber. Also werden bei der Abbildung eines Entity-Relationship-Modells auf ein relationales Datenbankschema sowohl Entitytypen als auch Beziehungstypen jeweils auf eine Relation abgebildet.

Unter einem Datenbankschema versteht man eine Datenbankbeschreibung, die eine Definition der Tabellen, Attribute, Primärschlüssel und Integritätsbedingungen enthält. Im ersten Abbildungsschritt, dem Initial-Entwurf, sind zur Überführung des ER-Modells in ein relationales Datenbankschema zwei Abbildungsregeln von Bedeutung:

- **Relationale Darstellung von Entitytypen**

Jede Entitymenge muß als eigenständige Tabelle mit einem eindeutigen Primärschlüssel definiert werden. Als Primärschlüssel der Tabelle dient in der Regel der entsprechende Schlüssel der Entitymenge. Die übrigen Merkmale des Entitytyps gehen in die korrespondierenden Attribute bzw. Spalten der Tabelle über.

- **Relationale Darstellung von Beziehungstypen**

Jede Beziehungsmenge kann als eigenständige Tabelle definiert werden. Die die Identifikationsschlüssel der zugehörigen Entitymengen müssen als Fremdschlüssel in dieser Tabelle auftreten. Der Primärschlüssel der Beziehungsmengentabelle kann der aus den Fremdschlüsseln zusammengesetzte Identifikationsschlüssel sein. Im Initial-Entwurf wird für jeden Beziehungstyp eine eigene Relation definiert - einige dieser Relationen können in der Verfeinerung des Schemas mit anderen Relationen zusammengefaßt und eliminiert werden. Weitere Merkmale der Beziehungsmenge erscheinen als zusätzliche Attribute in der Tabelle.

Als Fremdschlüssel einer Tabelle wird ein Attribut oder eine Attributkombination bezeichnet, die in derselben oder in einer anderen Tabelle als Identifikationsschlüssel auftritt. Somit dürfen Identifikationsschlüssel in weiteren Tabellen wiederverwendet werden, um die gewünschten Beziehungen zwischen den Tabellen herstellen zu können.

4.3.3 Schema-Verfeinerung

Das im Inertial-Entwurf erzeugte relationale Schema läßt sich durch eine differenzierte Art der Abbildung von Entity- und Beziehungstypen verfeinern. Dabei werden einige der Relationen eliminiert, die für die Modellierung von Beziehungstypen eingeführt wurden. Dies ist aber nur für solche Relationen möglich, die aus 1:1- oder 1:N-Beziehungen hervorgingen. Die Eliminierung von Relationen, die N:M-Beziehungen repräsentieren, ist nicht sinnvoll. Bei der Eliminierung von Relationen dürfen nur solche zusammengefaßt werden, die den gleichen Schlüssel besitzen.

Eine 1:N-Beziehungsmenge kann ohne eigenständige Beziehungsmengentabelle durch die beiden Tabellen der zugeordneten Entitätsmengen ausgedrückt werden. In der Tabelle mit der N-fachen Beziehung (Beziehungstyp N) wird ein Fremdschlüssel auf die referenzierte Tabelle mit eventuell weiteren Merkmalen der Beziehungsmenge geführt. Wie in Abb. 4.7 dargestellt, kann beim Verzicht auf eine eigenständige Tabelle für die Beziehung zwischen den Entitytypen E_1 und E_2 diese durch die bereits existierende Tabelle T_2 ausgedrückt werden, indem man T_2 durch einen Fremdschlüssel aus T_1 ergänzt.

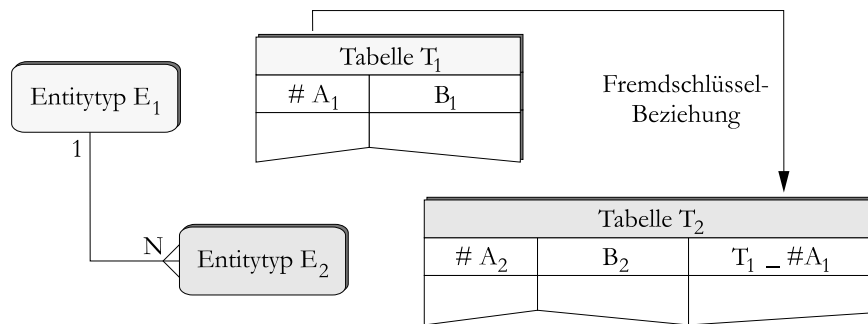


Abbildung 4.7: Abbildung einer 1:N-Beziehungsmenge

Eine 1:1-Beziehungsmenge kann ebenfalls ohne eine eigenständige Beziehungsmengentabelle durch die beiden Tabellen der zugeordneten Entitätsmengen ausgedrückt werden, indem einer der Identifikationsschlüssel der referenzierten Tabelle als Fremdschlüssel in die andere Tabelle eingebracht wird. In welche der beiden Tabellen der Fremdschlüssel eingefügt wird ist diesem Fall beliebig.

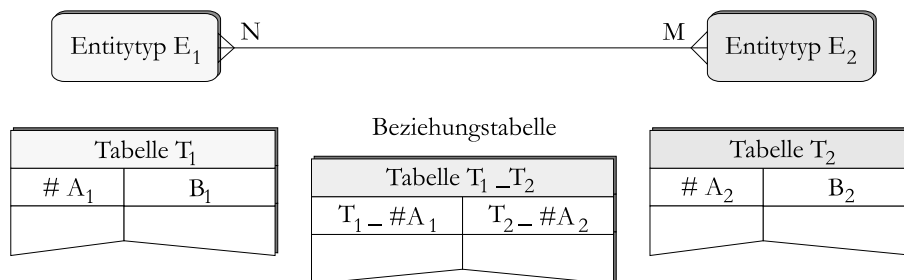


Abbildung 4.8: Abbildung einer N:M-Beziehungsmenge

Gemäß Abb. 4.8 muß im Gegensatz zu den beiden bisher genannten Beziehungstypen jede N:M-Beziehung als eigenständige Tabelle definiert werden. Dabei treten mindes-

tens die Identifikationsschlüssel der zugehörigen Entitätsmengen als Fremdschlüssel auf. Der Primärschlüssel der Beziehungsmengentabelle ist der aus den Fremdschlüsseln zusammengesetzte Identifikationsschlüssel. Die weiteren Merkmale der Beziehungsmenge gehen in Attribute der Tabelle über.

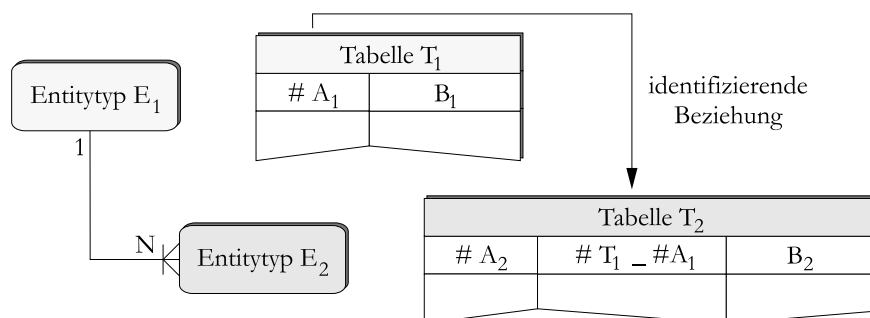


Abbildung 4.9: Abbildung einer identifizierenden Beziehung

Nach der Abbildung von 1:1-, 1:N- und N:M-Beziehungen fehlt noch die in Abb. 4.9 dargestellte relationale Repräsentation der bereits in Kapitel 4.2.4 erwähnten schwachen Entitätsmengen bzw. identifizierenden Beziehung. Diese Beziehung trägt zur eindeutigen Identifikation der schwachen Entitätsmenge bei, indem sie Bestandteil ihres Primärschlüssels wird. Exemplarisch hat die Tabelle T_2 also einen zusammengesetzten Schlüssel bestehend aus dem Identifikationsschlüssel A_1 der Tabelle T_1 und dem Schlüssel A_2 , der die Einträge der Tabelle T_2 eindeutig identifiziert.

Die genannten Abbildungsmöglichkeiten für Entity- und Beziehungstypen bilden die Grundlage zur Beschreibung der Struktur eines relationalen Datenbanksystems. Auf diesem Schema aufbauend unterstützt ein Datenbanksystem die Speicherung und Verarbeitung großer Datenmengen. Eine weitere Aufgabe eines DBMS liegt in der Gewährleistung der Konsistenz der gespeicherten Daten. Daher beschäftigt sich zum Abschluß der Datenbankgrundlagen folgendes Kapitel mit dem Thema Datenintegrität.

4.3.4 Strukturelle Integritätsregeln

Unter den Begriffen Integrität bzw. Konsistenz, die synonym verwendet werden, versteht man die Widerspruchsfreiheit von Datenbeständen. Die Datenintegrität ist dagegen verletzt, wenn Mehrdeutigkeiten oder widersprüchliche Sachverhalte vorkommen. Zur Erhaltung der Datenkonsistenz dienen Integritätsregeln bzw. Integritätsbedingungen. Eine Da-

tenbank befindet sich in einem konsistenten Zustand, wenn alle Integritätsbedingungen erfüllt sind. In diesem Fall sind die gespeicherten Daten fehlerfrei erfaßt und geben den gewünschten Informationsgehalt korrekt wieder.

Als strukturelle Integritätsbedingungen zur Gewährleistung der Konsistenz werden solche Regeln bezeichnet, die durch das Datenbankschema selbst ausgedrückt werden können [Mei-95]. Bei relationalen Datenbanksystemen zählen die folgenden Integritätsbedingungen zu den strukturellen:

- **Eindeutigkeitsbedingung**

Jede Tabelle besitzt einen Identifikationsschlüssel, der jedes Tupel in der Tabelle auf eindeutige Art bestimmt.

- **Wertebereichsbedingung**

Die Merkmale einer Tabelle können nur Datenwerte aus einem vordefinierten Wertebereich annehmen.

- **Referentielle Integritätsbedingung**

Jeder Wert eines Fremdschlüssels muß effektiv als Schlüsselwert in der referenzierten Tabelle existieren.

Die Eindeutigkeitsbedingung verlangt für jede Tabelle einen festgelegten Schlüssel. Das Prüfen von Primärschlüsseln auf Eindeutigkeit wird vom Datenbanksystem übernommen. Die Wertebereichsbedingung kann hingegen nicht vollständig vom Datenbanksystem gewährleistet werden. Zwar können die Wertebereiche einzelner Tabellenspalten spezifiziert werden, doch decken solche Angaben nur einen geringen Teil der Validierungsregeln ab. Außerdem bleibt es weitgehend dem Anwender überlassen, wie weit man bei einer solchen Validierung von Tabelleninhalten geht.

Eine andere wichtige Klasse von Prüfregeln wird unter dem Begriff der referentiellen Integrität zusammengefaßt. Eine relationale Datenbank erfüllt die referentielle Integritätsbedingung, wenn jeder Wert eines Fremdschlüssels als Wert beim zugehörigen Primärschlüssel vorkommt. Dieser Sachverhalt ist in Abb. 4.10 verdeutlicht. Die Gewährleistung der referentiellen Integrität besitzt einen wesentlichen Einfluß auf Datenbankoperationen zum Einfügen, Löschen und Ändern von Datensätzen. So wird beispielsweise eine Einfügeoperation in die Tabelle T_1 abgewiesen, falls man einen Datensatz mit einem Fremdschlüssel einfügen möchte, der in Tabelle T_2 nicht als Primärschlüssel vorhanden ist.

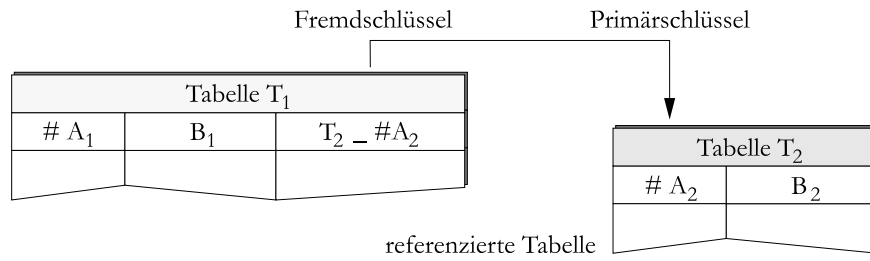


Abbildung 4.10: Gewährleistung der referentiellen Integrität

Neben den beschriebenen gibt es weitere Mechanismen zur Erhaltung der Datenintegrität bei Systemfehlern und unter Mehrbenutzerzugriff sowie Mechanismen zum Schutz vor unerlaubter Manipulation. In kommerziellen relationalen Datenbanksystemen ist eine zentrale automatische Überprüfung von Integritätsbedingungen erst seit neuerer Zeit enthalten. Der Vorteil eines solchen Mechanismus liegt auf der Hand: Wechselnde oder wachsende Konsistenzanforderungen brauchen nur einmalig dem DBMS in deklarativer Form bekannt gemacht und müssen nicht manuell in alle Anwendungsprogramme eingebaut werden. Damit werden Fehleranfälligkeit und Wartungsaufwand reduziert.

Kapitel 5

Automatisierte Berechnung

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3 dargestellten Grundlagen und Methoden zur Berechnung von Fahrzeugkränen befaßt sich dieses Kapitel mit dem eigentlichen Ablauf der Berechnung. Neben einer Analyse des Berechnungsprozesses werden Voraussetzungen, Potentiale und Möglichkeiten für dessen Automatisierung dargestellt.

Durch die zunehmende Globalisierung der Märkte in den letzten Jahren und die damit verbundene Frage der Standortsicherung besitzt die Automatisierung in den produzierenden Unternehmen einen immer höheren Stellenwert. Um auf den nationalen und internationalen Märkten konkurrenzfähig zu bleiben, ist eine stetige Qualitätssteigerung der Konstruktion und Berechnung unerlässlich. Speziell für Fahrzeugkrane bedeutet dies sowohl eine Erhöhung der Tragfähigkeit durch eine bessere Ausnutzung der Werkstoffe und genauere Berechnungsmethoden als auch eine Verkürzung der Entwicklungszeiten durch die Automatisierung und Integration des Berechnungsprozesses.

5.1 Grundlagen der Automatisierung

Unter Automatisierung versteht man die Befreiung des Menschen von der Ausführung immer wiederkehrender gleichartiger Tätigkeiten [Dol-57]. Nach Norm kann ein automatisiertes System selbsttätig auf der Grundlage eines Programms durch die Verknüpfung von Eingaben und Systemzuständen Ausgaben herbeiführen [DIN 19233]. Im übertragenen Sinne bedeutet dies eine Wandlung manueller Tätigkeiten zu automatisierten Arbeitsabläufen. Im Hinblick auf die Kranberechnung sind vorerst die Notwendigkeit und die Voraussetzungen für eine automatisierte Berechnung zu erläutern.

5.1.1 Notwendigkeit

Wie in Kapitel 2 beschrieben zeichnen sich Gittermast-Fahrzeugkrane durch eine Vielzahl unterschiedlicher Rüstzustände aus, die sich in ihren Auslegertypen, -längen oder -stellungen unterscheiden können. Abbildung 5.1 zeigt die Variationsmöglichkeiten der Auslegerlänge und -stellung exemplarisch an einer Hauptauslegerkonfiguration.

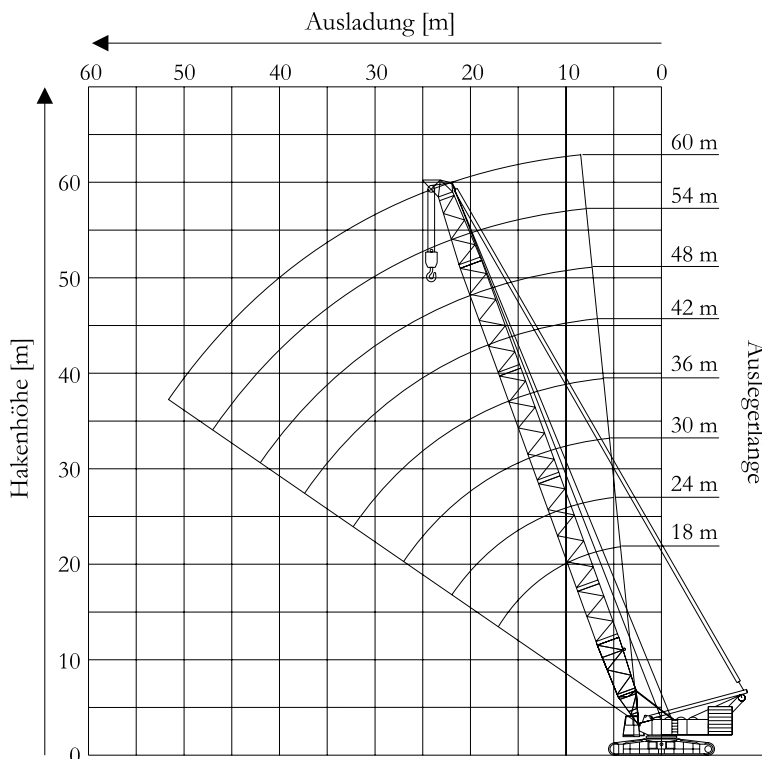


Abbildung 5.1: Variationen der Auslegerstellungen und -längen eines Krans

Die maximale Traglast eines Kransystems in einer bestimmten Stellung kennzeichnet einen Traglastpunkt. Eine Traglastkurve faßt als Funktion der Auslegerstellung alle Traglastpunkte zu einer Kurve zusammen. In Verbindung zu Abb. 5.1 zeigt Abb. 5.2 die zu den verschiedenen Krankonfigurationen passenden Traglastkurven. Mit ihrer Hilfe kann bei vorgegebener Hubhöhe, Ausladung und Traglast, das für diese Hubaufgabe am besten geeignete Kransystem ausgewählt werden.

Um eine Traglastkurve zu erhalten, sind aufgrund der bei Kranstrukturen unter Last auftretenden nichtlinearen Verhaltensweisen mindestens 4 Traglastpunkte zu bestimmen. Demzufolge sind für die in Abb. 5.1 dargestellten 6 unterschiedlichen Auslegerlängen min-

destens 24 Traglastpunkte zu berechnen. Für jeden einzelnen Traglastpunkt sind alle Nachweise nach Norm, wie sie in Kapitel 3.2.2 beschrieben sind, zu führen.

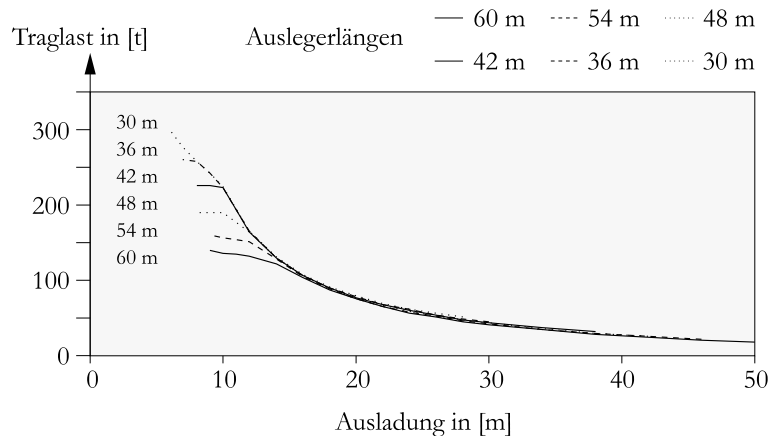


Abbildung 5.2: Traglastkurven verschiedener Krankonfigurationen

Zur erforderlichen Nachweisführung eines gesamten Kransystems bedeutet dies eine große Anzahl von Berechnungen. Um die Effektivität der umfangreichen Berechnungen für Fahrzeugkrane zu gewährleisten oder sogar zu erhöhen, sind neben der Entwicklung neuer Berechnungsmethoden fortlaufende Verbesserungen des Berechnungsprozesses notwendig. Erreicht werden könne diese Effektivitätssteigerungen im wesentlichen durch einen wachsenden Automatisierungsgrad der Berechnung. Detaillierte Analysen des Berechnungsablaufs liefern Ansatzpunkte hierfür.

5.1.2 Berechnungsprozeß

Im einfachsten Fall dient eine Berechnung dazu, mit definierten Vorgaben und Berücksichtigung gegebener Randbedingungen, Aussagen zu einem gegebenen Sachverhalt zu erlangen. Abbildung 5.3 stellt diese allgemeinen Anforderungen, bezogen auf die Berechnung von Fahrzeugkranen, dar. Um die gestellten Hubaufgaben zu erfüllen, werden Eingabegrößen der Berechnung, wie beispielsweise die maximale Hublast, die Krankonfiguration oder die Ausladung vorgegeben. Als Randbedingungen der Berechnung legen Normen die geforderten Nachweise fest. Darüberhinaus schränken Gesetze und Vorschriften die Konstruktion und Berechnung ein. Die angestrebten Ergebnisse der Berechnung sind optimierte Traglasten mit allen zugehörigen Nachweisen nach Norm.

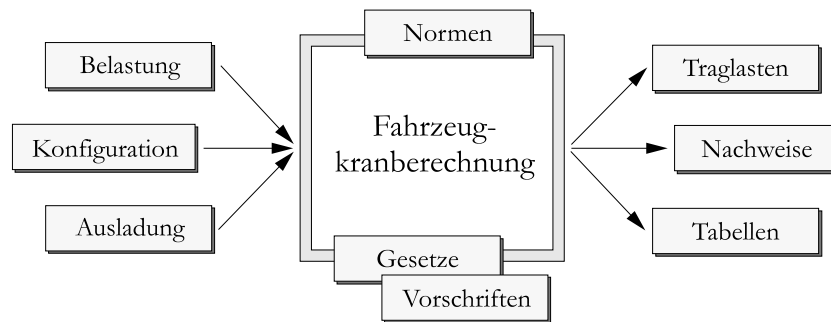


Abbildung 5.3: Anforderungen an die Berechnung von Fahrzeugkranen

Aus den allgemein formulierten Anforderungen ergibt sich der in Abb. 5.4 dargestellte Berechnungsprozeß. Er unterteilt sich in die drei Schritte Modellierung, Berechnung und Auswertung. In der Phase der Modellierung wird ein Modell der zu berechnenden Kranstruktur erstellt. Zu Beginn werden Bauteildaten und -zeichnungen in FE-Modelle umgesetzt, die als Grundlage zur späteren Generierung berechnungsfähiger Kranmodelle dienen. Dieser Vorgang stellt den wesentlichen, kreativen Teil der 3 Berechnungsstufen dar. Darüberhinaus werden die auf das gesamte Kransystem wirkenden Lasten definiert.

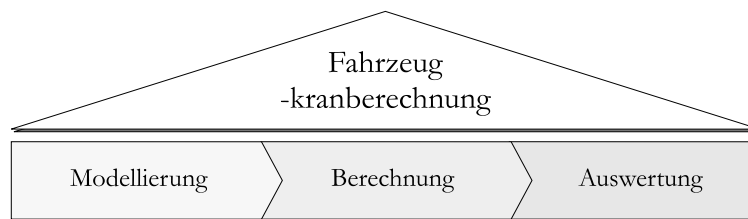


Abbildung 5.4: Phasen einer Fahrzeugkranberechnung

Die mathematisch korrekte Bearbeitung des Modells erfolgt im eigentlichen Berechnungslauf. Er hat die Aufgabe, ein gegebenes FE-Modell eines Fahrzeugkrans unter definierten Lasten und Randbedingungen zu berechnen. Voraussetzung hierfür ist ein fehlerfreies, konsistentes Kranmodell. Abschließend erfolgt die Auswertung und Dokumentation der gewonnenen Berechnungsergebnisse. Eine zielgerichtete Auswertung bildet die Grundlage für eine korrekte Interpretation der Ergebnisse. Sie ist die Voraussetzung für eine Optimierung des Kransystems und dessen Komponenten. Eine einheitliche und automatisierte Dokumentation der Ergebnisse trägt zur Verkürzung der Projektdauer bei.

5.1.3 Entwicklungsmöglichkeiten

Inhaltlich unterscheiden sich die auszuführenden Tätigkeiten in den drei Phasen der Berechnung erheblich. Automatisiert werden können nur diejenigen, die einen algorithmischen Charakter besitzen. Solche Vorgänge sind in unterschiedlichem Umfang in jeder Phase enthalten. Sie wiederholen sich während des Ablaufs einer Berechnung immer wieder.

Eine Automatisierung des Berechnungsablaufs führt zu einer Steigerung der Effektivität der gesamten Fahrzeugkranberechnung. Der zeitlichen Komponente für die Berechnung kommt diesbezüglich eine besondere Bedeutung zu. Bezogen auf den Zeitaufwand zeigt Abb. 5.5 qualitativ die Entwicklungsmöglichkeiten der einzelnen Berechnungsphasen. Insbesondere in den Phasen der Modellerstellung und Auswertung stehen Entwicklungsmöglichkeiten zur Verfügung, um den zeitlichen Aufwand, bezogen auf die jeweilige Phase und somit auch für die gesamte Berechnung, zu reduzieren [Döm-95].

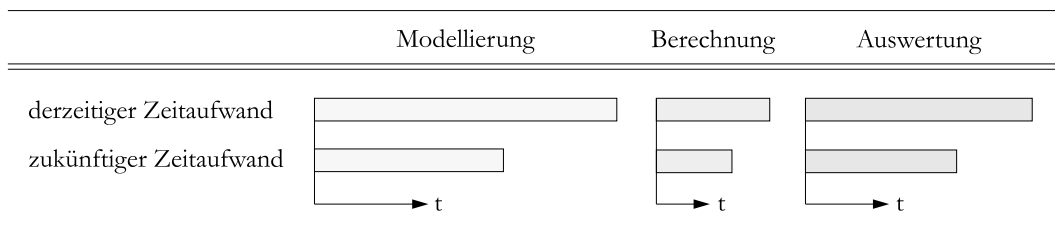


Abbildung 5.5: Entwicklung des Zeitaufwands der Berechnungsphasen

Die Phase der Modellerstellung erfordert den größten zeitlichen Aufwand innerhalb der Berechnung. Dies betrifft die Modellierung von Bauteilen und die Erstellung von kompletten Rüstzuständen einschließlich aller Lasten. Mit Berücksichtigung bisheriger Forschungsarbeiten sollen gerade in diesem Bereich neue Konzepte eine schnellere Modellbildung unterstützen und zur Reduzierung des Zeitaufwands beitragen. Die eigentliche Berechnung erfordert nach wie vor fast ausschließlich Rechenzeit. Dieser Zeitaufwand ist daher im wesentlichen von der zur Verfügung stehenden Rechnerleistung abhängig. Zur schnelleren und genaueren Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse sind, ebenso wie in der Modellierungsphase, Automatismen erforderlich, die eine Auswertung der Berechnungsergebnisse vereinfachen und beschleunigen.

Eine durchgängige Automatisierung des gesamten Berechnungsprozesses umfaßt auch die Kopplung der einzelnen Phasen Modellierung, Berechnung und Auswertung. Um hier

Effektivitätssteigerungen erzielen zu können sind Automatismen zur Verknüpfung der einzelnen Phasen zu realisieren. Die Umstellung von manueller Arbeit auf einen automatisierten Arbeitsablauf beinhaltet eine Reduzierung der Benutzereingaben auf ein Minimum für die Bedienung und Kontrolle der Software. Aus diesem Grund sind zusätzlich neue Konzepte zur Verwaltung der Daten, die während einer Berechnung anfallen, zu erarbeiten. Wie bereits in Kapitel 2.3 beschrieben, soll ein transparentes und flexibles Berechnungssystem für Fahrzeugkrane auf der Basis einer zentralen Datenhaltung alle Bereiche der Berechnung integrieren. Bedingt durch einen hohen Grad der Automatisierung, einer geordneten Datenhaltung sowie einer grafischen Benutzeroberfläche soll eine Steigerung der Effektivität der gesamten Kranberechnung erzielt werden.

In den folgenden Kapiteln wird der Berechnungsprozeß auf Automatisierungsmöglichkeiten analysiert. Da sich die einzelnen Phasen inhaltlich stark unterscheiden, werden die Methoden der automatisierten Berechnung für jeden Teilschritt gesondert beschrieben.

5.2 Prozeßschritt: Modellierung

Die erste Phase einer Fahrzeugkranberechnung ist die Modellierung. Sie wird auch als Pre-Processing bezeichnet. Ihr Ziel ist die Generierung eines Rechenmodells der Kranstruktur. Hierzu sind die in Abb. 5.6 dargestellten Einzelschritte zu durchlaufen.

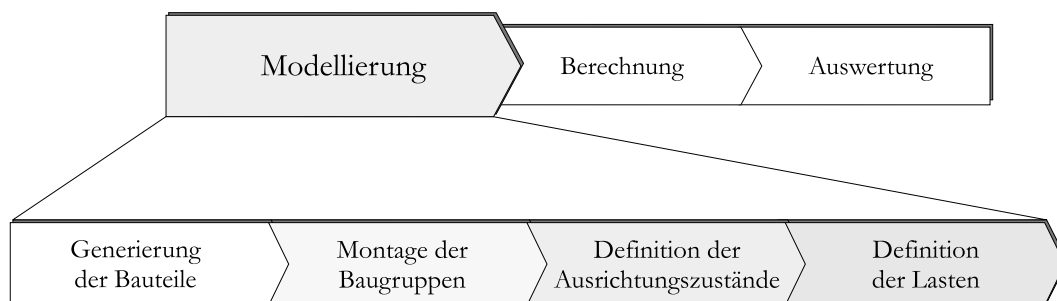


Abbildung 5.6: Einzelschritte der Modellierung

Gittermast-Fahrzeugkrane sind nach dem Baukastenprinzip konstruiert. Die Bauteile bilden die Bausteine erster Stufe des Baukastens. Sie werden auf der nächsten Ebene zu Baugruppen, Bausteinen zweiter Stufe, montiert. Zusammen mit der Seildefinition werden die Baugruppen im dritten Schritt zu vollständigen Krankonfigurationen, den sogenann-

ten Ausrichtungszuständen kombiniert. Die Umsetzung des Baukastenprinzips zur Modellgenerierung beruht auf dem Konzept der drei Hierarchieebenen Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand [Döm-95]. Abbildung 5.7 verdeutlicht das Konzept der Modellierungsebenen und zeigt jeweils Beispiele.

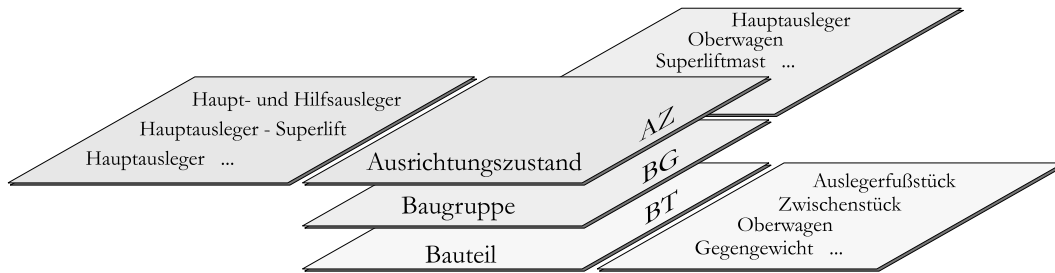


Abbildung 5.7: Ebenen der Modellgenerierung

Mit Lasten beaufschlagte Ausrichtungszustände ergeben schließlich die Rüstzustände. Sie stellen das Ziel der Modellierung dar und enthalten alle zur Berechnung erforderlichen Modelldaten. Die folgenden Abschnitte verdeutlichen zuerst die Konzepte und Vorgehensweisen bei der Abbildung von Bauteilen, Baugruppen und Ausrichtungszuständen innerhalb des beschriebenen Modellierungsprozesses und zeigen anschließend die Möglichkeiten zur automatisierten Lastdefinition auf.

5.2.1 Generierung der Bauteile

Die Bauteile eines Gittermast-Fahrzeugkrans unterscheidet man in Gittermast-Bauteile und Sonderbauteile. Zu den Gittermast-Bauteilen gehören die regelmäßigen Zwischenstücke mit einer konischen oder prismatischen Form und einer regelmäßigen Ausfachung der Gittermaststäbe. Ebenso gehören dazu die unregelmäßigen Gittermast-Bauteile, die durch eine unsymmetrische Anordnung der Gittermaststäbe gekennzeichnet sind. Diese ergibt sich aus der konstruktiven Gestaltung einzelner Anschlüsse oder aus Krafteinleitungspunkten wie Seiltrommeln, Seilrollen oder Anschlüssen für Haltestangen oder Zylinder. Während unregelmäßige Gittermast-Bauteile meist Anfangs- und Endbauteile eines Auslegers bilden, dienen Zwischenstücke in der Regel der variablen Gestaltung der Auslegerlänge. Zu den Sonderbauteilen einer Kranstruktur zählen alle Nicht-Gittermast-Bauteile wie beispielsweise die komplette Unterstruktur, bestehend aus Ober- und Unterwagen, die Gegengewichtsmimik oder der Aufrichtebock.

Im ersten Schritt der Modellgenerierung werden alle Bauteile für das Baukastensystem des Gittermast-Fahrzeugkrans einzeln generiert. Für die unterschiedlichen Bauteile eines Kransystems kommen verschiedenste Modellierungstechniken zum Einsatz [Döm-95, Kle-96]. Bezieht man in das Konzept der Bauteilgenerierung informations- und berechnungstechnische Gesichtspunkte mit ein, ergibt sich die Notwendigkeit verschiedene Typen von Bauteilmodellen zu entwickeln.

Zum einen deshalb, weil man in einer frühen Phase der Projektierung eines neuen Kransystems noch nicht auf konstruktive Detailinformationen zurückzugreifen kann. Demzufolge ist die Generierung exakter, korrekter Bauteilmodelle in diesem Stadium nicht möglich. Dennoch müssen Berechnungen der Struktur, auch ohne detaillierte Bauteilinformationen, möglich sein. Zum anderen, weil sich die statischen Berechnungsmethoden von Gittermast-Fahrzeugkranen in die in Kapitel 3.2.4 beschriebenen starrkörperstatischen und elastostatischen Berechnungen untergliedern, und die Anwendung beider Methoden basierend auf den gleichen Modelldaten möglich sein muß.

Zusammengefaßt muß ein Bauteilmodell einfach und schnell zu generieren, bezüglich Änderungen flexibel, und auf die Berechnung abgestimmt sein. Um all diesen Anforderungen zu entsprechen stehen zur Generierung der Bauteile die beiden Modelltypen

- Basismodell (BSM)
- Einzelstabmodell (ESM)

zur Verfügung. Die beiden Modelle besitzen sowohl gemeinsame als auch spezifische Eigenschaften, die in Tab. 5.1 als Modellattribute aufgelistet sind.

Tabelle 5.1: Attribute der Modelltypen

Modelltyp	Attribut
Basismodell	Masse, Schwerpunkt, Länge, Anschlüsse
Einzelstabmodell	Anschlüsse, Einzelstäbe, Materialien, Querschnitte

Das Basismodell zeichnet sich durch wenige Attribute aus, die bereits im frühen Projektstadium klar definiert werden können. Mit Hilfe des Basismodells können Starrkörpermodelle von Kranstrukturen zur weniger aufwendigen Starrkörperberechnung generiert

werden. Das Einzelstabmodell ist gleichbedeutend einem FE-Modell. Es bildet die reale Bauteilstruktur detailgenau ab. So können komplette Kransysteme als Einzelstabmodelle modelliert und berechnet werden. Die genaue Abbildung in Verbindung mit den nichtlinearen Berechnungsmethoden ermöglicht zuverlässige Ergebnisse und präzise Aussagen zur Stabilität und Festigkeit sowohl der Bauteile als auch der Gesamtstruktur.

Ein Bauteil kann parallel durch beide Modelltypen, Basis- und Einzelstabmodell, dargestellt werden. Damit die Bauteildaten der Modelle übereinstimmen, besitzt das Basismodell für seine Attribute die beiden Attributklassen fix und variabel. Diesen sind in Tab. 5.2 die Attribute des Basismodells zugeordnet.

Tabelle 5.2: Attributklassen des Basismodells

Attributklasse	Attribut
fix	Länge, Anschlüsse
variabel	Masse, Schwerpunkt

Die Werte der fixen Attribute, Länge und Anschlüsse, werden durch das Basismodell bestimmt und können nicht verändert werden. Die variablen Attributwerte hingegen sind veränderbar. Wie in Abb. 5.8 dargestellt ist, verknüpfen sie die beiden Modelltypen.

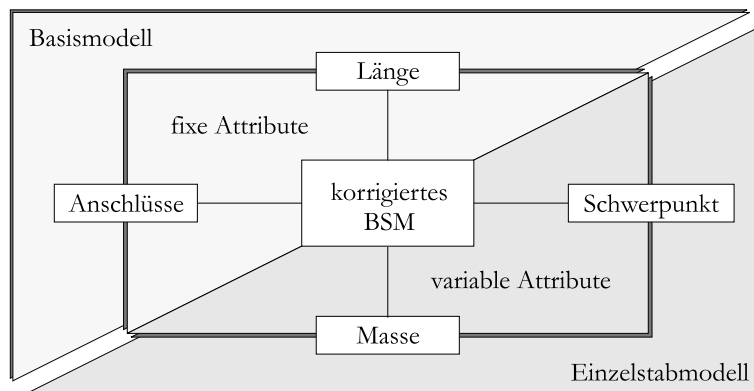


Abbildung 5.8: Verknüpfungen der Modelltypen

Zu jedem Einzelstabmodell existiert vorher ein passendes Basismodell. Wird dem Bauteil ein Einzelstabmodell zugeordnet, werden die Daten der beiden Modelle miteinander

verknüpft. Da ein Einzelstabmodell die genaueren Daten besitzt, werden die Werte der variablen Attribute des zugeordneten Basismodells durch die Informationen des Einzelstabmodells substituiert. Es entsteht ein korrigiertes Basismodell mit der Länge und den Anschlußdaten des ursprünglichen Basismodells sowie der Masse und dem Schwerpunkt des Einzelstabmodells. Eine Zuordnung der beiden Modelle kann jedoch nur erfolgen, wenn die Belegung der fixen Attribute des Basismodells mit den entsprechenden Attributwerten des Einzelstabmodells übereinstimmt. Wird ein Bauteil durch beide Modelltypen beschrieben, werden auf diese Weise dessen Modellinformationen immer konsistent gehalten.

Zur Generierung der Bauteilmodelle existieren verschiedene Konzepte. Während Basismodelle durch Zuordnung der Bauteildaten zu den Attributen des Modells erzeugt werden, entstehen Einzelstabmodelle in Abhängigkeit der Bauteilkonstruktion entweder

- automatisiert mit Hilfe eines Bauteilgenerators,
- interaktiv mit einem graphischen FE-Preprozessor oder
- durch Kombination der beiden Methoden.

Die Auswahl hängt im wesentlichen von der Bauteilkomplexität ab. Zur Modellierung von unregelmäßigen Gittermast-Bauteilen und Sonderbauteilen bieten kommerzielle FE-Preprozessoren eine leistungsfähige Entwurfsmöglichkeit für die interaktive Generierung [I-DEAS-98]. Die graphische Unterstützung ermöglicht eine visuelle Kontrolle komplexer Strukturen und vermeidet Generierungsfehler. Im Gegensatz hierzu lassen sich regelmäßige Gittermastbauteile mit Hilfe eines Bauteilgenerators durch die Angabe weniger Parameter automatisiert, schnell und fehlerfrei erzeugen. Die Synergie von Bauteilgenerator und FE-Preprozessor ermöglicht eine halbautomatisierte Modellierung von Bauteilen. Hierzu wird ein, mit Hilfe des Bauteilgenerators erzeugter Bauteilrumpf, anschließend im graphischen FE-Preprozessor modifiziert und komplettiert.

Im Rahmen der Bauteilgenerierung kommt der Definition von Anschlüssen eine besondere Bedeutung zu. Sowohl für den direkten Zugriff auf Bauteilergebnisse aus der Berechnung als auch für das automatisierte Erstellen von Gesamtmodellen ist ein bauteilbezogenes Anschlußkonzept grundlegend. Anschlüsse beschreiben Verbindungspunkte zu anderen Bauteilen oder sind Angriffspunkte für Lasten und Seile. Sie ergeben sich aus der konstruktiven Gestaltung des realen Bauteils entsprechend dessen Funktion innerhalb der Gesamtstruktur des Kransystems.

Innerhalb eines Bauteils wird ein Anschluß durch seinen Namen angesprochen. Zwei identische Anschlußnamen können für ein Bauteil nicht definiert werden. In Verbindung mit dem Bauteilnamen ist so jeder Anschluß auch innerhalb der Gesamtstruktur eindeutig identifizierbar. Die Modellierung der Anschlüsse eines Bauteils verdeutlicht Abb. 5.9 am Beispiel eines unregelmäßigen Gittermast-Bauteils. Am realen Bauteil erkennt man die Seilrollen am Bauteilkopf als Seilanschluß und die Verbindungspunkte an den Gurtrohren für den Anschluß an ein anderes Bauteil.

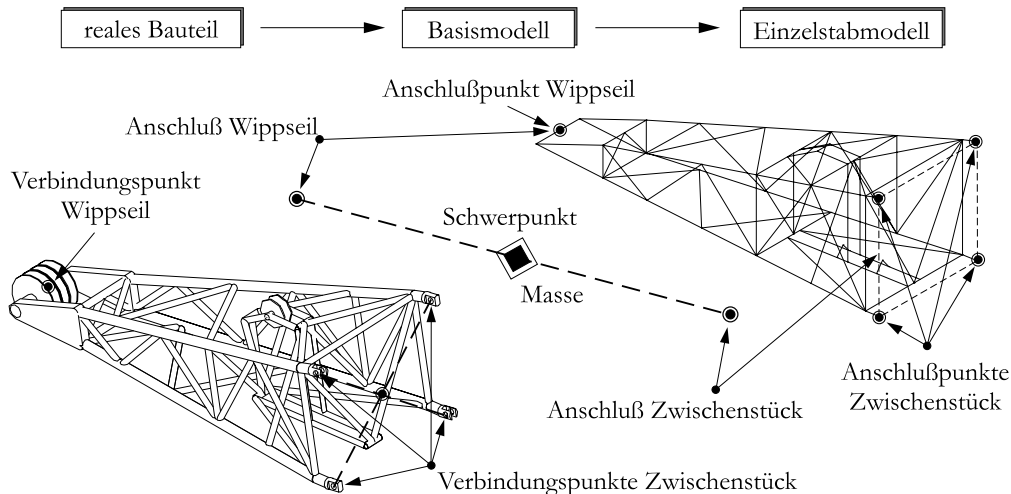


Abbildung 5.9: Anschlußmodellierung eines Bauteils

Je nach Modelltyp unterscheidet sich die Definition eines Anschlusses (AS). Die Anschlüsse des Basismodells lassen sich unmittelbar aus der Geometrie des Bauteils ableiten. Aus der geometrischen Mitte zusammengehöriger Verbindungspunkte eines Bauteils ergibt sich der Anschluß im Basismodell. Die detailgenaue Abbildung des Einzelstabmodells hingegen umfaßt jeden einzelnen der Verbindungspunkte. Sie werden als Anschlußpunkte (ASP) bezeichnet und entsprechen den Knoten im FE-Modell des Bauteils. Zusammengefaßt ergeben ein oder mehrere Anschlußpunkte einen Anschluß des Einzelstabmodells, der einem Anschluß des zugeordneten Basismodells entspricht.

Darüberhinaus besitzen Anschlüsse spezifische Eigenschaften. Zum einen, um die Anschlüsse des realen Bauteils möglichst genau abzubilden und zum anderen, um eine einfache Handhabung der Bauteile bezüglich ihrer Weiterverwendung im Gesamtsystem zu gewährleisten. In Abb. 5.10 sind die Eigenschaften eines Bauteilanschlusses dargestellt.

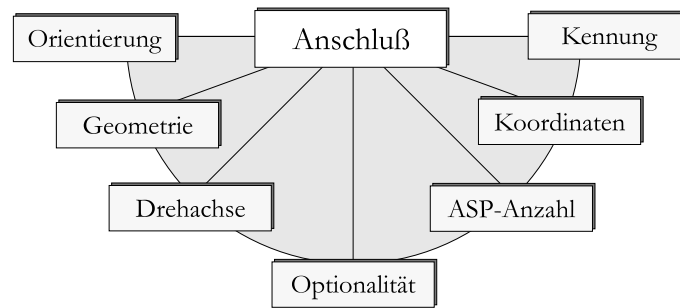


Abbildung 5.10: Eigenschaften eines Bauteilanschlusses

Ein Anschluß besitzt eine Orientierung, die durch ein Koordinatensystem definiert ist. Zusammen mit den Koordinaten dient sie zur Lagebeschreibung eines Anschlusses innerhalb des Bauteilkoordinatensystems. Bezogen auf das Anschlußkoordinatensystem wird mittels einer Drehachse die Gelenkigkeit eines Anschlusses festgelegt. Die Geometrie und die Anzahl der Anschlußpunkte beschreiben die Form des Anschlusses. Abbildung 5.11 zeigt Beispiele für unterschiedliche Anschlußformen.

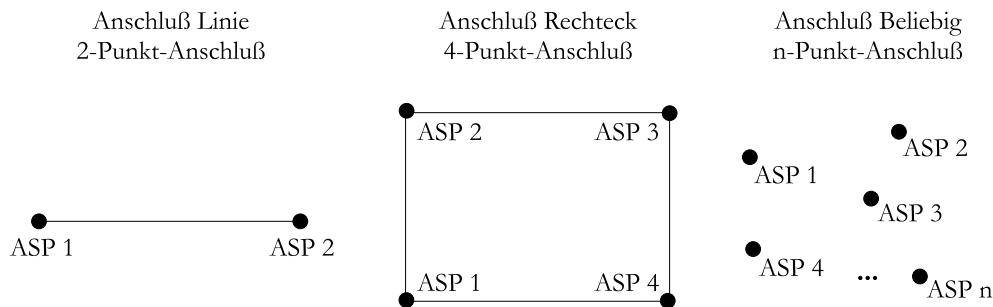


Abbildung 5.11: Formen von Anschlüssen

Ein Anschluß kann durch eine Kennung genauer definiert werden. Sie gibt an, ob es sich um einen Anfangs- oder Endanschluß, einen Montage- oder Montieranschluß oder einen Seilanschluß des Bauteils handelt. Anfangs- und Endanschlüsse kennzeichnen die geometrischen Abmessungen eines Bauteils. Während an einen Montageanschluß weitere Bauteile angebaut werden können, montiert man ein Bauteil mit Hilfe eines Montieranschlusses an bestehende Strukturen. Die Seilkennung definiert einen Anschluß als Kontaktpunkt zu laufenden Seilen des Kransystems. Anschlußdefinitionen, bestehend aus Kombinationen der verschiedenen Kennungen, sind ebenfalls möglich. So wird ein Anfangsanschluß beispiels-

weise häufig auch als Montieranschluß verwendet. Die Optionalität als letzte Eigenschaft legt fest, ob bei der Generierung eines Bauteils ein bestimmter Anschluß belegt werden muß oder nicht. Optional können nur solche Anschlüsse sein, die in den folgenden Ebenen der Modellbildung nicht zwingend benötigt werden.

Wie bereits in Tab. 5.1 aufgelistet, werden bei der Bauteilgenerierung, neben den Anschlußinformationen eines Bauteils, zusätzlich dessen Masse, Schwerpunkt und geometrischen Abmessungen definiert. Liegt ein Einzelstabmodells vor, werden diese Informationen noch durch die Daten des FE-Modells erweitert. Dies sind Knoten, Elemente, Materialien und Querschnitte. Die Modellierung aller Bauteile eines Gittermast-Fahrzeugkrans schließt die erste Phase der Modellbildung ab. Der Hierarchie folgend, werden im nächsten Schritt die Bauteile zu Baugruppen montiert.

5.2.2 Montage der Baugruppen

Eine Baugruppe setzt sich aus ein oder mehreren Bauteilen zusammen, deren Reihenfolge und Lage zueinander festgelegt ist [Döm-95]. Während Gittermast-Bauteile zu Ausleger-systemen montiert werden, bilden Sonderbauteile meist Baugruppen, die aus einem Bauteil bestehen. Sie sind daher schon fertig montiert und werden in der Regel direkt als Baugruppe übernommen. Abbildung 5.12 veranschaulicht die Definition der Baugruppen.

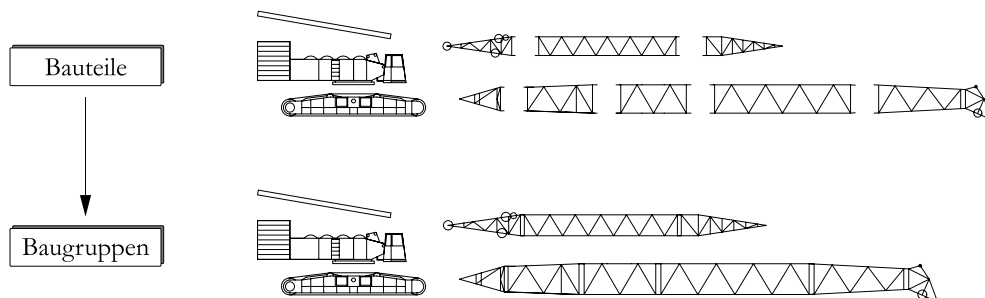


Abbildung 5.12: Montage der Bauteile zu Baugruppen

Baugruppen werden montiert, indem man Bauteile an ausgewiesenen Anschlüssen entsprechender Kennung zusammengefügt. Hierzu werden an Anschlüsse mit Montagekennung ausgewählte Anschlüsse mit Montierkennung angebaut. Entsprechend dem Bauteilanschlußkonzept montiert man die Bauteile an den geometrischen Mitten ihrer Verbindungspunkte. Für die Automatisierung der Baugruppengenerierung ist dieses anschlußbezogene

Montagekonzept vorteilhaft, da für eine Montage lediglich eine Zusammenbauanweisung, bestehend aus Bauteilen und den zugehörigen Anschlüssen, erforderlich ist. Geometrieinformationen sind hierzu nicht mehr notwendig. Die komplette Information zur geometrischen Kompatibilität der Bauteile liegt bei ihren Anschlüssen. Sie können also nur dann montiert werden, wenn die zugeordneten Anschlußdefinitionen übereinstimmen. Zusätzlich wird bei der Montage der Bauteile, durch die Orientierung der Anschlüsse, die Richtung für ihren Zusammenbau vorgegeben. Am Beispiel zweier Bauteile mit verschiedenen Anschlußorientierungen verdeutlicht Abb. 5.13 das Montagekonzept. Damit die Anschlüsse von Bauteil 1 und 2 zusammenpassen, muß Bauteil 2 zur Montage in eine andere Lage transformiert werden. Eine solche Drehung wird Basistransformation genannt. Sie ermöglicht beliebige Montagerichtungen für Bauteile im Raum.

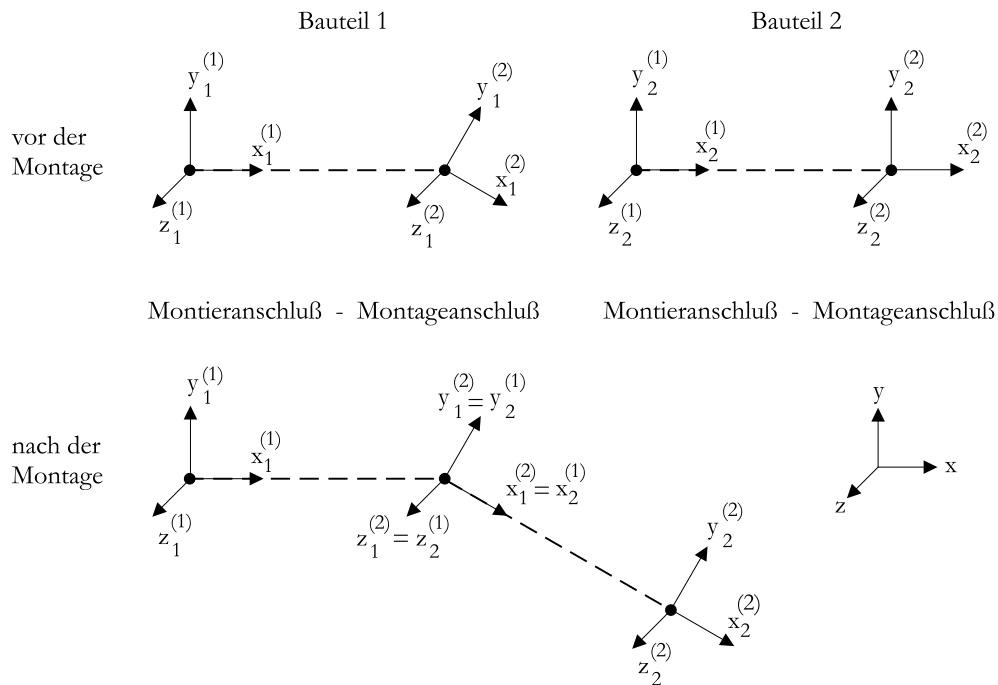


Abbildung 5.13: Bauteilorientierung bei der Baugruppenmontage

Als Ergebnis der Montage wird jedem Bauteil der Baugruppe ein Verschiebungsvektor \underline{v}_{BT}^{BG} und eine Transformationsmatrix \underline{T}_{BT}^{BG} zugeordnet. Sie definieren die Lage des Bauteils innerhalb der Baugruppe. Wie Bauteile besitzen auch Baugruppen Anschlüsse, deren Belegung durch die Montage der Baugruppe erfolgt. Aus der Vielzahl vorhandener Bauteilanschlüsse werden einige den Baugruppenanschlüssen zugeordnet. Dies können nur

solche Bauteilanschlüsse sein, für die auch ein entsprechender Anschluß in der Baugruppe existiert. Die Zuordnung eines Bauteilanschlusses zu einem Baugruppenanschluß ist nur möglich, sofern ihre Definitionen übereinstimmen. Um dies zu prüfen, besitzen auch Baugruppenanschlüsse spezifische Eigenschaften. Ähnlich den Bauteilen sind dies die Gelenkigkeit und die Optionalität eines Anschlusses.

In Bezug auf die Gelenkigkeit kann ein Bauteilanschluß nur an einen Baugruppenanschluß montiert werden, wenn die zugehörigen Drehachsen parallel sind. Wie in Abb. 5.14 dargestellt muß diese Forderung beispielsweise zu Beginn der Baugruppenmontage erfüllt sein, um ein Bauteil an einen Startanschluß der Baugruppe anzuschließen. Die Optionalität eines Baugruppenanschlusses drückt aus, ob dieser bei der Montage durch einen Bauteilanschluß belegt werden muß oder nicht. Auch hier können nur solche Anschlüsse optional sein, die für den Einsatz der Baugruppe innerhalb einer Gesamtstruktur nicht zwingend benötigt werden.

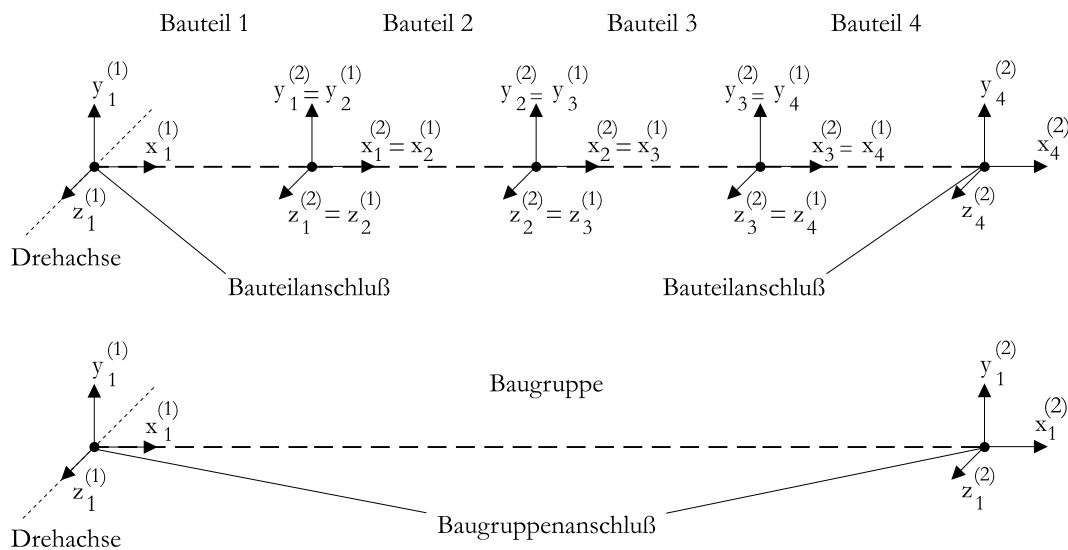


Abbildung 5.14: Definition von Baugruppenanschlüssen

Wie schon in Kapitel 5.2.1 ausgeführt, kann ein Bauteil durch die beiden Modelltypen Basis- und Einzelstabmodell beschrieben werden. Da die Daten der beiden Modelltypen konsistent sind, stimmen auch ihre Anschlußdefinitionen überein. Für das Montagekonzept hat dies den Vorteil, daß Bauteile unabhängig von ihrem Modelltyp montiert werden können. Also ist die Zusammenbauanweisung einer Baugruppe sowohl für Basismodelle als auch für Einzelstabmodelle von Bauteilen gültig.

5.2.3 Definition der Ausrichtungszustände

In den bisherigen Phasen der Modellbildung wurden Bauteile modelliert und zu Baugruppen zusammengefügt. Nun folgt im nächsten Schritt die Definition der Ausrichtungszustände. Sie setzen sich aus Baugruppen und Seilen zusammen. Wie in Abb. 5.15 dargestellt, werden zuerst die Baugruppen in Grundstellung zur Gesamtstruktur montiert und anschließend in die gewünschte Stellung gedreht [Döm-95]. Die Definition der Seilverläufe vervollständigt den Ausrichtungszustand.

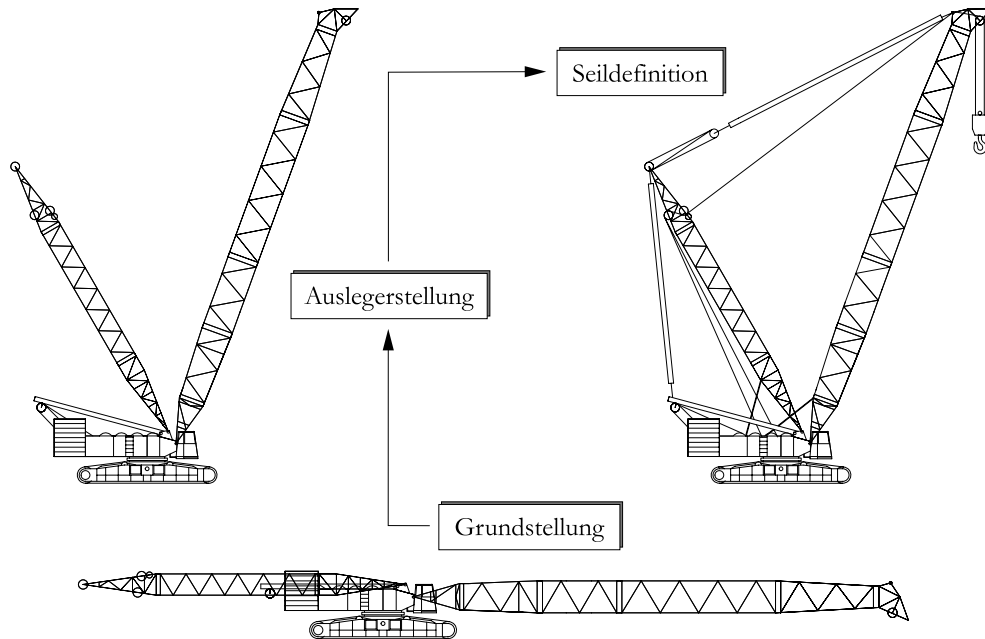


Abbildung 5.15: Schritte zur Erstellung eines Ausrichtungszustands

Ebenso wie die Baugruppen besitzen auch die Ausrichtungszustände Anschlüsse: Einen Anschluß als Montageanschluß für die erste Baugruppe und weitere zur Definition des Seilverlaufs. An den Montageanschluß des Ausrichtungszustands wird zur Generierung der Grundstellung zu Beginn eine Baugruppe als Startkomponente montiert. Im Gegensatz zur Baugruppenmontage muß hier nur die Gelenkigkeit der Anschlüsse übereinstimmen. Dies trifft zu, wenn die Drehachse des Montageanschlusses im Ausrichtungszustand parallel der Drehachse des Montieranschlusses der Startbaugruppe ist.

Bezogen auf das Inertialkoordinatensystem, in dem die Gesamtstruktur definiert ist, besitzt der Montageanschluß eine Orientierung. Durch eine Basistransformation wird die

Startbaugruppe so gedreht, daß die Orientierungen der Anschlüsse identisch sind. Wie bei der Baugruppenmontage kann man auf diese Weise die Startbaugruppe des Ausrichtungszustands in beliebiger Richtung im Raum montieren. Alle weiteren Baugruppen können, ausgehend von der Startbaugruppe, beliebig aneinander montiert werden und mit Hilfe der Anschlußdefinitionen im Raum orientiert werden.

Nach der Montage liegt die Gesamtstruktur, in Baugruppen gegliedert, in der Grundstellung vor. Die endgültigen Richtungen der einzelnen Baugruppen liegen jedoch noch nicht fest. Dies soll die folgende Ausrichtung ergeben. Durch Drehen der Baugruppen relativ zueinander oder zum Inertialsystem wird die gewünschte Stellung der Struktur erzeugt. Die Drehung einer Baugruppe erfolgt jeweils um die Drehachse ihres Montageanschlusses. Insbesondere für eine Automatisierung der Modellbildung ist diese Möglichkeit der Tragwerksverstellung entscheidend, da durch verschiedene Ausrichtungen bereits montierter Baugruppen die Vielzahl unterschiedlicher Rüstzustände eines Kransystems schnell und effizient generiert werden können.

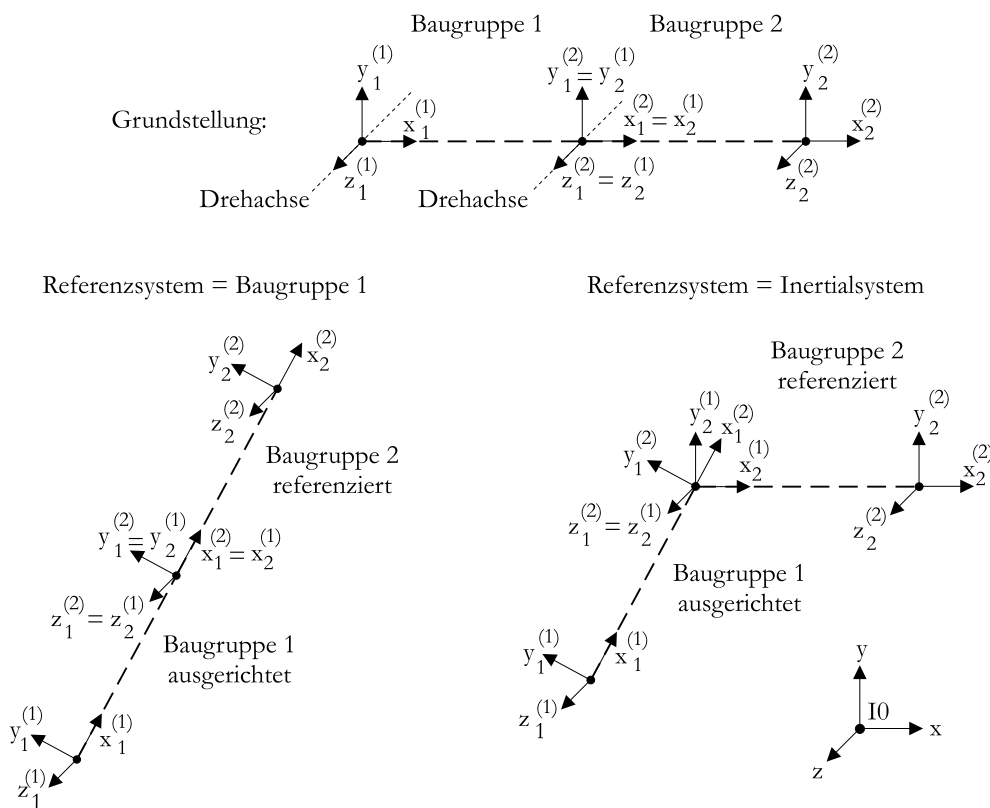


Abbildung 5.16: Referenzierung der Baugruppen bei der Ausrichtung

Zur Ausrichtung benötigt jede Baugruppe ein Referenzsystem. Dies kann entweder das Inertialsystem oder ein anderes Koordinatensystem einer bereits ausgerichteten Baugruppe sein. Die Orientierung einer Baugruppe innerhalb des Referenzsystems bleibt erhalten. Das Prinzip der Referenzierung von Baugruppen ist in Abb. 5.16 dargestellt.

Die Bedingung für eine Referenzierung von Baugruppen ist ihre kinematische Kompatibilität, basierend auf einem Vergleich zwischen möglicher und gewünschter Drehung. Die Drehmöglichkeiten einer Baugruppe sind von der Gelenkigkeit ihres Montieranschlusses abhängig. Eine Referenzierung ist also nur dann möglich, wenn in der Grundstellung die Drehachsen der referenzierten und auszurichtenden Baugruppen sowie allen, zwischen ihnen montierten Baugruppen, parallel sind. Ist eine Baugruppe montiert und referenziert, sind die Voraussetzungen für ihre anschließende Ausrichtung erfüllt.

Das Ausrichten einer Baugruppe bedeutet ihre Lage innerhalb der Gesamtstruktur zu definieren. Hierzu stehen die in Tab. 5.3 aufgelisteten Methoden zur Verfügung. Sie untergliedern sich in Methoden mit denen jeweils eine Baugruppe ausgerichtet werden kann, und in eine Methode mit der zwei Baugruppen gleichzeitig ausgerichtet werden können.

Tabelle 5.3: Methoden zur Ausrichtung von Baugruppen

Methode	Beschreibung	geometrische Problemstellung
Methoden bei denen gleichzeitig eine Baugruppe ausgerichtet wird		
A-Gruppe	Ausrichtung auf eine Ausladung	Schnittpunkt Kreis - Ebene
L-Gruppe	Ausrichtung über eine Länge	Schnittpunkt Kugel - Kreis
W-Gruppe	Ausrichtung mit einem Winkel	Winkeldrehung
Z-Gruppe	Ausrichtung auf einen Zielpunkt	Schnittpunkt Kreis - Gerade
P-Gruppe	Ausrichtung durch Einpassen	Abstandsbestimmung
F-Gruppe	Ausrichtung auf einen Fixpunkt	Orthogonalität
Methoden bei denen gleichzeitig zwei Baugruppen ausgerichtet werden		
D-Gruppe	Ausrichtung mit einem Dreieck	Schnittpunkt Kreis - Kreis

Da sich alle Methoden zur Ausrichtung der Baugruppen in ihrer geometrischen Problemstellung unterscheiden, wird im folgenden auf jede Methode gesondert eingegangen.

In allen Fällen handelt es sich um räumliche Probleme [Feld-94]. Die Anwendung der verschiedenen Möglichkeiten wird jeweils durch Beispiele zur Modellbildung von Gittermast-Fahrzeugkranen veranschaulicht.

A-Gruppe

Eine Tragwerksstellung ist häufig durch die Ausladung gekennzeichnet, aus deren Wert der Auslegerwinkel resultiert. Geometrisch entspricht diese Winkelbestimmung der in Abb. 5.17 dargestellten Ermittlung des Schnittpunkts eines Kreises mit einer Ebene.

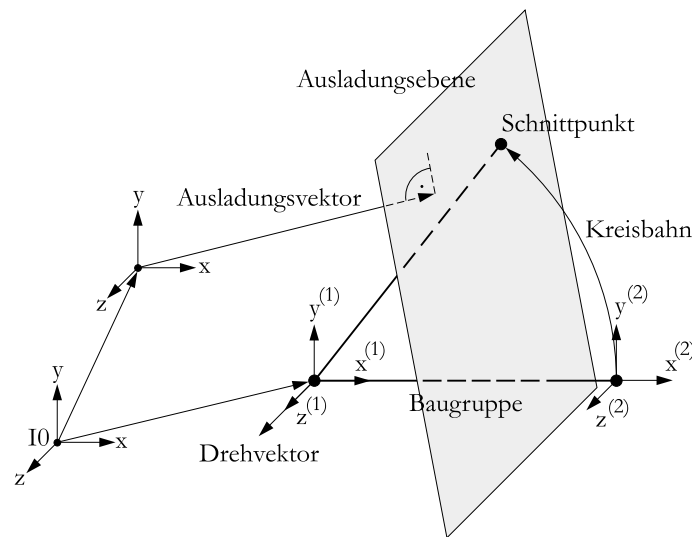


Abbildung 5.17: Ausrichtung einer Baugruppe durch A-Gruppe

Der Ausladungsvektor, als ein Normalenvektor der Ausladungsebene, legt die Ausrichtung der Baugruppe fest. Die Ebene, in der die Baugruppe gedreht wird, ist durch ihren Drehvektor gegeben. Um die gewünschte Stellung der Baugruppe zu erreichen wird sie solange auf einer Kreisbahn um ihren Drehvektor gedreht, bis ein Schnittpunkt mit der Ausladungsebene erreicht ist. Aus diesem Schnittpunkt läßt sich unmittelbar der Auslegerwinkel ermitteln. Existiert kein Schnittpunkt zwischen Kreis und Ebene, so ist der Abstand zwischen dem Montagepunkt der Baugruppe und der Ausladungsebene zu groß bzw. die Länge der Baugruppe zu gering gewählt.

Die A-Gruppe wird vorzugsweise zur Ausrichtung des Hauptauslegers in Hauptauslegersystemen oder des Hilfsauslegers in Kransystemen mit Haupt- und Hilfsausleger verwendet.

In seltenen Fällen dient die Methode in Systemen mit Haupt- und Hilfsausleger auch zur Verstellung des Hauptauslegers relativ zum Inertialsystem und des Hilfsauslegers relativ zum Hauptausleger.

L-Gruppe

Die L-Gruppe ist eine Methode zur Ausrichtung einer Baugruppe auf eine vorgegebene Länge. Sie läßt sich durch die geometrische Problemstellung Schnittpunkt von Kreis und Kugel beschreiben. Die Drehebene der Baugruppe ist durch ihren Drehvektor festgelegt. Die gewünschte Stellung der Baugruppe wird durch den Radius einer im Raum positionierten Kugel vorgegeben. Der Kugelradius entspricht der vorgegebenen Länge. Durch Drehen der Baugruppe um ihren Drehvektor wird die Kugel durch ihre Kreisbahn geschnitten. Aus diesen Schnittpunkten ergeben sich die Auslegerwinkel und Stellungen der Baugruppe. Wird der Kugelradius bzw. die vorgegebene Länge zur Ausrichtung der Baugruppe zu klein oder zu groß gewählt, so können sich auch keine Schnittpunkte zwischen Kreis und Kugel ergeben.

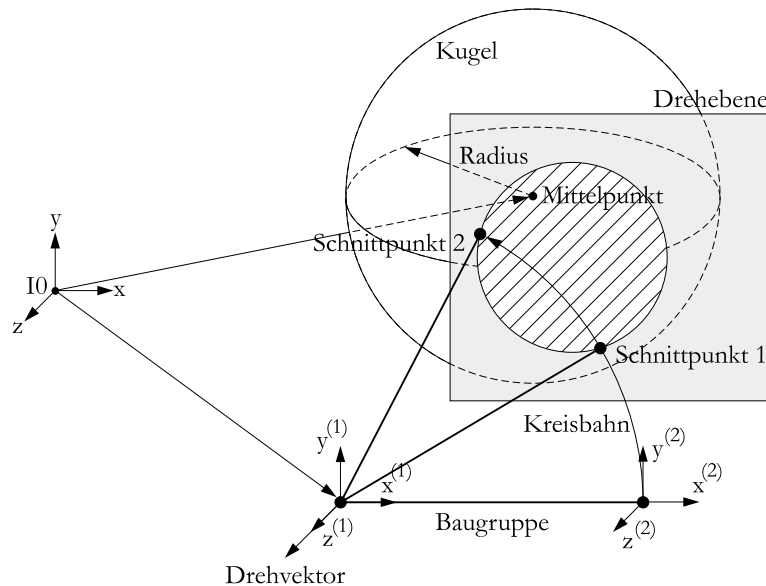


Abbildung 5.18: Ausrichtung einer Baugruppe über eine L-Gruppe

Je nach Krankonfiguration wird die L-Gruppe beispielsweise zur Ausrichtung des Aufrichtebocks relativ zum Ausleger oder zum Superliftmast verwendet. Zusätzlich können in Systemen mit Haupt- und Hilfsausleger auch die Wippstützen relativ zu den Auslegern mit

dieser Methode verstellt werden. Die Ausrichtung der Baugruppen erfolgt über die Länge ihrer Haltestangen. Entsprechend der angestrebten Auslegerstellung ist einer der beiden Schnittpunkte zur eindeutigen Festlegung der Baugruppenstellung zu selektieren.

W-Gruppe

Mit Hilfe der W-Gruppe läßt sich eine Baugruppe direkt durch einen Winkel im Raum orientieren. In Abb. 5.19 ist der geometrische Zusammenhang dieser Ausrichtemethode dargestellt. Auf einer Kreisbahn wird die Baugruppe um den Winkel φ gedreht und so in die gewünschte Winkelstellung gebracht. Hierbei ist die Drehebene der Baugruppe durch ihre Drehachse gegeben.

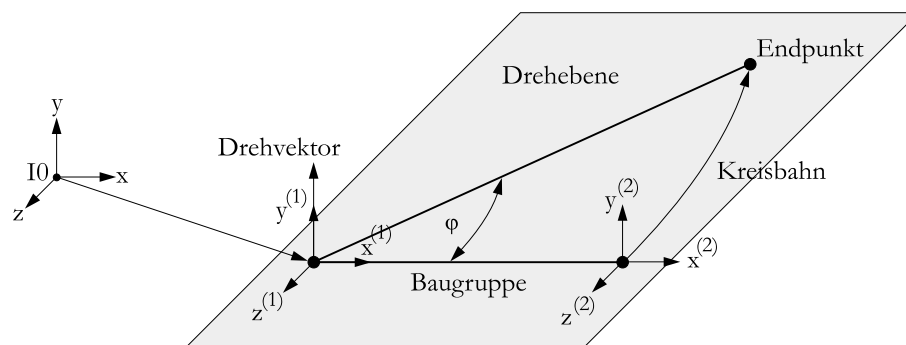


Abbildung 5.19: Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer W-Gruppe

Eine typische Anwendung der W-Gruppe ist die Ausrichtung der Unterstruktur eines Krans. Dies sind insbesondere die verschiedenen Stellungen des Oberwagens relativ zum Unterwagen, die für die Standsicherheit eines Kransystems von großer Bedeutung sind. Außerdem wird die Methode verwendet um einen Ausleger in eine bestimmte Winkelstellung zu bringen, wie beispielsweise die 85° -Steilstellung des Hauptauslegers in Kransystemen mit Haupt- und Hilfsausleger.

Z-Gruppe

Die Z-Gruppe ist eine Methode zur Ausrichtung einer Baugruppe auf einen bestimmten Zielpunkt. Geometrisch beschränkt sich diese Ausrichtung auf ein ebenes Problem im Raum. Es entspricht der in Abb. 5.20 dargestellten Ermittlung des Schnittpunktes eines Kreises mit einer Geraden. Die Lage der zu schneidenden Gerade ist durch den Zielpunkt

für die Ausrichtung gegeben. Um die gewünschte Stellung der Baugruppe zu erzielen wird sie auf einer Kreisbahn gedreht und mit der Geraden zum Schnitt gebracht. Durch den Drehvektor der Baugruppe ist ihre Drehebene festgelegt. Nach der Verstellung liegen der Drehpunkt der Baugruppe, ihr Zielpunkt und der ermittelte Schnittpunkt auf einer gemeinsamen Geraden. Aus ihrer Lage läßt sich direkt die Winkelstellung der Baugruppe ableiten.

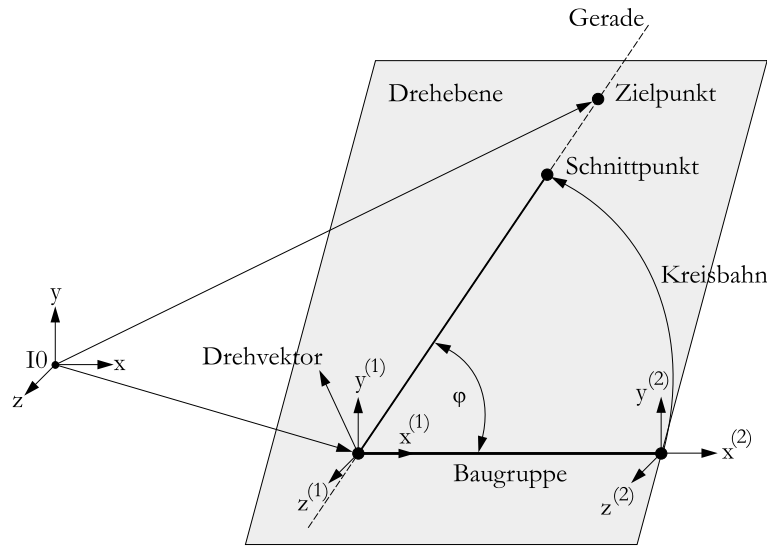


Abbildung 5.20: Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer Z-Gruppe

Mit Hilfe der Z-Gruppe kann man Baugruppen auf beliebige Zielpunkte ausrichten. In einem Kransystem wird diese Methode meist verwendet, um Baugruppen an bestimmten Punkten der bereits ausgerichteten Struktur zu orientieren. Auf diese Art können beispielsweise Traversen ausgerichtet werden. Sie sind die Verbindungselemente zwischen den Auslegern und ihren Haltestangen, mit denen sie immer auf einer Geraden liegen.

P-Gruppe

Ist ein Kransystem fast vollständig ausgerichtet, so ist eine weitere Baugruppe oft nur noch in die bereits vorhandene Struktur einzufügen. Die Methode der P-Gruppe setzt diese Art der Ausrichtung um. Wenn möglich, paßt sie eine Baugruppe zwischen zwei definierte Punkte ein. Hierfür ist als entscheidendes Kriterium zu prüfen, ob der in Abb. 5.21 gezeigte Abstand a zwischen den Paßpunkten 1 und 2 der Baugruppenlänge entspricht. Ist

dies der Fall, kann die Baugruppe eingefügt werden. Durch Drehen um ihren Drehvektor wird die richtige Orientierung erzielt. Der Drehvektor ist ein Normalenvektor der Ebene, der durch den Baugruppenvektor und den Richtungsvektor zwischen den Paßpunkten aufgespannt wird. Die endgültige Lage erreicht die Baugruppe durch die Verschiebung ihres Montagepunktes. Stimmen der Abstand a und die Baugruppenlänge nicht überein, ist ein Einpassen der Baugruppe nicht möglich.

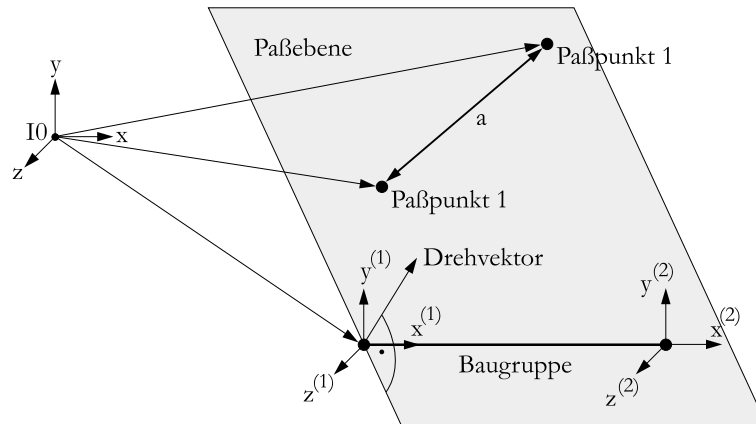


Abbildung 5.21: Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer P-Gruppe

Der Anwendungsbereich der P-Gruppe ist überall dort zu sehen, wo Baugruppen in bestehende Strukturen eingepaßt werden sollen. Im häufigsten Fall werden Haltestangen zwischen einer Traverse und einem Anschluß am Ausleger eingepaßt. In einem Kransystem mit nur Hauptausleger kommt dies zwischen der Traverse am Aufrichtebock und dem Kopfstück des Hauptauslegers vor. Ein weiteres Beispiel tritt im Bereich des Superlift-Gegengewichtes auf. Hier ist in der Regel zwischen dem Oberwagen und dem Superlift-Gegengewicht ein fest positioniertes Verbindungsstück einzupassen.

F-Gruppe

Die F-Gruppe ist eine spezielle Methode zur Ausrichtung von Baugruppen. Wie in Abb. 5.22 dargestellt, erlaubt sie die Positionierung einer Baugruppe relativ zu einem bestimmten Fixpunkt. Der Baugruppenvektor wird mit seinem Anfangspunkt parallel in den Zielpunkt verschoben. Hierbei bleibt die Orientierung der Baugruppe erhalten. Der Zielpunkt ist durch die Projektion des Fixpunktes auf eine Ebene, die in einem Abstand a parallel zur

Fixpunktebene liegt, gegeben. Die Lage der Fixpunktebene ist durch einen im Inertialsystem orientierten Normalenvektor beschrieben. Der Zielpunkt liegt also immer auf einer Senkrechten der beiden Ebenen durch den Fixpunkt.

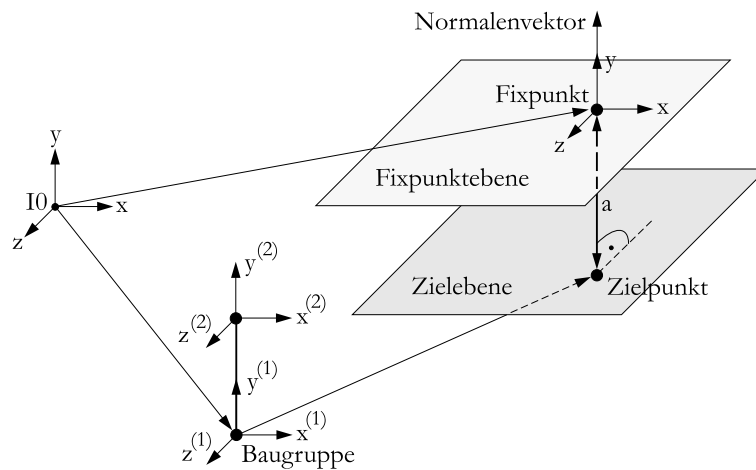


Abbildung 5.22: Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer F-Gruppe

Da die F-Gruppe eine reine Positionierungsmethode darstellt, wird sie nur zur Ausrichtung weniger Baugruppen eingesetzt. Ein Beispiel ist die Positionierung der Unterflasche. Sie hängt am mehrfach eingescherten Hubseil senkrecht unterhalb der Auslegerspitze.

D-Gruppe

Nach Tab. 5.3 wurden bisher diejenigen Ausrichtemethoden beschrieben, mit denen sich jeweils nur eine Baugruppe ausrichten ließ. Im Gegensatz dazu ist die D-Gruppe eine Methode, mit der zwei Baugruppen gleichzeitig ausgerichtet werden können. Geometrisch entspricht dies der in Abb. 5.23 dargestellten Bestimmung eines Schnittpunktes zweier Kreise im Raum. Durch Drehen der beiden Baugruppen um ihre Drehvektoren werden Kreisbahnen beschrieben, die sich schneiden können. Die Drehebene der Baugruppen sind durch ihre Drehvektoren festgelegt. Existiert ein Schnittpunkt, so gibt dieser die Winkelstellungen der ausgerichteten Baugruppen an.

Ob sich die Kreisbahnen schneiden hängt im wesentlichen von der Lage der Drehebene ab. Sind sie parallel, gibt es keinen Schnittpunkt. Schneiden sich die Drehebene, kann es in Abhängigkeit der Kreisradien und Mittelpunktslagen einen oder zwei Schnittpunkte geben. Sind die Drehebene identisch reduziert sich das räumliche Problem auf die Be-

stimmung der Schnittpunkte zweier Kreise in der Ebene. Auch hier sind die Radien und Mittelpunktslagen für ein Schneiden der Kreise entscheidend. Abbildung 5.23 zeigt zwei sich schneidende Kreisbahnen im Raum.

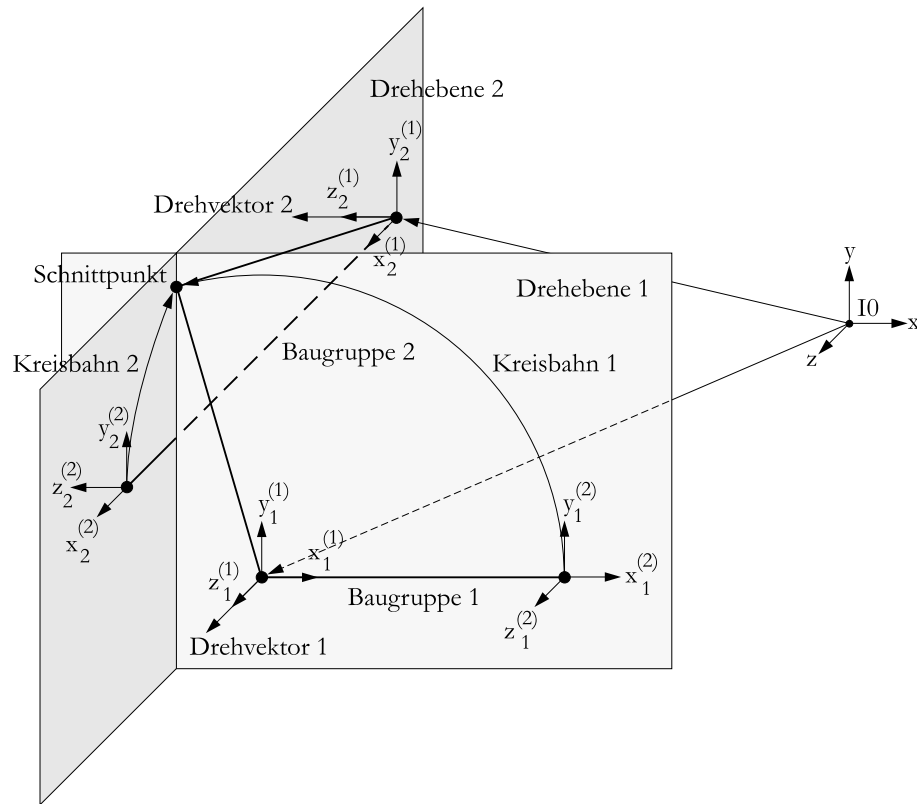


Abbildung 5.23: Ausrichtung einer Baugruppe mit Hilfe einer D-Gruppe

Den meisten Anwendungsfällen der D-Gruppe liegt das ebene Problem zugrunde, bei dem die Kreisbahnen zweier Baugruppen in einer Ebene liegen. Ein Beispiel liefern Kran-systeme mit langen Auslegern. Sie besitzen in der Regel Abspannstützen, die zwischen Ausleger und Haltestangen angebracht sind, um den Ausleger zu entlasten. Die beiden Baugruppen Haltestangen und Abspannstütze werden gleichzeitig ausgerichtet. Der Schnittpunkt ihrer Kreisbahnen legt ihre ausgerichtete Stellung fest.

Mit Hilfe der beschriebenen Methoden lassen sich alle Baugruppen eines Gittermast-Fahrzeugkrans ausrichten. Obwohl sich die einzelnen Methoden in ihren geometrischen Problemstellungen sehr unterscheiden, liefern alle als Ergebnis einen Drehwinkel für die jeweils ausgerichtete Baugruppe. Die Orientierungen der Baugruppen im Inertialsystem

lassen sich durch Transformationsmatrizen beschreiben. Die Bestimmung der Transformationsmatrix \underline{T} für eine Baugruppe erfolgt mit Hilfe des errechneten Drehwinkels φ und des zugehörigen Drehvektors \underline{dv} durch folgenden Zusammenhang [Mey-99, Kle-96]:

$$\underline{T} = \begin{pmatrix} 1 - c + c (dv_x)^2 & c dv_x dv_y - s dv_z & c dv_x dv_z - s dv_y \\ c dv_x dv_y - s dv_z & 1 - c + c (dv_y)^2 & c dv_y dv_z - s dv_x \\ c dv_x dv_z - s dv_y & c dv_y dv_z - s dv_x & 1 - c + c (dv_z)^2 \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

mit $c = (1 - \cos \varphi)$; $s = \sin \varphi$

Wie den Bauteilen wird auch den Baugruppen durch die Montage und Ausrichtung je ein Verschiebungsvektor \underline{v}_{BG}^{AZ} und eine Transformationsmatrix \underline{T}_{BG}^{AZ} zugeordnet. Auf diese Weise ist die Lage und Orientierung jeder Baugruppe innerhalb der Gesamtstruktur eindeutig gegeben. Bisher wurden die Baugruppen nur einzeln für sich betrachtet. Das beschriebene Montage- und Ausrichtekonzept gilt genauso für Teilstrukturen, die aus Baugruppen zusammengesetzt sind. Sie werden als Superbaugruppen bezeichnet und ermöglichen eine mehrstufige Montage und Ausrichtung von Baugruppen, wie in Abb. 5.24 dargestellt.

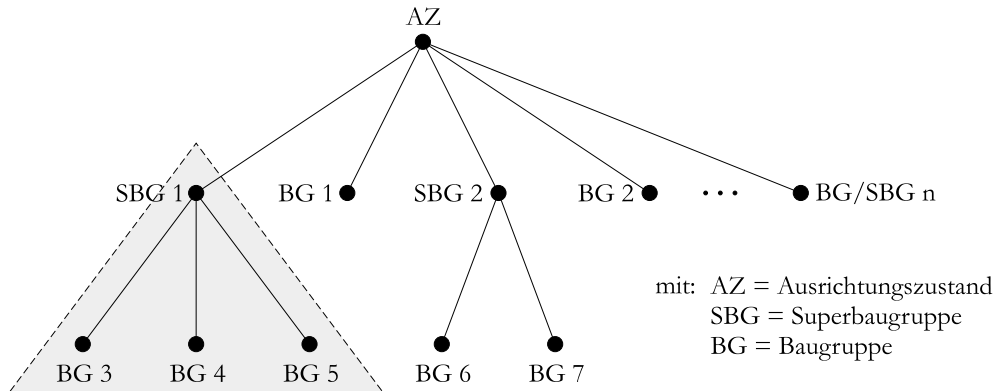


Abbildung 5.24: Mehrstufige Ausrichtung mit Hilfe von Superbaugruppen

Superbaugruppen können durch eine geschachtelte Montage und Ausrichtung erzeugt und als neue Baugruppe weiterverwendet werden. Generiert man eine Superbaugruppe, müssen mindestens zwei Baugruppen zusammengefügt werden. Das Ergebnis ist wiederum eine Baugruppe, die weiterhin wie eine einzelne Baugruppe montiert und ausgerichtet werden kann. Die Superbaugruppe stellt einen Montage- und Ausrichtezwischenschritt auf dem Weg zur Gesamtstruktur dar und eröffnet neue Möglichkeiten für die automatisierte

Modellerstellung. Nachdem alle Baugruppen des Krans montiert und ausgerichtet werden können, folgt nach dem in Abb. 5.15 dargestellten Ablauf zur Definition von Ausrichtungszuständen die Beschreibung der Seile.

In einem Gittermast-Fahrzeugkran erfüllen bewegte Seile unterschiedliche Funktionen. Sie laufen von einem Anschlagpunkt über beliebig viele Umlenkrollen auf eine Seiltrommel. Wipp- und Einziehseile erlauben es, die Ausleger während des Betriebs zu verstellen. Die Hublast hängt an einem oder auch an mehreren Hubseilen. Um die Generierung der Ausrichtungszustände flexibel zu gestalten, werden alle Seile in einem Seilplan definiert. Dieser ist, genauso wie die Lage und Orientierung jeder Baugruppe, einem Ausrichtungszustand zugeordnet. Der Seilplan beinhaltet alle Seile, die in einem Ausrichtungszustand verwendet werden und definiert deren Verläufe.

Zur Definition eines Seilverlaufs werden mindestens zwei definierte Kontaktpunkte, wie Rollen oder Trommeln, für das Seil benötigt. Dies sind Anschlüsse eines Ausrichtungszustands und werden als Seilanschlüsse bezeichnet. Da die Seillängen für jede Auslegerstellung eines Ausrichtungszustands unterschiedlich sind, existieren Seile nicht als eigenständige Bauteile oder Baugruppen, sondern werden automatisch bei der Modellerstellung für jede Auslegerstellung mit erzeugt. Neben den Angaben der Seilverläufe sind zusätzlich die Querschnittsfläche, der Elastizitätsmodul sowie die, aus dem Metergewicht des Seils berechnete Materialdichte der Seile zu definieren.

Um die Definition der Ausrichtungszustände zu vervollständigen, fehlen nur noch die Rand- und Zwangsbedingungen. Im Zusammenhang mit der Definition von Ausrichtungszuständen versteht man unter den Randbedingungen die Lagerung der Gesamtstruktur. Rand- und Zwangsbedingungen sind den Anschlüssen des Ausrichtungszustands zugeordnet und werden auch innerhalb deren Koordinatensystem definiert. Jede Randbedingung bezieht sich auf die drei translatorischen und die drei rotatorischen Freiheitsgrade eines Anschlusses, denen wahlweise die Eigenschaft frei verschieblich oder fest zugewiesen werden kann. Mit einer Zwangsbedingung wird die Verschiebung eines Anschlußfreiheitsgrades (abhängiger Freiheitsgrad) durch die Verschiebung eines unabhängigen Anschlußfreiheitsgrades ausgedrückt.

Mit der Definition der Randbedingungen ist die Generierung der Ausrichtungszustände abgeschlossen. Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, ist die letzte Hierarchieebene der Modellgenerierung erreicht. Aus Bauteilen und Baugruppen können automatisiert Ausrichtungszustände erzeugt werden, die ein komplettes Kransystem abbilden.

Bevor die Ausrichtungszustände im nächsten Schritt mit Lasten beaufschlagt werden, um die erzeugten Kranstrukturen berechnen zu können, wird im folgenden Kapitel das Prototypenkonzept beschrieben. Auf diesem Konzept basiert die automatisierte Modellgenerierung der drei zuvor beschriebenen Hierarchieebenen Bauteile, Baugruppen und Ausrichtungszustände.

5.2.4 Prototypenkonzept

Wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben, ist zur kompletten Berechnung eines Gittermast-Fahrzeugkrans die Definition vieler verschiedener Rüstzustände erforderlich. Die Generierung der hierfür notwendigen Rechenmodelle für die Bauteile, Baugruppen und Ausrichtungszustände zeichnet sich durch eine Vielzahl algorithmischer Tätigkeiten und immer wiederkehrende Definitionen von Strukturdaten aus.

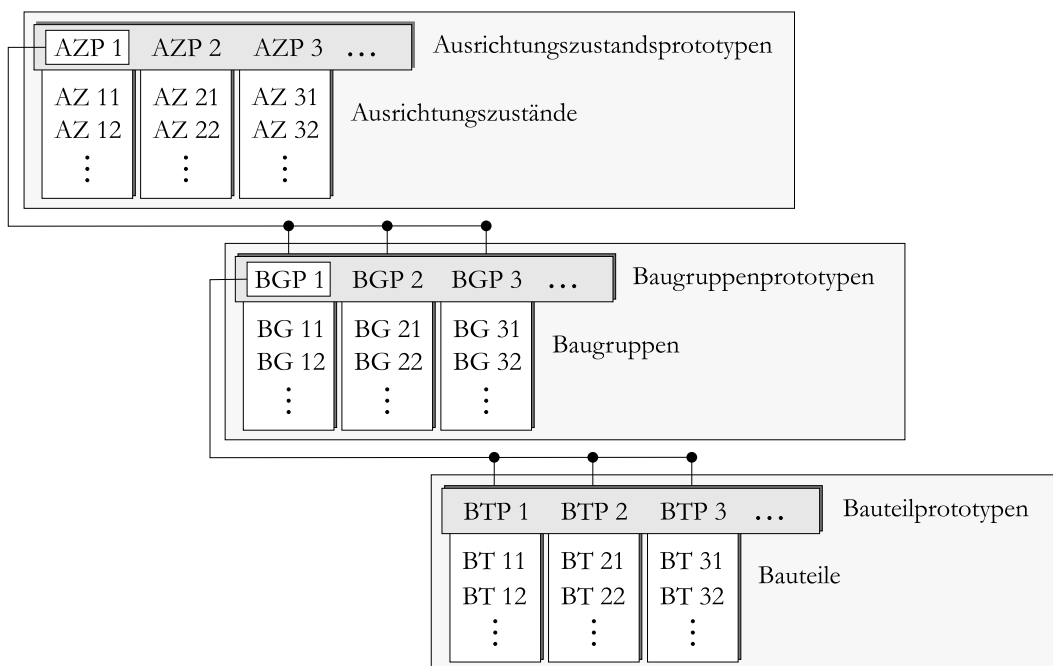


Abbildung 5.25: Prototypenkonzept der Hierarchieebenen

Dieser Tatsache wird Rechnung getragen, indem die Gesamtinformationen eines Systems aufgeteilt werden in Informationen, die für bestimmte Arten von Systemen immer gleich sind, und in Informationen, die für jedes System unterschiedlich, also systemabhängig

sind. Während die Definitionen der immer wiederkehrenden, gleichen Daten in den sogenannten Prototypen hinterlegt sind, werden die systemspezifischen Informationen jeweils neu durch Benutzerangaben definiert. Das in Abb. 5.25 dargestellte Prototypenkonzept setzt diesen Gedanken um und unterstützt durch die Prototypen die automatisierte Modellgenerierung auf jeder der drei Hierarchieebenen. Demzufolge existieren Prototypen für Ausrichtungszustände, Baugruppen und Bauteile. Jeder Prototyp dient als Grundlage zur Erzeugung eines oder mehrerer Modelle innerhalb der Modellierungsstufe. Die Verknüpfungen der Prototypen sind gleich denen der Bauteile, Baugruppen und Ausrichtungszuständen. Bauteilprototypen werden zu Baugruppenprototypen montiert, aus denen sich die Ausrichtungszustandsprototypen zusammensetzen.

Die Prototypen beinhalten vordefinierte Informationen für die Modelle der jeweiligen Ebene und legen fest, welche Daten zu deren Definition erforderlich sind. Somit erfüllen die Prototypen zwei wesentliche Funktionen:

- Bereitstellung vordefinierter Informationen zur Modellgenerierung
- Sicherung und Prüfung der Konsistenz der Modelldaten

Als Modellschablonen mit vordefinierten Informationen sind die Prototypen insbesondere für eine schnelle und sichere Generierung von Modellen wichtig, deren Datenkonsistenz sie durch Integritätsbedingungen prüfen und sichern. Für eine komplette Modelldefinition sind die vordefinierten Informationen jedoch nicht ausreichend. Wie in Abb. 5.26 gezeigt, müssen deshalb die Daten der Prototypen durch Benutzerangaben ergänzt werden, um komplett definierte und fehlerfreie Modelle zu erhalten.

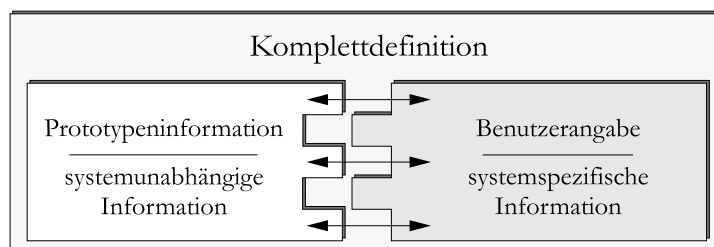


Abbildung 5.26: Funktionsweise der Prototypen

Die Prototypen für die Bauteile, Baugruppen und Ausrichtungszustände unterscheiden sich jeweils in ihren Informationen und ihrer Anwendung. Der Bauteilprototyp dient

als Grundlage zur Generierung verschiedener Bauteilmodelle, wie beispielsweise Fuß- oder Zwischenstücke. Hierzu stellt er Anschlußdefinitionen sowie Beschreibungen der benötigten Bauteilarten zur Verfügung. Der Baugruppenprototyp legt fest, welche Bauteilanschlüsse als Baugruppenanschlüsse übernommen werden können, und prüft die Montage der Bauteile. Im Ausrichtungszustandsprototyp sind alle Baugruppen, die ein kompletter Ausrichtungszustand benötigt, sowie deren Montage- und Ausrichteanweisungen hinterlegt. Außerdem definiert er den Seilverlauf und die Randbedingungen für die Gesamtstruktur. Für unterschiedliche Krankonfigurationen, wie beispielsweise nur Hauptausleger oder Hauptausleger mit Hilfsausleger, existieren verschiedene Ausrichtungszustandsprototypen.

Zusammenfassend stehen zur Generierung von Kranmodellen drei Prototypen zur Verfügung. Die systemunabhängigen Informationen, die in den Prototypen hinterlegt sind, werden in Tab. 5.4 nochmals genauer aufgelistet.

Tabelle 5.4: Vordefinierte Informationen der Prototypen

Bauteilprototyp	Baugruppenprototyp	Ausrichtungszustandsprototyp
- Bauteilanschlüsse	- Baugruppenanschlüsse	- Montageinformation
- Bauteilanschlußpunkte	- Montageinformation	- Ausrichteinformation
- Anschlußgeometrien		- Ausrichteparameter
- Materialien		- Seilanschlüsse
- Querschnitte		- Seilverlauf
		- Seilarten

Das Prototypenkonzept trägt entscheidend zur Automatisierung des Pre-Processing bei. Mit Hilfe der Prototypen werden die Modelle effizienter generiert. Zudem reduzieren sie durch die Vordefinition einheitlicher Daten die Fehlerhäufigkeit bei der Modellerstellung.

5.2.5 Definition der Lasten

Nach Kapitel 3.2.3 werden die auf ein Tragwerk wirkenden Lasten in die Lastannahmen Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten eingeteilt. Aus diesen Lastgruppen setzen sich die Regel- und Sonderlastfälle H, HZ und HS nach Norm zusammen. Sie beinhalten 15 unterschiedliche Lastfälle, die alle unabhängig voneinander durch Berechnungen nachzuweisen sind. Aus den

geschilderten Randbedingungen und Forderungen ergibt sich die Ausgangssituation für eine automatisierte Lastdefinition. Hierzu werden die Lastannahmen in die folgend aufgelisteten Lasttypen unterteilt.

Tabelle 5.5: Aufteilung der Lastannahmen in Lasttypen

Nr.	Lasttyp	Resultierende Kräfte
Hauptlasten		
0	Eigenlast	Massenkräfte aus Eigengewicht
1	Hublast	Einzelkraft aus Hublast
2	Lastaufnahmemittel	Einzelkraft aus Lastaufnahmemittel
3	Querbeschleunigung	Dynamische Kräfte aus Heben/Senken
4	Fallenlassen der Last	Dynamische Kräfte aus Heben/Senken
5	Kranfahren	Massenkräfte aus Antrieben
6	Drehen	Massenkräfte aus Antrieben, Fliehkräfte
7	Wippen	Massenkräfte aus Antrieben
Zusatzlasten		
8	Windlast, Kran in Betrieb	Windkräfte
9	Windlast, konst. Windgeschwindigkeit	Windkräfte
10	Windlast auf Hublast, Kran in Betrieb	Windkräfte
11	Windlast, Kran außer Betrieb	Windkräfte
Sonderlasten		
12	Große Prüflast	Einzelkraft aus Prüflast

In den Hauptlasten berücksichtigt die Norm diejenigen Lasteinflüsse, die standardmäßig auf ein Kransystem wirken. Da die Bauhöhen von Gittermast-Fahrzeugkranen bis zu 200 m reichen, besitzen jedoch auch die Windlasten einen entscheidenden Einfluß auf die maximale Tragfähigkeit des Systems. Diese Tatsache berücksichtigt die Norm durch die Einführung von Zusatzlasten. Prüflasten finden sich unter den Sonderlasten wieder.

Die resultierenden Kräfte der genannten Lasttypen unterteilen sich in Einzelkräfte, Massenkräfte und Windkräfte. Während die Massen- und Windkräfte unmittelbar von

den Bauteilen abhängig sind und aus deren Massen bzw. Geometrien ermittelt werden, sind die richtungstreuen Einzelkräfte vorgegebene Größen zur Berechnung.

Aus den 12 Lasttypen lassen sich beliebige Lastfälle kombinieren. Wie in Abb. 5.27 dargestellt, können dies sowohl die 15 Lastfälle zur Nachweisführung nach Norm als auch frei definierte Lastfälle, wie beispielsweise ein Lastfall mit nur Hub- und Eigenlast, sein.

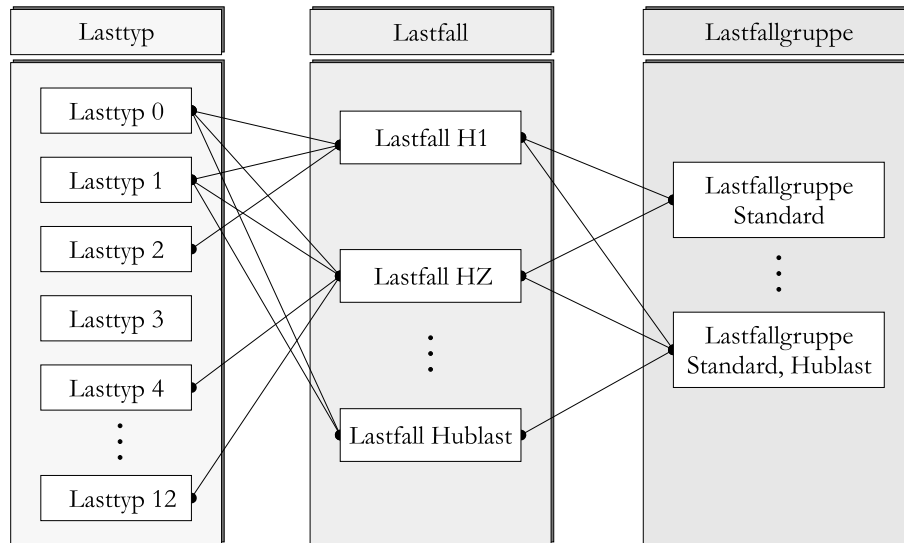


Abbildung 5.27: Kombination der Lasttypen und Lastfälle zu Gruppen

Um die Lastdefinition noch weiter zu automatisieren, können Lastfälle in einem weiteren Schritt zu sogenannten Lastfallgruppen zusammengefaßt werden. So könnte eine Lastfallgruppe Standard alle Lastfälle für eine Standardberechnung enthalten. Auf diese Weise ist eine einfache und schnelle Zuweisung ganzer Lastpakete zu Ausrichtungszuständen möglich. Durch die Lastdefinition werden die Ausrichtungszustände zu komplett definierten Rüstzuständen. Die Phase der Modellbildung ist abgeschlossen.

5.3 Prozeßschritt: Berechnung

Die zweite Phase ist die Berechnung. Ihre Aufgabe besteht darin, das während der Modellierung erstellte Rechenmodell einer Kranstruktur mathematisch zu berechnen, um anschließend eine Auswertung des Systems zu ermöglichen. In der Modellierung wird die Abbildung eines Kransystems durch automatisierte Algorithmen unterstützt. Im Gegensatz dazu soll

die Berechnung komplett automatisch ablaufen. Die Einzelschritte, die hierfür durchlaufen werden müssen, sind in Abb. 5.6 dargestellt.

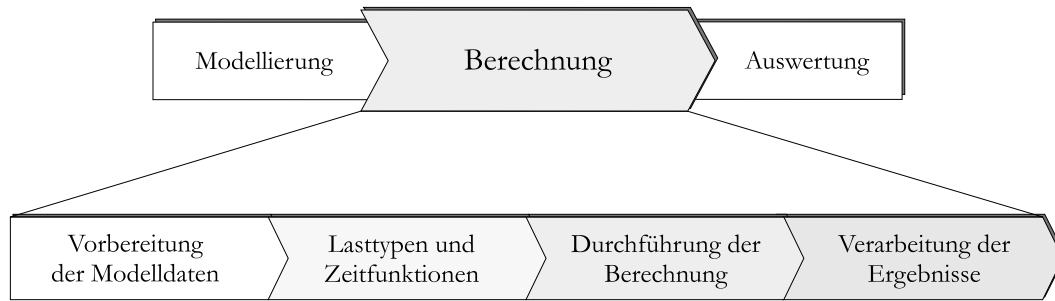


Abbildung 5.28: Einzelschritte der Berechnung

Nach der Modellierung eines Kransystems sind in den ersten beiden Schritten die erzeugten Modelldaten und definierten Lasten so aufzubereiten, daß sie von den Programmsystemen zur Berechnung verarbeitet werden können. Ist die Berechnung durchgeführt, müssen die erzielten Ergebnisse bereitgestellt werden, damit automatisierte Auswertalgorithmen eine umfassende Analyse des Systems ermöglichen können. In den folgenden Abschnitten wird näher auf die Einzelschritte der Berechnungsphase eingegangen.

5.3.1 Modellvorbereitung

Wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, unterteilen sich statische Berechnungen von Gittermast-Fahrzeugkränen in starrkörperstatische und elastostatische Berechnungen. Demzufolge werden zur Berechnung der Kranstrukturen Programmsysteme sowohl zur Starrkörperberechnung als auch zur Finite-Elemente-Berechnung eingesetzt.

Der starrkörperstatischen Berechnung liegt ein Stab-Knoten-Modell zugrunde, das aus Knoten, Elementen und Gelenken besteht. Die elastostatische Berechnung basiert auf dem Einsatz der Finiten-Elemente-Methode. Der Berechnung liegt ein FE-Modell zugrunde, das ebenso aus Knoten und Elementen besteht, zusätzlich aber um Querschnitts- und Materialdaten erweitert wird. Nach der Modellierung eines Kransystems liegen die Modellinformationen zur Gesamtstruktur in dieser Form nicht vor. Sie sind stattdessen stark von speziellen Parametern und Größen der Kranberechnung geprägt. Da die Programmsysteme zur Berechnung diese kranspezifischen Daten nicht interpretieren können, sind die Modelldaten so aufzubereiten, daß sie sowohl für eine Starrkörperberechnung als auch

zur FE-Berechnung verwendet werden können. Deshalb zeigt Abb. 5.29 die Teilinformationen, die nach der Modellierung zur Definition einer berechnungsfähigen Gesamtstruktur erforderlich sind.

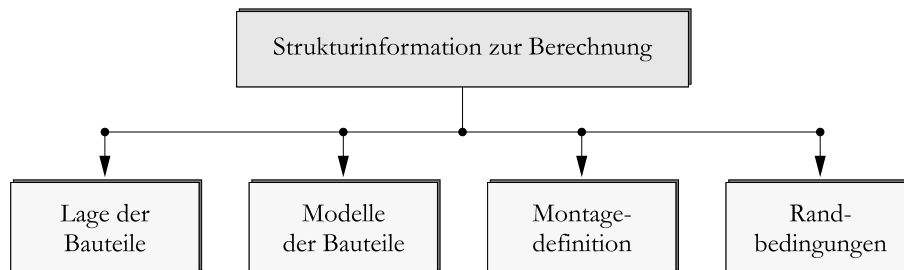


Abbildung 5.29: Vorbereitung der Modelldaten

Die Strukturinformationen eines Rechenmodells gliedern sich zum einen in Bauteilinformationen und zum anderen in die Definition der Montage und der Randbedingungen. Zu den Bauteilinformationen zählen die Lagebeschreibung und die Modelle der Bauteile.

Nach Kapitel 5.2 konnte als Ergebnis der Baugruppenmontage jedem Bauteil ein Verschiebungsvektor \underline{v}_{BT}^{BG} und eine Transformationsmatrix \underline{T}_{BT}^{BG} zugeordnet werden. Sie definieren die Lage des Bauteils innerhalb der Baugruppe. Ebenso wurde den Baugruppen durch die Montage und Ausrichtung des Kransystems ein Verschiebungsvektor \underline{v}_{BG}^{AZ} und eine Transformationsmatrix \underline{T}_{BG}^{AZ} zugeordnet. Auf diese Weise ist die Lage und Orientierung der Baugruppe innerhalb der Gesamtstruktur eindeutig gegeben. Auf der Grundlage dieser Informationen läßt sich nun die Lage und die Orientierung jedes Bauteils innerhalb der Gesamtstruktur wie folgt ableiten:

$$\underline{v}_{BT}^{BG} + \underline{v}_{BG}^{AZ} = \underline{v}_{BT}^{AZ} \quad (5.2)$$

$$\underline{T}_{BT}^{BG} \cdot \underline{T}_{BG}^{AZ} = \underline{T}_{BT}^{AZ} \quad (5.3)$$

Nachdem die Lage der Bauteile bestimmt ist, fehlen zur vollständigen Bauteilbeschreibung die Modellinformationen. Im Falle einer Starrkörperberechnung sind dies die Bauteil-daten der Basismodelle und im Falle einer FE-Berechnung die Daten der Einzelstabmodelle. Die Daten der Berechnungsmodelle sind in Tab.5.6 dargestellt.

Die Masse, der Schwerpunkt und die Gelenke des Basismodells bilden die Elementdefinitionen des Starrkörpermodells. Die Anschlüsse des Basismodells werden im Stab-Konten-Modell in die Knoten der Elemente umgesetzt. Da ein Einzelstabmodell ein FE-Modell

darstellt, können die Einzelstabdaten direkt ins Rechenmodell übernommen werden. Hier bilden die Anschlußpunkte sowie die Anfangs- und Endpunkte der Stäbe des Einzelstabmodells die Knoten im FE-Modell der Gesamtstruktur. Die Einzelstäbe repräsentieren die Elemente des FE-Modells. Deren Eigenschaften werden durch die Materialien und Querschnitte beschrieben.

Tabelle 5.6: Daten der Berechnungsmodelle

Basismodell	Starrkörpermodell	Einzelstabmodell	FE-Modell
- Anschlüsse	- Knoten	- Anschlußpunkte	- Knoten
- Schwerpunkt	- Elemente	- Einzelstäbe	- Elemente
- Länge		- Materialien	- Materialien
- Masse		- Querschnitte	- Querschnitte
- Gelenke			

Mit Hilfe der Montagedefinition der Gesamtstruktur aus der Modellierung werden die Anschlüsse der Basismodelle bestimmt, die im Starrkörpermodell der Gesamtstruktur zur Verbindung der Elemente übereinander gelegt werden. Sie bilden anschließend einen Anschluß. Analog werden im FE-Modell die Knoten verschmolzen, die aus den Anschlußpunkten des Einzelstabmodells stammen und die Verbindungspunkte der Bauteilmodelle darstellen. Schließlich werden die Randbedingungen, die sich in der Modellierungsphase auf Anschlüsse bezogen haben auf die entsprechenden Knoten des Starrkörper- bzw. des FE-Modells umgesetzt.

Erst zur Berechnung wird das Rechenmodell des Gesamtsystems aus den Modellen der einzelnen Bauteile zusammengesetzt. Die Zuordnung der Knoten und Elemente des Gesamtsystems zu denen der Bauteilmodelle bleibt hierbei erhalten. Dies bietet zwei Vorteile: Zum einen ist auf diese Weise eine Zuordnung der Ergebnisse zum Gesamtmodell sowie zu den Bauteilen möglich. Zum anderen können so in der Modellierungsphase die kranzspezifischen Modelldaten getrennt von den FE-spezifischen Modelldaten behandelt werden. Die komplette Montage der Gesamtstruktur erfolgt auf der Basis der kranzspezifischen Daten. Es ist nicht erforderlich die FE-Daten bereits in der Modellierungsphase zur Erstellung von Baugruppen und Ausrichtungszuständen zu verarbeiten. Sie werden erst zur Generierung des Gesamtmodells in der Berechnungsphase benötigt.

5.3.2 Lasttypen und Zeitfunktionen

Zur Vorbereitung einer Berechnung werden neben den beschriebenen Strukturinformationen die Lastdaten für die Gesamtstruktur generiert. Das Rechenmodell wird vervollständigt, indem der Last- und Bewegungszustand des Systems definiert wird und die Knoten und Elemente bestimmt werden, die von der jeweiligen Lasteinwirkung betroffen sind. In Tab. 5.7 sind die erforderlichen Angaben zur Lastgenerierung in Abhängigkeit der Lastart zusammengestellt.

Tabelle 5.7: Definition des Last- und Bewegungszustands

Last- und Bewegungszustand	Erforderliche Definitionen
Eigenlast	- Gravitationsvektor
Hublast, Prüflast	- Angriffspunkt - Größe
Dynamische Kräfte aus Heben und Senken	- Hubklasse und -geschwindigkeit - Zugehörigkeit der Bauteile zum Ausleger
Massenkräfte aus Antrieben, Fliehkräfte	- Drehachsen - Geschwindigkeiten - Beschleunigungen - bewegte Baugruppen
Windkräfte	- Windrichtung - Staudruckprofil - Abschattungsfaktoren

Mit Verwendung der in Kapitel 5.2.5 definierten Lasttypen werden die dargestellten Last- und Bewegungszustände eines Systems in Form von Einzelkräften auf die Knoten des Rechenmodells aufgebracht. Die Kräfte, die beispielsweise aufgrund des Eigengewichts auf die Struktur wirken, werden mit dem Lasttyp „Eigenlast“ direkt über die Elementmassen und einen Gravitationsvektor ermittelt.

Zur Berechnung von dynamischen Kräften sind generell die Massen der Knoten und Elemente erforderlich. Während sie für ein Stab-Knoten-Modell aus den Massen der Basis-

modelle bestimmt werden, können sie für ein Einzelstabmodell aus dem Volumen und der Dichte der Elemente der FE-Modelle ermittelt werden. Die Zuordnung der Elementmassen auf die einzelnen Knoten ergibt eine punktförmige Massenverteilung.

Nach Kapitel 3 ist das Last-Verformungsverhalten von Kransystemen nichtlinear. Diese Tatsache erfordert zur Ermittlung der Tragfähigkeit eine geometrisch nichtlineare Berechnung. Aus Konvergenzgründen kann bei einer nichtlinearen Berechnung die Last nicht in einem Schritt auf das System aufgebracht werden. Es ist eine inkrementelle Steigerung der Lasten notwendig. Deshalb wird für jeden Lasttyp automatisch eine eigene Laststeigerungsfunktion (Zeitfunktion) erstellt. Über diese wird der Lasttyp angesprochen. Ferner hat das Verfahren den Vorteil, daß ein Rechenlauf nicht nur ein Ergebnis liefert, sondern Ergebnisse für jeden Laststeigerungsschritt (Zeitschritt) der Berechnung.

Die Zeitfunktionen legen die Art und Weise fest, wie das Rechenmodell mit den Lasten beaufschlagt wird. Dies betrifft neben der Steigerung der Last die Reihenfolge der Lastaufbringung und die Größe der Last. Wird ein Lasttyp zur Beschreibung des Last- und Bewegungszustands eines Systems nicht benötigt, ist der Wert der dazugehörigen Zeitfunktion gleich Null. Im anderen Fall dienen die Funktionswerte der Zeitfunktionen zur Gewichtung der Lasten. Liegt ein Lastfall nach Norm vor, entsprechen die Funktionswerte den Teilsicherheitsbeiwerten (vgl. Kapitel 3.2.3).

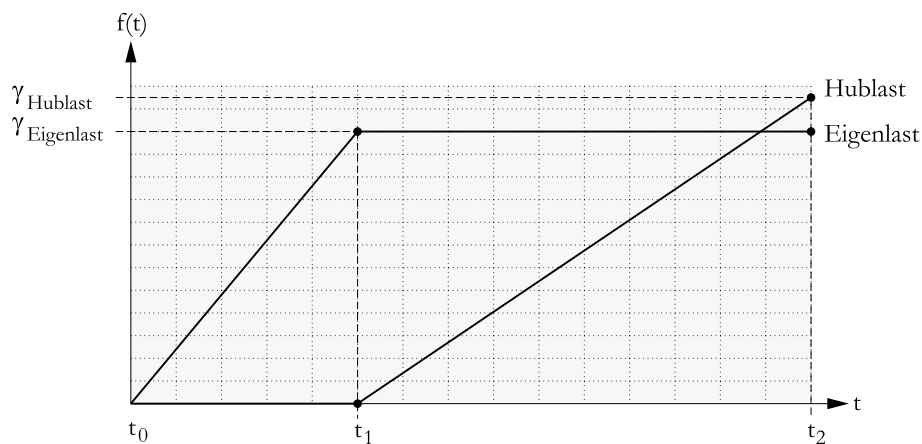


Abbildung 5.30: Zeitfunktionen für die Hub- und Eigenlast

In Abb. 5.30 sind exemplarisch zwei Zeitfunktionen für die Lasttypen Hublast und Eigenlast dargestellt. In der Zeitspanne von t_0 bis t_1 wird das Rechenmodell nur mit dem Lasttyp Eigenlast beaufschlagt. Hier steigt die Höhe der Last von t_0 bis t_1 linear auf den

Teilsicherheitsbeiwert für die Eigenlast an und bleibt dann bis t_2 konstant. Die Hublast beträgt bis zum Zeitpunkt t_1 Null. Ab t_1 steigt sie linear bis zum Zeitpunkt t_2 auf den Teilsicherheitsbeiwert für die Hublast an.

Jede Berechnung zielt darauf ab, die maximale Tragfähigkeit für ein vorgegebenes Kransystem zu ermitteln. Ein Maß für die Tragfähigkeit stellt die aufgebrachte Hublast dar. Um diese zu erhalten, rechnet ein Berechnungslauf bis zur Stabilitätsgrenze der Struktur und bricht dann ab. Das Ergebnis der Berechnung muß dennoch eine Aussage zur Tragfähigkeit bei der erreichten kritischen Hublast ermöglichen.

Aus diesem Grund werden die Lasttypen in hublastabhängige und hublastunabhängige Lasttypen unterteilt und wie das Beispiel zeigt in der zeitlichen Abfolge nacheinander auf die Struktur aufgebracht. Damit jeder Rechenlauf ein aussagefähiges Ergebnis liefert, müssen die hublastunabhängigen Lasttypen vor den hublastabhängigen Lasttypen aufgebracht werden. Dies hat den Vorteil, daß jeder Lastzustand nach Aufbringung der Eigenlast einer bestimmten Hublast entspricht. Alle anderen Lasten die auf die Struktur wirken passen zu dieser Hublast. Folglich stehen zur Auswertung für alle gerechneten Zeitschritte die Ergebnisse mit den entsprechenden Hublasten zur Verfügung.

5.3.3 Berechnungssysteme

Bisher wurden die Strukturinformationen und die Lasten zu einem kompletten Rechenmodell zusammengefügt. Im nächsten Schritt erfolgt die Berechnung des Kransystems. Wie bereits zu Anfang des Kapitels erwähnt, werden spezielle Berechnungssysteme verwendet. Es werden ein Programmsystem zur Starrkörperberechnung und ein System zur FE-Berechnung eingesetzt. Durch die in Abb. 5.31 dargestellte modulare Struktur der Programmsysteme wird eine einfache Integration der Berechnung in die automatisierte Berechnungsumgebung unterstützt.

Unter Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften von Gittermast-Fahrzeugkranen ist die Anwendung der FE-Methode zu deren Berechnung durch das Programmsystem NODYA realisiert [Kle-96]. Es besteht aus dem FE-Programm NODYA sowie einem zugehörigen Pre- und Postprozessor. NODYA ermöglicht statische und dynamische, bezüglich Geometrie und Materialgesetz lineare und nichtlineare Berechnungen. Die Elementbibliothek enthält Balken-, Seil- und Stabelemente sowie starre Verbindungen und Zwangsbedingungen. Zusätzlich existiert ein allgemeines Matrixelement.

Da linear und nichtlinear formulierte Elemente gemeinsam in einem Modell verwendet werden können, läßt sich für jeden Bereich des Tragwerks die Elementformulierung wählen, die seinen Eigenschaften am besten entspricht. Bei Gittermast-Fahrzeugkranen betrifft dies insbesondere das unterschiedliche Tragverhalten von Auslegersystem und Unterstruktur.

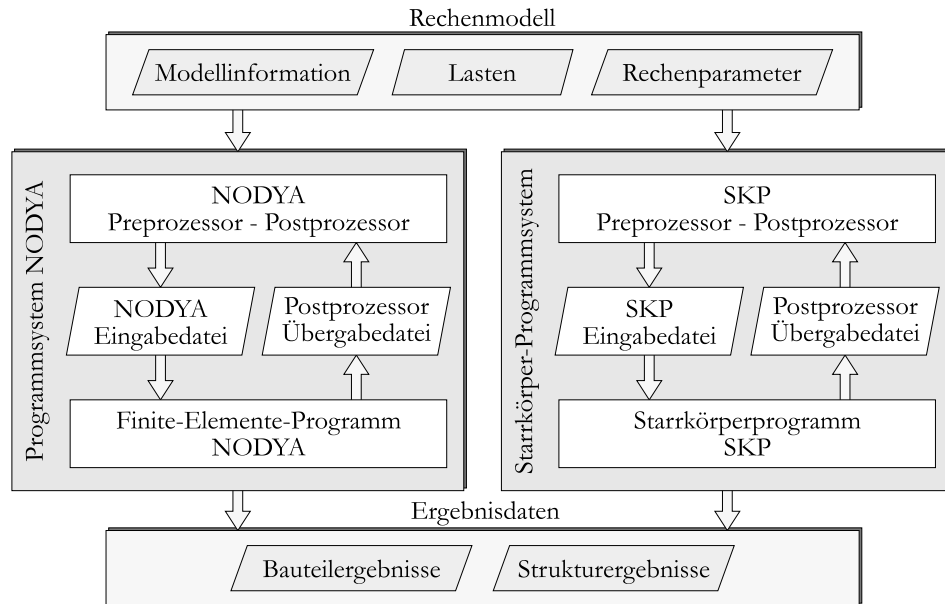


Abbildung 5.31: Struktur der Berechnungssysteme

Analog dem FE-Programmsystem besteht auch das Starrkörper-Programmsystem aus einem Rechenkern und einem zugehörigen Pre- und Postprozessor. Dies ist das Starrkörperstatikprogramm SKP in Verbindung mit dem SKP-Pre- und Postprozessor. Das SKP ermöglicht eine linear statische Berechnung eines Stab-Knoten-Modells. Vorauslegungen von Kransystem erfolgen oft auf der Grundlage einer Starrkörperberechnung, da eine genaue FE-Berechnung aufgrund fehlender Detailinformationen noch nicht möglich ist.

5.3.4 Ergebnisverarbeitung

Wie aus Abb. 5.31 hervorgeht, ist die Bereitstellung von Ergebnisdaten das Ziel sowohl einer Starrkörperberechnung als auch einer FE-Berechnung. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse erfolgt die anschließende Auswertung der Berechnung. Um eine umfassende Auswertung einer Berechnung zu ermöglichen, ist es nicht zwingend erforderlich alle Ergebnisse eines Rechenlaufs zu behalten. Je weniger Ergebnisse gespeichert werden, desto geringer

ist auch der Speicherbedarf und der Aufwand die Ergebnisverarbeitung zu automatisieren. Daher wird zuerst festgelegt, welche Ergebnisse die Berechnung liefert. Anschließend wird ein Konzept vorgestellt, welche Ergebnisse in welcher Form zur Auswertung gespeichert werden. Hierfür teilt Tab. 5.8 die Ergebnisse in Abhängigkeit der Berechnungsmethode in berechnete und gespeicherte Ergebnisse auf.

Tabelle 5.8: Berechnete und gespeicherte Berechnungsergebnisse

Art	Starrkörperberechnung	FE-Berechnung
Berechnet	<ul style="list-style-type: none"> - Lagerreaktionen an Knoten - Elementkräfte an Knoten - Maximale Seilkraft 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementkräfte - Elementspannungen - Knotenverschiebungen
Gespeichert	<ul style="list-style-type: none"> - Kräfte an Elementknoten - Momente an Elementknoten - Kraft im Seil 	<ul style="list-style-type: none"> - Kräfte an Elementknoten - Momente an Elementknoten - Knotenverschiebungen - Vergleichsspannung - Normalspannung - Schubspannung

Die Ergebnisse der Starrkörperberechnung werden komplett als Schnittgrößen an Knoten sowie als Kraft im Seil gespeichert. Die Schnittgrößen sind knotenbezogen und entsprechen drei Kräften und drei Momenten je Knoten. Bei der FE-Berechnung hingegen werden nicht alle Ergebnisse behalten. Komplett werden nur die Elementkräfte und die Verschiebungen der Knoten gespeichert. Im Fall eines Balkenelements sind dies für die Elementkräfte je drei Kräfte und drei Momente am Elementanfang und -ende. Aus der Vielzahl der Elementspannungen werden nur die Vergleichsspannung, die Normalspannung und die Schubspannung elementbezogen gespeichert. Der genaue Spannungszustand kann in der Auswertung wieder aus den Elementkräften hergeleitet werden.

An dieser Stelle ist die Phase der Berechnung beendet. Alle Einzelschritte während der Berechnung können automatisch ablaufen. Die erforderlichen Ergebnisse stehen nun für eine anschließende Auswertung und Interpretation der Berechnung in strukturierter Form zur Verfügung.

5.4 Prozeßschritt: Auswertung

Die wesentliche Grundlage für die Konstruktion und die Nachweisführung von Gittermast-Fahrzeugkranen bilden zuverlässige Aussagen zum Antwortverhalten der Strukturen auf mechanische Belastungen. Die Aufgabe der Auswertung ist es, einen vielfältigen Zugriff auf die ermittelten Berechnungsergebnisse zu ermöglichen, mit dem Ziel, automatisiert aussagekräftige Ergebnisse zu extrahieren. Zu diesem Zweck erweist sich die in Abb. 5.32 gezeigte Bereichsaufteilung der Auswertung in die Einzelschritte Bauteil, Baugruppe und Gesamtstruktur als hilfreich.

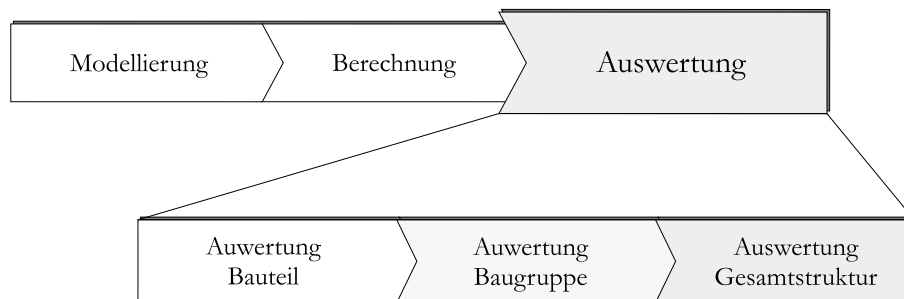


Abbildung 5.32: Bereichsaufteilung für die Auswertung

Aufbauend auf dieser Bereichsaufteilung wird zuerst auf spezielle Funktionen für eine hierarchiebezogene Auswertung der Berechnungsergebnisse eingegangen. Hieraus werden anschließend Methoden zur automatisierten Auswertung einer Kranstruktur zum Zweck der Nachweisführung und zum Zweck der Optimierung abgeleitet.

5.4.1 Hierarchiebezogene Auswertung

Eine hierarchiebezogene Auswertung unterscheidet die Auswertung von Bauteilen, Baugruppen und die Auswertung der Gesamtstruktur. Die Auswertung der einzelnen Stufen erfolgt mit Hilfe von speziellen Auswertemethoden. Für die Auswertung stehen alle gespeicherten Ergebnisse der Berechnung zur Verfügung. Dies sind Elementspannungen und -kräfte, Seilkräfte, Lagerreaktionen und Knotenverschiebungen. Zu den Elementspannungen gehören die Vergleichsspannung sowie die Spannungskomponenten Normal- und Schubspannung. Da nicht jede Hierarchiestufe über alle Ergebnisdaten verfügt, zeigt Tab. 5.9 alle Auswertemethoden bezüglich ihrer Anwendbarkeit auf die einzelnen Stufen.

Tabelle 5.9: Methoden für eine hierarchiebezogene Auswertung

Auswertemethode	Bauteil	Baugruppe	Ausrichtungszustand
Alle Elementkräfte	•		
Max. Elementkräfte	•	•	•
Min. Elementkräfte	•	•	•
Abs. Max. Elementkräfte	•	•	•
Anschluß Elementkräfte	•	•	•
Alle Elementspannungen	•		
Max. Elementspannungen	•	•	•
Min. Elementspannungen	•	•	•
Abs. Max. Elementspannungen	•	•	•
Alle Sicherheiten	•		
Max. Sicherheiten	•	•	•
Min. Sicherheiten	•	•	•
Alle Knotenverschiebungen	•		
Max. Knotenverschiebungen	•	•	•
Min. Knotenverschiebungen	•	•	•
Abs. Max. Knotenverschiebungen	•	•	•
Anschluß Knotenverschiebungen	•	•	•
Alle Seilkräfte			•
Max. Seilkräfte			•
Min. Seilkräfte			•
Alle Lagerreaktionen			•
Max. Lagerreaktionen			•
Min. Lagerreaktionen			•

Die Elementkräfte werden unter Angabe der Elementnummer ausgegeben. Zusätzlich wird angegeben ob die Kräfte am Elementanfang oder -ende auftreten. Die Elementkräfte setzen sich aus einer Normalkraft, einem Torsionsmoment in Richtung der Elementlängsachse sowie zwei Querkräften und zwei Biegemomenten in Richtung der beiden anderen Achsen des lokalen Elementkoordinatensystems zusammen.

Wie die Elementkräfte werden auch die Elementspannungen und die Sicherheiten unter Angabe der Elementnummer ausgegeben. Unter den beschriebenen Elementspannungen sind die Spannungen aus Normalkraft, die Spannungen aus Biegemomenten, die Schubspannungen und die maximale Vergleichsspannung der Elemente zu verstehen. Die Schubspannung wird durch ein Torsionsmoment und durch zwei Querkräfte ermittelt. Die Grundlage zur Bestimmung der Sicherheiten liefern die Spannungsergebnisse der Elemente. Die Sicherheit für ein Element ergibt sich aus dem Quotient der zulässigen Spannung und der tatsächlich auftretenden Spannung.

Die Verschiebungen der Knoten werden unter Angabe der Knotennummer ausgegeben. Sie setzen sich aus den Einzelverschiebungen der Knoten in Richtung der Koordinatenachsen des Bauteils oder der Baugruppe zusammen. Innerhalb der Gesamtstruktur bestehen die Knotenverschiebungen aus den Einzelverschiebungen der Knoten in Richtung der Achsen des globalen Koordinatensystems. Für alle Knoten, die zu einem Anschluß gehören, werden neben der Nummer auch die Anschlußinformationen ausgegeben. Für einen Knoten sind dies der Name des Anschlusses, zu dem er gehört, und der Name des Anschlußpunktes, dem er zugeordnet ist.

Schließlich sind zu den Kräften der Gesamtstruktur auch die Seilkräfte und die Lagerreaktionen zu zählen. Die Ausgabe der Seilkräfte erfolgt unter Angabe des Seils. Zusätzlich können die Spannungen, Dehnungen und Sicherheiten für die Seile ermittelt werden. Die Lagerreaktion treten an den Lagerpunkten auf, die Anschlüsse der Gesamtstruktur darstellen. Demzufolge werden die Lagerreaktionen unter Angabe der Anschlußinformation und der Knotennummer ausgegeben.

Die beschriebenen Auswertemethoden für die Elementkräfte, Elementspannungen und Knotenverschiebungen können wahlweise auf einen bestimmten Zeitschritt, auf alle verfügbaren Zeitschritte oder über alle verfügbaren Zeitschritte einer Berechnung angewendet werden. Im Falle eines bestimmten Zeitschritts werden nur die Ergebnisse des einen Zeitschritts ausgegeben. Falls die Auswertemethoden auf alle Zeitschritte angewendet werden, werden die Ergebnisse aller Zeitschritte angezeigt. Über alle Zeitschritte können nur die

Minimum-Funktionen und Maximum-Funktionen eingesetzt werden. Hier wird das Minimum oder Maximum eines Ergebnisses aller Zeitschritte bestimmt.

Für die Maximum- und Minimum-Methoden der Bauteil-, Baugruppen- und Gesamtstrukturauswertung besteht neben der absoluten Anwendung zusätzlich die Möglichkeit einer relativen Auswertung der Ergebnisse. Hierzu werden die Auswertemethoden in Verbindung mit einer Anzahl von Ergebnissen angewendet, die relativ zum Maximum oder Minimum ausgegeben werden sollen. Am Beispiel der maximalen Knotenverschiebungen der Gesamtstruktur in Verbindung mit zehn Ergebniswerten bedeutet dies, daß die zehn größten auftretenden Knotenverschiebungen der Gesamtstruktur unter Angabe der Baugruppe, des Bauteils und der Knotennummer ausgegeben werden.

5.4.2 Nachweisführung und Optimierung

Berechnungen werden in verschiedenen Stadien der Kranentwicklung durchgeführt. Entsprechend der Intention einer Berechnung unterscheidet man Auslegungs- und Nachrechnungen (vgl. Kapitel 3.1.2). Folglich ergeben sich für die Auswertung dieser Berechnungen zwei unterschiedliche Zielrichtungen:

- Auswertung zur Nachweisführung
- Auswertung zur Auslegung und Optimierung

Erfolgt eine Auswertung zum Zweck der Nachweisführung, ist für eine vorgegebene Konfiguration die maximale Tragfähigkeit nachzuweisen. Dies bedeutet, daß für eine Berechnung mit mehreren Zeitschritten die maximale Hublast zu bestimmen ist, bei der alle geforderten Nachweiskriterien nach Norm erfüllt sind. Zusätzlich sind die in Kapitel 3.2.4 aufgeführten Nachweise zu erbringen. Ein solches Nachweisverfahren beginnt mit dem letzten verfügbaren Zeitschritt vor Abbruch der Berechnung. Ist ein Nachweis der Kranstruktur nicht möglich, erfolgt automatisch die gleiche Untersuchung für den vorherigen Zeitschritt. Dies geschieht solange bis alle Nachweiskriterien erfüllt sind. Im folgenden wird gesondert auf die einzelnen Nachweise eingegangen.

Die Nachweise der Festigkeit und der lokalen Stabilität werden auf der Grundlage der Bauteilauswertung durchgeführt. Nach Kapitel 3.2.2 erfolgt der Allgemeine Spannungsnachweis und der Stabilitätsnachweis nach geometrisch nichtlinearer Theorie mit Hilfe der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte und Grenzspannungen. Es ist nachzuweisen, daß die

zulässigen Grenzspannungen $\lim \sigma$ und $\lim \tau$ bei Einwirkung der mit den Teilsicherheitsbeiwerten vervielfachten Lasten nicht überschritten werden. Dabei wird die Vergleichsspannung σ_v nach der Gestaltänderungsenergie-Hypothese [Nie-81] ermittelt:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_N^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (5.4)$$

mit $\sigma_N = \text{Normalspannung}$
 $\tau = \text{Schubspannung}$

Der lokale Stabilitätsnachweis (Einzelstabknicken) wird wie der Spannungsnachweis mit den Spannungen oder Schnittgrößen aus den mit den Teilsicherheitsbeiwerten vervielfachten Lasten geführt. Diese Spannungen dürfen die 0,9-fachen Grenzwerte nach DIN 4114 Teil 1 und Teil 2 [DIN 4114 T1, DIN 4114 T2] nicht überschreiten [DIN 15018 T3]. Da ein Rechenlauf bis zur Stabilitätsgrenze rechnet, ist die globale Stabilität des Gesamtsystems ist bis zum letzten Zeitschritt vor Abbruch der Berechnung gewährleistet.

Der Standsicherheitsnachweis nach DIN 15019 Teil 2 [DIN 15019 T2] kann für ein Kransystem unter Verwendung der berechneten Elementkräfte erfolgen. Die Rollendrehverbindung wird für die maximal auftretende Axiallast und das maximale Moment auf die Drehmitte gegen zulässige Lasten aus einem Grenzlastdiagramm für die Rollendrehverbindung nachgewiesen. Für die Haltestangen und Halteseile einer Kranstruktur ist der Allgemeine Spannungsnachweis nach DIN 15018 Teil 3 [DIN 15018 T3] zu führen.

Der Stützkraftnachweis und der Nachweis für die laufenden Seile erfolgt auf der Grundlage der Ergebnisauswertung für die Gesamtstruktur. Für den Stützkraftnachweis darf eine zulässige Grenzstützkraft nicht überschritten werden. Zum Nachweis der Seile darf die auftretende maximale Seilkraft die zulässige Grenzkraft des Seils nicht überschreiten.

Wird eine Auswertung nicht zum Zweck der Nachweisführung, sondern zum Zweck der Auslegung durchgeführt, sollen die Berechnungsergebnisse zur Entwicklung und Konstruktion des Kransystems beitragen. Diese Art der Auswertung soll aussagekräftige Interpretationen der Berechnungsergebnisse ermöglichen, um die gezielte Optimierung des gesamten Systems oder einzelner Komponenten zu unterstützen. Besonders für die Optimierung sind spezielle Funktionen erforderlich.

Bestimmte Komponenten eines Kransystems, wie Gittermast-Bauteile, können sowohl in einem Rüstzustand mehrmals eingebaut als auch in mehreren unterschiedlichen Rüstzuständen verwendet werden. Für einen Berechnungslauf kann die Auswertung der Komponenten mit den in Kapitel 5.4.1 beschriebenen Auswertemethoden erfolgen. Um jedoch

eine optimierte Konstruktion des Gesamtsystems und einzelner Komponenten zu erzielen, ist eine gleichzeitige Auswertung mehrerer Berechnungsläufe unerlässlich.

Für die optimale konstruktive Gestaltung eines Bauteils ist es beispielsweise wichtig, die maximale Belastung des Bauteils aus mehreren Berechnungen für verschiedene Rüstzustände zu kennen. Eine solche Extremwertbestimmung kann sich auf unterschiedliche Spannungstypen wie Vergleichsspannungen, Normal- oder Schubspannungen, auf Elementkräfte oder auf Sicherheiten des Bauteils beziehen.

In diesem Zusammenhang ist auch der Auslastungsgrad eines Bauteils von großem Interesse. Dieser stellt den reziproken Wert der minimalen Sicherheit eines Bauteils dar. Eine Bestimmung von Auslastungsgraden eines Bauteils aus mehreren Berechnungen ermöglicht umfassende Aussagen zur Ausnutzung eines Bauteils innerhalb eines Rüstzustands oder in mehreren verschiedenen Rüstzuständen.

Bei der Optimierung des Gesamtsystems spielen die Nachweiskriterien eine Rolle, die zur Begrenzung der Tragfähigkeit eines Systems entscheidend sind. Die Kenntnis darüber, ob die Tragfähigkeit eines Rüstzustands durch die Festigkeit, die Stabilität, die Standsicherheit oder durch eines der anderen Kriterien begrenzt wird, hilft die Schwachstellen einer Gesamtstruktur zu erkennen. Daher können für mehrere Berechnungen verschiedener Rüstzustände jeweils die tragfähigkeitsbegrenzenden Kriterien ermittelt werden.

5.4.3 Visualisierung

Die bisher beschriebenen Auswertemethoden geben die Ergebnisse in numerischer und tabellarischer Form aus. Darüberhinaus umfaßt die automatisierte Auswertung auch die Möglichkeit Berechnungsergebnisse zu visualisieren. Dazu wird eine graphische Aufbereitung der Ergebnisse auf folgende Arten ermöglicht:

- Darstellung der Ergebnisse im Diagramm
- Darstellung der Ergebnisse im Histogramm
- Darstellung der Ergebnisse über die Struktur

Ein Beispiel für eine graphisch aufbereitete Darstellung der Ergebnisdaten in Diagrammform ist in Abb. 5.33 dargestellt. Hier ist die Verformung für einen Knoten eines Bauteils, einer Baugruppe oder einer Gesamtstruktur über der Last für eine Berechnung

aufgetragen. Jeder Verformungswert auf dem Graphen entspricht einem bestimmten Zeitschritt der Berechnung. Der ausgewählte Knoten zur Visualisierung der Verformung könnte ein markanter Punkt an der Auslegerspitze des Kransystems sein, um die maximale Verschiebung des gesamten Auslegertragwerks über der Last darzustellen.

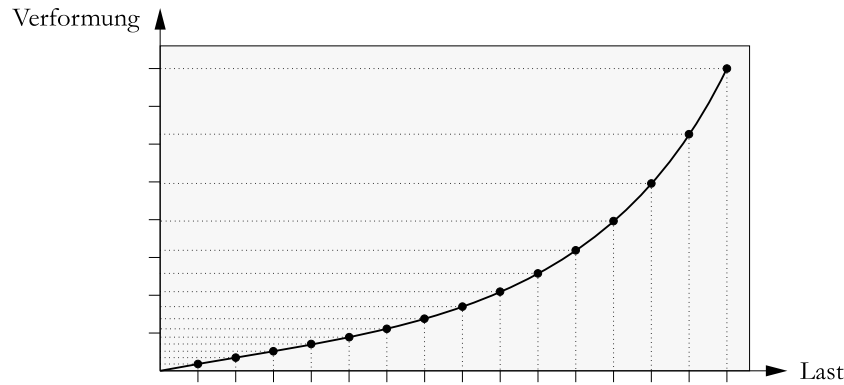


Abbildung 5.33: Diagramm für die Verformung unter Last

Nach Kapitel 5.4.2 ist der Auslastungsgrad für eine Optimierung von Krankomponenten von großem Interesse. Das in Abb. 5.34 gezeigte Histogramm stellt eine Möglichkeit dar den Auslastungsgrad zu visualisieren und graphisch auszuwerten. Es ist exemplarisch die Auslastung für ein Bauteil über mehrere Rüstzustände dargestellt.

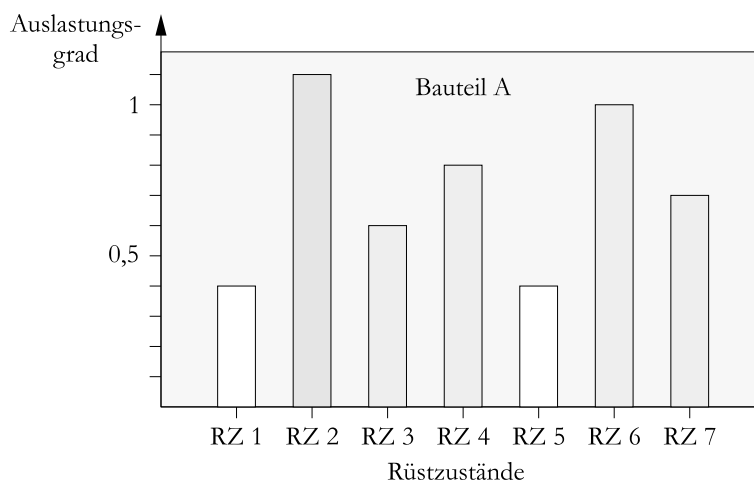


Abbildung 5.34: Auslastungsgrade eines Bauteils

Eine weitere Möglichkeit die Berechnungsergebnisse graphisch aufzubereiten liegt in der Darstellung der Ergebnisse über die Struktur. Dies kann mit Hilfe von graphischen Postprozessoren (z.B. I-DEAS) in Form von Verschiebungs-, Kraft- oder Spannungsschaubildern für Bauteile, Baugruppen oder Gesamtstrukturen auf der Grundlage der berechneten Ergebnisse erfolgen.

5.5 Zusammenfassung

Nachdem zu Anfang dieses Kapitels die Notwendigkeit für die Automatisierung der Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkränen dargelegt wurde, sind anschließend die einzelnen Phasen der Berechnung analysiert worden. Hieraus entstanden Methoden zur automatisierten Modellerstellung, Berechnung und Auswertung.

Mit dem Prototypenkonzept wird im Bereich der Modellerstellung ein neues Konzept vorgestellt, daß die automatisierte Modellgenerierung auf den Ebenen Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand unterstützt. Für die Berechnung wurden Methoden sowohl zur Vorbereitung und zur Ausführung als auch zur Ergebnisverarbeitung eines Rechenlaufs entwickelt. Die Berechnung kann automatisch ablaufen. Vielfältige Auswertemethoden bieten einen automatisierten Zugriff auf die ermittelten Berechnungsergebnisse. Sie haben das Ziel aussagekräftige Ergebnisse zur Optimierung von Kransystemen zu extrahieren und eine automatisierte Nachweisführung zu ermöglichen.

Die Erstellung von Traglasttabellen stellt eine vorrangige Aufgabe der Kranberechnung dar. In Verbindung mit den entworfenen Methoden zur automatisierten Auswertung bilden die beschriebenen Ergebnisdaten die direkte Grundlage zur Erstellung von Traglastkurven und Traglasttabellen für Gittermast-Fahrzeugkrane.

Wie aus Kapitel 2 hervorgeht, ist neben der Automatisierung eine zentrale Datenhaltung der Berechnungsinformation ebenso von Bedeutung. Daher wird nun auf den Einsatz eines Datenbanksystems zur Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkränen eingegangen. Bevor die Datenstruktur des Berechnungssystems erläutert wird, werden die Grundlagen von Datenbanksystemen dargestellt.

Kapitel 6

Datenbankgestützte Berechnung

Kapitel 4 vorliegender Arbeit befaßte sich mit den Grundlagen relationaler Datenbanksysteme. Es wurden Techniken zur Erstellung von Datenmodellen aufgezeigt sowie deren Überführung in ein relationales Datenbankschema beschrieben. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der automatisierten Berechnung aus Kapitel 5 dienen diese Grundlagen zur Entwicklung von Konzepten für eine datenbankgestützte Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkränen auf der Basis eines relationalen Datenbanksystems.

Im Vergleich zu Kapitel 4 über die Datenbankgrundlagen wird im folgenden aus Gründen einer vereinfachenden Beschreibung nicht mehr zwischen Entity und Entitytyp bzw. Beziehung und Beziehungstyp unterschieden. Zur weiteren Beschreibung der Datenmodelle werden vereinfachend Entitymengen als Entities und Beziehungsmengen als Beziehungen bezeichnet.

6.1 Definition von Datenbereichen

Bevor ein Datenmodell zur Berechnung von Fahrzeugkränen erstellt werden kann beginnt man, wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben, den Datenbankentwurf mit einer Datenanalyse. Hierbei geht es darum, die für das Berechnungssystem notwendigen Daten und deren Beziehungen samt Mengengerüst zu entwickeln. In der Analyse müssen sowohl die Informationsanforderungen der zu modellierenden Miniwelt als auch die Datenverarbeitungsvorgänge berücksichtigt werden.

Als Grundlage zur Strukturierung aller erforderlichen Berechnungsdaten wird das bereits in Kapitel 5.2 vorgestellte Ebenenmodell für die Modellierung verwendet. Es wird

zusätzlich durch die Informationen der Lasten und Berechnungen ergänzt. Hieraus ergeben sich die vier in Abb. 6.1 dargestellten Datenbereiche einer Kranberechnung.

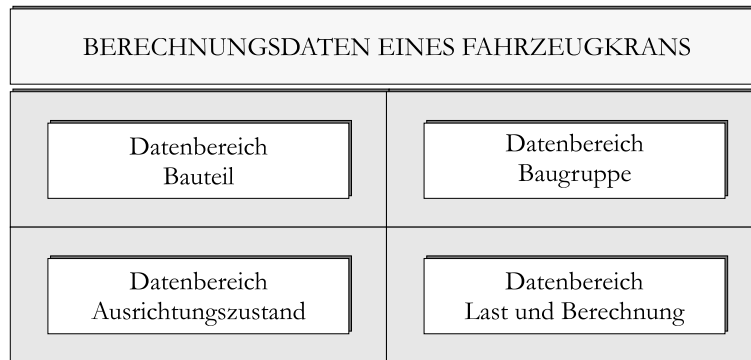


Abbildung 6.1: Einteilung der Berechnungsdaten in Bereiche

Oberhalb dieser vier Datenbereiche sind die Kransdaten anzusiedeln. Sie gelten in allen vier Bereichen und umfassen Informationen zur Identifikation des Kransystems sowie zur Typenbezeichnung. Alle weiteren Informationen, die für eine Kranberechnung erforderlich sind, werden im folgenden aufgeschlüsselt auf die vier Datenbereiche dargestellt. Zur besseren Zuordnung werden die Informationen der jeweiligen Bereiche nochmals in Gruppen aufgeteilt, die innerhalb des Bereichs Daten bestimmter Art zusammenfassen.

6.1.1 Datenbereich Bauteil

Bauteile sind die kleinsten Modellierungseinheiten eines Gittermast-Fahrzeugkrans. Man unterscheidet regelmäßige und unregelmäßige Gittermast-Bauteile sowie Sonderbauteile. Zur Generierung von Bauteilmodellen stehen gemäß Kapitel 5.2.1 die beiden Modelltypen Basismodell und Einzelstabmodell zur Verfügung. Aus den Eigenschaften dieser Modelltypen lassen sich die folgenden Datengruppen für den Bauteilbereich ableiten:

- Allgemeine Daten
- Finite-Elemente-Daten
- Daten der Bauteilanschlüsse
- Bauteilbezogene Ergebnisse

In Tab. 6.1 sind die Bauteilinformationen nach Datengruppen aufgelistet. Sie dienen als Grundlage zur Erstellung eines ER-Modells für den Datenbereich Bauteil.

Tabelle 6.1: Informationen für den Datenbereich Bauteil

Datengruppe	Informationen
Allg. Daten	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation (Nummer, Name, Identifikationsnummer) - Geometrie (Länge, Breite, Höhe) - Masse - Schwerpunktkoordinaten - Verwendung im Kran - Bearbeitung (Bearbeiter, Erstellung, Änderung)
Anschlußdaten	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation (Nummer, Name) - Kennung (Anfangs-, End-, Montage-, Montier- oder Seilkennung) - Modalität (zwingend oder optional) - Koordinaten - Geometrie (Gerade, Rechteck, ...) - Drehachse und Orientierung (Koordinatensystem) - Anschlußpunktidentifikation (Nummer, Name) - Anschlußpunktinformation (Anzahl, Koordinaten)
FE-Modell	<ul style="list-style-type: none"> - Elemente (Nummer, Name, Knotenzahl, Typ, Masse, ...) - Knoten (Nummer, Name, Knotenkoordinaten, ...) - Querschnitte (Nummer, Name, Typ, Fläche, ...) - Materialien (Nummer, Name, E-Modul, Dichte, ...)
Ergebnisdaten	<ul style="list-style-type: none"> - Elementkräfte- und -spannungen - Knotenverschiebungen - Anschlußkräfte und -verschiebungen

In den allgemeinen Bauteildaten und den Anschlußdaten sind neben den Identifikationsinformationen alle Daten eines Basismodells enthalten. Alle zusätzlichen Informationen für das Einzelstabmodell eines Bauteils sind in der Datengruppe FE-Modell zusammengefaßt. Die Gruppe Ergebnisse beinhaltet die bauteilbezogenen Ergebnisse der Berechnung.

6.1.2 Datenbereich Baugruppe

Eine Baugruppe wird aus Bauteilen zusammgebaut. Die Informationen, die zum Datenbereich einer Baugruppe gehören, werden in folgende Datengruppen aufgeteilt:

- Allgemeine Daten
- Daten der Baugruppenanschlüsse
- Montagedaten
- Baugruppenbezogene Ergebnisse

In Tab. 6.2 sind alle erforderlichen Baugruppeninformationen, eingeteilt nach den genannten Gruppen, dargestellt. Auf der Basis dieser Daten erfolgt die Erstellung eines Entity-Relationship-Modells für den Datenbereich Baugruppe.

Tabelle 6.2: Informationen für den Datenbereich Baugruppe

Datengruppe	Informationen
Allg. Daten	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation (Nummer, Name) - Geometrie (Länge) - Verwendung im Kran - Bearbeitung (Bearbeiter, Erstellung, Änderung)
Anschlußdaten	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation (Nummer, Name) - Koordinaten - Zugeordneter Bauteilanschluß (Identifikation)
Montagedaten	<ul style="list-style-type: none"> - Montage- oder Startpunkt (Koordinaten, Orientierung) - Montageplan (Bauteilidentifikation, Bauteilanschlüsse) - Montagereihenfolge - Bauteiltransformation (Verschiebung, Drehung) - Montagestatus
Ergebnisdaten	<ul style="list-style-type: none"> - Anschlusskräfte - Anschlussverschiebungen

In den allgemeinen Baugruppendaten sind neben Bearbeitungs- und Verwendungsinformationen im wesentlichen die Daten zur Identifikation der Baugruppe enthalten. Wie Bauteile haben auch Baugruppen Anschlüsse. Neben der Identifikation und den Koordinaten besitzt jeder Baugruppenanschluß einen Verweis auf einen zugeordneten Bauteilanschluß. Somit werden Eigenschaften von Baugruppenanschlüssen zusätzlich durch die Eigenschaften ihrer zugeordneten Bauteilanschlüsse bestimmt.

Wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben wird eine Baugruppe montiert, indem man Bauteile an Anschlüssen zusammengefügt. Als Ergebnis dieser Montage wird jedem Bauteil der Baugruppe ein Verschiebungsvektor und eine Transformationsmatrix zugeordnet. Sie definieren die Lage des Bauteils innerhalb der Baugruppe. In den Montagedaten sind daher ein Montageplan für die Bauteile sowie deren Transformationsinformation enthalten. Schließlich sind in der Datengruppe Ergebnisse die baugruppenbezogenen Verschiebungen von Anschlüssen sowie die Kräfte in den Anschlüssen zusammengefaßt.

6.1.3 Datenbereich Ausrichtungszustand

Ausrichtungszustände setzen sich aus Baugruppen und Seilen zusammen. Wie in Kapitel 5.2.3 dargestellt werden zuerst die Baugruppen in Grundstellung zur Gesamtstruktur montiert und anschließend in die gewünschte Stellung gedreht. Die Definition der Seilverläufe vervollständigt den Ausrichtungszustand. Für den Informationsbereich von Ausrichtungszuständen werden folgende Datengruppen unterschieden:

- Allgemeine Daten
- Montage- und Ausrichtedaten
- Seildaten
- Rand- und Zwangsbedingungsdaten
- Ausrichtungszustandsbezogene Ergebnisse

Zur Strukturierung aller Informationen eines Ausrichtungszustands sind in Tab. 6.3 alle Daten aufgegliedert nach den genannten Gruppen zusammengefaßt. Diese Informationen dienen als Grundlage zur Erstellung eines Entity-Relationship-Modells für den Datenbereich Ausrichtungszustand.

Tabelle 6.3: Informationen für den Datenbereich Ausrichtungszustand

Datengruppe	Informationen
Allg. Daten	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation (Nummer, Name) - Verwendung im Kran - Bearbeitung (Bearbeiter, Erstellung, Änderung)
Montage- und Ausrichtedaten	<ul style="list-style-type: none"> - Montage- oder Startpunkt (Koordinaten, Orientierung) - Montageplan (Baugruppenidentifikation und -anschlüsse) - Ausrichtemethode (A-Gruppe, L-Gruppe, ...) - Referenzbaugruppe (Identifikation) - Ausrichteinformation (Referenzbaugruppe, Referenzanschluß) - Montage- und Ausrichtereihenfolge - Baugruppentransformation (Verschiebung, Drehung) - Baugruppenbewegung (Drehen, Wippen, Fahren) - Parametersatz (Identifikation, Wert, Parametersatzstatus) - Parameter (Identifikation, Wert)
Seildaten	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation (Nummer, Name) - Einscherung - Seilart (Identifikation, Durchmesser, Festigkeit, ...) - Seilverlauf (Anschlußidentifikation und -position)
Rand- und Zwangsbedingungsdaten	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation (Nummer, Name) - Anschluß (Nummer, Name) - Freiheitsgrade (3 translatorische, 3 rotatorische) - Abhängiger Anschluß (Identifikation) - Unabhängiger Anschluß (Identifikation) - Richtungskennung (Translation, Rotation)
Ergebnisdaten	<ul style="list-style-type: none"> - Standsicherheit - Seilkräfte - Lager- bzw. Stützkräfte - Anschlußkräfte und -verschiebungen

Wie bei den Baugruppendaten sind auch in den allgemeinen Ausrichtungszustandsdaten Bearbeitungs- und Verwendungsinformationen sowie Daten zur Identifikation enthalten. Ebenso besitzen die Ausrichtungszustände Anschlüsse: Einen Anschluß als Montageanschluß für die erste Baugruppe und weitere zur Definition des Seilverlaufs. Neben der Identifikation und den Koordinaten besitzt jeder Ausrichtungszustandsanschluß eine Verknüpfung mit einem zugeordneten Anschluß einer Baugruppe.

In der Datengruppe Montage- und Ausrichtedaten sind alle Informationen definiert, um die Baugruppen in Grundstellung zur Gesamtstruktur zu montieren und anschließend in die gewünschte Stellung zu drehen. Hierzu werden im wesentlichen die in Kapitel 5.2.3 entwickelten Ausrichtemethoden verwendet. Die Kombination dieser Methoden mit Parametern des Ausrichtungszustands legen die Stellung der Baugruppen fest. Die Ausrichteparameter sind in Parametersätzen zusammengefaßt und dem Ausrichtungszustand zugeordnet. Zusätzlich sind mögliche Bewegungszustände einer Baugruppe definiert. Die Daten zu den Seilen, den Rand- und Zwangsbedingungen sowie den ausrichtungsbezogenen Ergebnisdaten vervollständigen die Beschreibung eines Ausrichtungszustands.

6.1.4 Datenbereich Last und Berechnung

Aus Kapitel 3.2.3 geht hervor, daß die auf ein Krantragwerk wirkenden Lasten in die Lastannahmen Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten eingeteilt werden. Aus diesen Lastgruppen setzen sich die Regel- und Sonderlastfälle zusammen. Sie beinhalten 15 unterschiedliche Lastfälle, die alle unabhängig voneinander nachzuweisen sind. Die erforderlichen Informationen zur Definition von Lasten und Rechenläufen befinden sich im Datenbereich Last und Berechnung, der in folgende Datengruppen aufgeteilt werden kann:

- Lastfallgruppendaten
- Lastfalldaten
- Lasttypdaten
- Last- und Rechendaten

In Tab. 6.4 sind die Last- und Berechnungsinformationen aufgegliedert nach den genannten Gruppen dargestellt. Aufbauend auf diesen Daten erfolgt die Erstellung eines Entity-Relationship-Modells für den Datenbereich der Last und Berechnung.

Tabelle 6.4: Informationen für den Datenbereich Last und Berechnung

Datengruppe	Informationen
Lasttypdaten	- Identifikation (Nummer, Name)
Lastfalldaten	- Identifikation (Nummer, Name) - Verwendung von Lasttypen - Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten
Lastfallgruppendaten	- Identifikation (Nummer, Name) - Verwendung von Lastfällen
Lastdaten (vgl. Tab. 5.7)	- Gravitationsvektor - Hublast, Angriffspunkt - Hubklasse und -geschwindigkeit - Drehachsen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen - Windrichtung, Staudruckprofil, Abschattungsfaktoren
Rechendaten	- Ausrichtungszustände (Identifikation) - Parametersätze (Identifikation) - Bauteildaten (Basis- bzw. Einzelstabmodell) - Verwendung von Lastfallgruppen - Steuerparameter zur Berechnung - Berechnungsstatus

Die drei Datengruppen Lasttyp, Lastfall und Lastfallgruppe besitzen jeweils Informationen zu ihrer Identifikation. Durch die Verwendung von Lasttypen und Teilsicherheitsbeiwerten lassen sich beliebige Lastfälle kombinieren. Diese können nach Kapitel 5.2.5 zu sogenannten Lastfallgruppen zusammengefaßt werden. Auf diese Weise ist eine einfache Zuweisung ganzer Lastpakete zu Ausrichtungszuständen möglich.

Die Lastdaten beschreiben den Last- und Bewegungszustand des zu berechnenden Kransystems. Zusammen stellen die Informationen zu den Lasten, den Ausrichtungszuständen, ihren Parametersätzen und den zugehörigen Bauteilen alle erforderlichen Daten eines kompletten Rechenmodells dar. Vervollständigt werden die Berechnungsinformationen durch Steuerparameter und einen Status für die Berechnung.

Bisher wurden alle erforderlichen Daten zur Berechnung eines Fahrzeugkrans systematisch aufbereitet. Im folgenden Kapitel wird auf die Verwendung dieser Informationen zur Erstellung eines Datenmodells für das Berechnungssystem eingegangen.

6.2 Entityklassen

In Kapitel 5 wurden u.a. Konzepte zur automatisierten Berechnung vorgestellt. Zur Umsetzung dieser Konzepte sind neben den Algorithmen zur Automatisierung abgestimmte und flexible Datenstrukturen entscheidend. Sie bilden die Grundlage zur Speicherung aller Daten einer automatisierten Berechnung. Die Integration von Algorithmen und Datenstrukturen führte zur Entwicklung der folgenden Entityklassen:

- Prototypenentity
- Wertentity
- Katalogentity
- Verwendungentity

Zur Vorbereitung der Entity-Relationship-Modellierung werden im weiteren sowohl die Funktionen als auch die Daten der genannten Entityklassen beschrieben. Die bisher vorgestellten Daten der Bereiche Bauteile, Baugruppen, Ausrichtungszustände sowie Lasten und Berechnungen werden in die entsprechenden Entityklassen aufgeteilt und durch Merkmale bzw. Attribute genauer spezifiziert. In Anlehnung an die Syntax der ER-Modellierung aus Kapitel 4.2.2 werden bereits hier die verschiedenen Attributtypen der Entities durch die entsprechenden vorangestellten Symbole unterschieden. Zur kompakteren tabellarischen Darstellung werden mehrere ähnliche Attribute gleichen Typs durch einen Oberbegriff bezeichnet. Die tatsächliche Anzahl der Attribute ist in Klammern vermerkt.

6.2.1 Prototypenentity

Die Klasse der Prototypentities leitet sich unmittelbar aus dem in Kapitel 5.2.4 vorgestellten Prototypenkonzept ab. Hier werden die Gesamtinformationen eines Kransystems in zwei Bereiche unterteilt: In solche Informationen, die für bestimmte Arten von Systemen immer gleich sind, und in Informationen, die für jedes System unterschiedlich sind.

Die Definitionen der immer wiederkehrenden Daten werden in den Prototypen hinterlegt. Prototypen sind Modellschablonen, die sowohl vordefinierte Informationen zur Modellgenerierung bereitstellen als auch die Konsistenz der Modelldaten sichern.

Zur datentechnischen Beschreibung der Prototypendaten wird die Klasse der Prototypentitäten verwendet. Da die Prototypen die Modellierung durchgängig unterstützen, existieren Prototypentitäten für die Datenbereiche Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand. Den zentralen, übergeordneten Entitäten für die Bauteil-, Baugruppen- und Ausrichtungszustandsprototypen sind weitere Prototypentitäten untergeordnet. Miteinander verknüpft, dienen sie als geschlossene Einheit zur Definition der kompletten Prototypeninformation. Allgemein werden übergeordnete Entitäten auch als Master-Entitäten und zugehörige, untergeordnete Entitäten als Detail-Entitäten bezeichnet.

In den nachfolgenden Tabellen sind alle Prototypendaten der Datenbereiche für die Modellierung gegliedert nach Prototypentitäten aufgelistet. Zu Beginn sind in Tab. 6.5 die Prototypeninformationen für den Datenbereich Bauteil dargestellt.

Tabelle 6.5: Prototypentitäten für den Datenbereich Bauteil

Prototypentität	Prototypenattribut
Bauteilprototyp (BTP)	# * Nummer # * Name o Geometrie
BTP-Anschluß	# * Nummer # * Name * Optionalität * Kennung (5)
Anschlußgeometrie	# * Nummer # * Name * Geometrie * Anzahl der Anschlußpunkte * Drehvektor (3) * Orientierung (9)
BTP-Anschlußpunkte	# * Nummer # * Name * Position (5)

Der Bauteilprototyp als Master-Entity stellt zusammen mit den genannten untergeordneten Prototypenentitities die vordefinierten Informationen zur Bauteilgenerierung zur Verfügung. Hauptsächlich sind hierzu die Anschlüsse und deren Eigenschaften definiert. Alle Prototypenentitities innerhalb des Bauteildatenbereichs sind reguläre, d.h. autonom existierende Entities, die jeweils durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig identifiziert werden.

Aus den Bauteilprototypen können Baugruppenprototypen zusammengesetzt werden. Bei ihnen sind die vordefinierten Daten zur Generierung von Baugruppen hinterlegt. In Tab. 6.6 sind die Daten der Baugruppenprototypen zusammengestellt.

Tabelle 6.6: Prototypenentitities für den Datenbereich Baugruppe

Prototypenentity	Prototypenattribut
Baugruppenprototyp (BGP)	# * Nummer # * Name
BGP-Anschluß	# * Nummer # * Name
BTP-Montage	# * Montier-BTP-Nummer # * Montier-BTP-Name

Die Daten der Baugruppenprototypen umfassen sowohl Anschlüsse für Baugruppen als auch Möglichkeiten zu deren Montage. Dies sind mögliche Bauteilprototypen aus denen Baugruppenprototypen montiert sind. Die Anschlüsse der Baugruppenprototypen gehen unmittelbar aus den Anschlüssen der verwendeten Bauteilprototypen hervor. Wie bei den Bauteilen existieren auch bei den Baugruppen alle Prototypenentitities innerhalb des Datenbereichs autonom und sind jeweils durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig identifiziert.

Schließlich setzen sich Ausrichtungszustandsprototypen aus den beschriebenen Baugruppenprototypen und Prototypen für Montage- und Ausrichtung, Seile, Parameter sowie Rand- und Zwangsbedingungen des Ausrichtungszustands zusammen. In Tab. 6.7 sind die vordefinierten Informationen für die Ausrichtungszustände eingeteilt nach deren Prototypenentitities dargestellt.

Tabelle 6.7: Prototypenentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand

Prototypentity	Prototypenattribut
Ausrichtungszustandsprototyp (AZP)	# * Nummer # * Name
BGP-Transformation	# * Nummer # * Name # * Ausrichteposition * Referenz-BGP-Nummer * Referenz-BGP-Name * Montage-BGP-Nummer * Montage-BGP-Name * BGP-Bewegung (3) * Bodenhöhe * Ausrichtemethode (2) * Referenz-BGP zur Ausrichtung (2) o Referenz-BGP-Anschluß zur Ausrichtung (2) o BGP-Anschluß zur Ausrichtung (2) o Referenzpunkt zur Ausrichtung (3) o Montage-BGP-Anschluß (2) o BGP-Montagepunkt (3) o Drehvektor des Montagepunktes (3) o Orientierung des Montagepunktes (9)
Seilprototyp (SLP)	# * Nummer # * Name
SLP-Anschluß	* Anschlussposition
AZP-Parameter	# * Nummer # * Name o Einheit
Randbedingungsprototyp	# * Nummer # * Name o Translatorische Freiheitsgrade (3) o Rotatorische Freiheitsgrade (3)
Zwangsbedingungsprototyp	# * Nummer # * Name o Unabhängiger BGP-Anschluß (2) o Translatorische Richtungskennung (3) o Rotatorische Richtungskennung (3)

In der BGP-Transformation sind sowohl alle Baugruppenprototypen, die in einem Ausrichtungszustandsprototypen verbaut sind, als auch die erforderlichen Daten zu deren Montage und Ausrichtung hinterlegt. Dies umfaßt im wesentlichen die Festlegung der Montagebaugruppen und -anschlüsse sowie die Ausrichtemethoden, -reihenfolge und -parameter. Die Seilprototypen mit ihren Anschlüssen definieren die Seile des Ausrichtungszustands und deren Verlauf innerhalb des Systems. Die Daten zu den Rand- und Zwangsbedingungen vervollständigen die Definition des Ausrichtungszustandsprototypen. Bis auf die Seilprototypenanschlüsse sind auch hier alle Prototypenentities regulär und werden durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig identifiziert. Die Identifikation der SLP-Anschlüsse kann später durch eine identifizierende Beziehung erfolgen.

Schließlich sind alle bisher genannten Master-Prototypenentities der drei Datenbereiche Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand einem Prototypen für Krane untergeordnet. Der Kranprototypentity existiert autonom und wird durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig identifiziert.

6.2.2 Wertentity

Zur vollständigen Beschreibung der Modellierungsinformation sind die in den Prototypen vordefinierten Informationen noch nicht ausreichend. Wie im Prototypenkonzept beschrieben, vervollständigen daher Benutzerangaben die Daten der Prototypen aus den Bereichen Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand zur kompletten Modellinformation. Zur datentechnischen Beschreibung dieser Informationen wird die Klasse der Wertentities verwendet. Diese werden nicht nur zur Definition der Modellierungsinformation eingesetzt, sondern auch zur Beschreibung der Berechnungsergebnisse und Bearbeitungsinformationen der jeweiligen Datenbereiche sowie der Last- und Berechnungsdaten.

Im Vergleich zu den Prototypenentities existieren die Wertentities in allen Datenbereichen und dienen zur Beschreibung der systemabhängigen Berechnungsinformationen eines Krans. Werden Prototypeninformationen durch Benutzerangaben ergänzt, sind die Wertentities den jeweiligen Prototypenentities zugeordnet. Demzufolge gibt es auch in dieser Entityklasse Master-Entities für Bauteile, Baugruppen und Ausrichtungszustände sowie untergeordnete Detail-Wertentities. Die nachfolgenden Tabellen beinhalten eine Beschreibung der Wertentities aller Datenbereiche. In Tab. 6.8 sind zu Anfang die Wertinformationen für den Datenbereich Bauteil dargestellt.

Tabelle 6.8: Wertentities für den Datenbereich Bauteil

Wertentity	Werteattribut
Bauteil (BT)	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name # * Identifikationsnummer * Masse * Schwerpunkt (3) o Geometrie (3)
BT-Bearbeitung	<ul style="list-style-type: none"> # * Bearbeiter o Bearbeitungsdaten (2)
BT-Anschluß	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name o Koordinaten (3)
BT-Anschlußpunkt	<ul style="list-style-type: none"> * Knoten o Koordinaten (3)
BT-Objekt	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Typ o Objekt
Element	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer * FE-Deskriptoren (2) o weitere Elementdaten (30)
Elementknoten	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer o Freiheitsgrade (6)
Knoten	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer o Koordinaten (3)
Anschlußergebnis	<ul style="list-style-type: none"> # * Zeitschritt o Kräfte (3) o Momente (3)
Elementergebnis	<ul style="list-style-type: none"> # * Zeitschritt o Spannungen (3) o Kräfte (3) o Momente (3)
Knotenergebnis	<ul style="list-style-type: none"> # * Zeitschritt o Verschiebungen (3)

Das Bauteil als Master-Werteentity dieses Datenbereichs beschreibt zusammen mit den aufgelisteten untergeordneten Entities die benutzerdefinierten Informationen zur Bauteilgenerierung. Dies sind spezifische Bauteil- und Bearbeitungsdaten, Koordinaten der bereits im Prototypen festgelegten Bauteilanschlüsse und -anschlußpunkte, Daten zum Einzelstabmodell des Bauteils sowie bauteilbezogene Berechnungsergebnisse.

Die Werteentity Bauteilobjekt beschreibt das komplette Finite-Elemente-Modell eines Bauteils ab. Die Daten des Einzelstabmodells werden auf die Werteentities Element, Knoten und Elementknoten aufgeteilt. Die Ergebnisse lassen sich einteilen in Kräfte und Momente für die Anschlüsse und die Knoten der Elemente, in Verschiebungen für die Knoten sowie in Spannungen für die Elemente. Bei den Elementspannungen handelt es sich um eine Vergleichs-, Normal- und Schubspannung. Die Ergebnisse werden zeitschrittbezogen gespeichert. Bei der Erstellung bzw. Änderung des Bauteils wird in den Bearbeitungsdaten der Bearbeiter und das aktuelle Datum festgehalten.

Bis auf das Bauteil gibt es innerhalb dieses Datenbereichs keine regulären, d.h. autonom existierenden Entities. Während das Bauteil durch die Schlüsselattribute Nummer, Name und Identifikationsnummer eindeutig identifiziert wird, erfolgt die Identifikation der übrigen Werteentities nach Kapitel 4.2.4 durch eine identifizierende Beziehung entweder zur Bauteilentity, zu Prototypentities des Bauteils oder zu beiden.

Eine Baugruppe kann aus einem Bauteil bestehen oder sich aus mehreren Bauteilen zusammensetzen. Gittermastbauteile werden meist zu Auslegern montiert. Im Vergleich dazu bilden Sonderbauteile in der Regel eigene Baugruppen. In Tab. 6.9 sind die benutzerdefinierten Daten zur Definition von Baugruppen zusammengestellt.

Wie bei den Bauteilen umfassen die spezifischen Informationen der Baugruppen Daten zur Baugruppe selbst und deren Bearbeitung. Einer Baugruppe sind zusätzlich die Koordinaten der im Prototypen definierten Baugruppenanschlüsse und deren baugruppenbezogenen Ergebnisse zugeordnet. Darüberhinaus wird innerhalb der Werteentities die Montage der Baugruppe beschrieben. Die Baugruppenanfangs- und -endmontage, sowie die Bauteilmontage beschreiben die Zusammensetzung der Baugruppe. Durch die Bauteiltransformation wird die Lage jedes Bauteils innerhalb der Baugruppe festgelegt.

Auch in diesem Datenbereich ist nur die Baugruppe regulär. Sie wird durch die Schlüsselattribute Nummer und Name identifiziert. Die eindeutigen Schlüssel aller anderen Werteentities des Datenbereichs Baugruppe werden durch identifizierende Beziehungen entweder zur Baugruppententity, zu Prototypentities der Baugruppe oder zu beiden gebildet.

Tabelle 6.9: Wertentities für den Datenbereich Baugruppe

Wertentity	Werteattribut
Baugruppe (BG)	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name * Status
BG-Bearbeitung	<ul style="list-style-type: none"> # * Bearbeiter o Bearbeitungsdaten (2)
BG-Anschluß	<ul style="list-style-type: none"> # * Bauteilmontageposition o Koordinaten (3)
BG-Anfangsmontage	<ul style="list-style-type: none"> # * Montageposition o Montagepunkt (3) o Montagepunktdrehachse (3) o Montagepunktorientierung (9)
BT-Montage	<ul style="list-style-type: none"> # * Montageposition * Montierbauteil (3) * Montierbauteilposition (3) * Montierbauteilanschluß (2)
BG-Endmontage	<ul style="list-style-type: none"> # * Montageposition
BT-Transformation	<ul style="list-style-type: none"> # * Montageposition o Verschiebungsvektor (3) o Transformationsmatrix (9) o Status

Um im nächsten Schritt der Modellierung Ausrichtungszustände zu erzeugen, werden Baugruppen montiert und ausgerichtet sowie Seilverläufe definiert. Die hierzu erforderlichen benutzerdefinierten Daten werden durch die Wertentities des Datenbereichs Ausrichtungszustand abgebildet und sind in Tab. 6.10 aufgelistet.

Der Ausrichtungszustand stellt das Master-Entity des Datenbereichs dar. Hier wird der Ausrichtungszustand festgelegt. Alle weiteren systemspezifischen Informationen zu dessen Bearbeitung, zur Baugruppenmontage und -ausrichtung sowie zu den Seilen und Seilverläufen sind in den zugeordneten Detail-Entities beschrieben.

Die verschiedenen Stellungen der Baugruppen werden durch die freien Parameter eines Ausrichtungszustands definiert und zu Parametersätzen zusammengefaßt. Die Baugrup-

pentransformation beschreibt die Lage jeder Baugruppe innerhalb des Ausrichtungszustands. Der Seilverlauf wird durch die Angabe der Seilanschlüsse spezifiziert.

Die Entities für den Ausrichtungszustand, die Parametersätze und die Seile werden jeweils durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig identifiziert und können autonom existieren. Die Identifikation der restlichen Entities des Datenbereichs werden durch identifizierende Beziehungen entweder zum Ausrichtungszustandsentity, zu Prototypentities des Ausrichtungszustands oder zu beiden gewährleistet.

Tabelle 6.10: Werteentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand

Werteentity	Werteattribut
Ausrichtungszustand (AZ)	# * Nummer # * Name
AZ-Bearbeitung	# * Bearbeiter o Bearbeitungsdaten (2)
BG-Montage	# * Ausrichteposition
BG-Transformation	o Verschiebungsvektor (3) o Transformationsmatrix (9)
AZ-Parameter	o Wert
AZ-Parametersatz	# * Nummer # * Name o Status
Seil	# * Nummer # * Name o Einsicherung
Seilanschluß	# * Anschlussposition
Strukturergebnis	# * Zeitschritt o Standsicherheit o Lagerreaktionen (6)
Seilergebnis	# * Zeitschritt o Seilkraft o Seildehnung

Wie bei den Prototypentities sind auch hier die bisher genannten Master-Werteentities der drei Datenbereiche Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand der Werteentity Krane untergeordnet. Diese ist regulär und kann somit autonom existieren. Sie wird durch die beiden Schlüsselattribute Nummer und Baunummer eindeutig identifiziert und durch die Attribute Krantyp und Kunde näher charakterisiert.

Zur Vervollständigung der benutzerdefinierten Daten zur Berechnung eines Gittermast-Fahrzeugkrans fehlen nur noch die in Tab. 6.11 dargestellten Informationen zum Datenbereich Last und Berechnung.

Tabelle 6.11: Werteentities für den Datenbereich Last und Berechnung

Werteentity	Werteattribut
Lastfall (LF)	# * Nummer # * Name
LF-Gruppe	# * Nummer # * Name
Rechensatz (RS)	* Berechnungsstatus
RS-Lastparameter	o Wert
RS-Rechenparameter	o Wert

Durch die Werteentity Lastfall können sowohl die 15 unterschiedlichen Lastfälle zur Nachweisführung nach Norm als auch frei definierte Lastfälle abgebildet werden. Diese können mit Hilfe der Lastfallgruppe beliebig zusammengefaßt werden. Beide Entities sind regulär und werden jeweils durch die Schlüsselattribute Nummer und Name identifiziert.

Weiterhin werden zur Berechnung innerhalb des Datenbereichs Last und Berechnung durch die Werteentity Rechensatz benutzerdefinierte Rechensätze beschrieben. Ein Rechensatz ist durch spezifische Last- und Rechenparameter gekennzeichnet. Die Werteentity RS-Lastparameter beschreibt den Last- und Bewegungszustand eines zu berechnenden Kransystems. Die Parameterwerte zur Steuerung der Berechnung sind in der Werteentity RS-Rechenparameter enthalten. Beide Entities können nicht autonom existieren, d.h. ihr eindeutiger Schlüssel wird durch eine identifizierende Beziehung gebildet.

6.2.3 Katalogentity

Durch die beiden bisher beschriebenen Entityklassen werden die Gesamtinformationen eines Kransystems in zwei Bereiche unterteilt. Während die Prototypentities vordefinierte Informationen beinhalten, die für bestimmte Arten von Systemen immer gleich sind, beschreiben die Wertentities spezifische Systeminformationen.

Zur Abbildung von Kransystemen verwendet man die bereits in den Prototypen hinterlegten vordefinierten Informationen und vervollständigt diese durch die systemabhängigen Daten des Krans. Ist eine komplette Abbildung eines Systems mit den vorhandenen Prototypeninformationen nicht möglich, sind entweder die bestehenden Prototypen durch die fehlenden Informationen zu ergänzen oder neue Prototypen für die entsprechenden Datenbereiche zu generieren. Die Prototypeninformationen unterliegen daher einer häufigen Änderung und Erweiterung.

Aus diesem Grund beinhaltet die Gesamtinformation eines Kransystems noch eine weitere Art vordefinierter Daten, die im Vergleich zu den Prototypendaten systemübergreifend gelten und nur in seltenen Fällen der Änderung bzw. Erweiterung bedürfen. Zur datentechnischen Beschreibung dieser Informationen wird die Klasse der Katalogentities eingesetzt. Diese fassen Daten in Bibliotheken zusammen und dienen der genaueren Beschreibung und weiteren Vervollständigung der Berechnungsinformation.

Katalogentities sind den Wertentities zugeordnet und finden sich in den Datenbereichen Bauteil, Ausrichtungszustand sowie Lasten und Berechnung wieder. Im Gegensatz zu den beiden vorher beschriebenen Klassen der Prototypen- und Wertentities gibt es innerhalb der Katalogentities keine Unterscheidung in Master- und Detail-Entities, d.h. es gibt keine über- bzw. untergeordneten Katalogentities.

Für den ersten Datenbereich Bauteil sind die Kataloginformationen in Tab. 6.12 dargestellt. Dies sind ausschließlich Daten zur Bauteilmodellierung nach der Einzelstabmethode. Nach Kapitel 5.2.1 ist das Einzelstabmodell gleichbedeutend dem Finite-Elemente-Modell eines Bauteils. Zur vollständigen Beschreibung der FE-Daten des Einzelstabmodells sind neben den im vorangegangenen Abschnitt genannten Elementen, Knoten und Elementknoten weiterhin Querschnitts- und Materialdaten erforderlich. Sie werden durch die Katalogentities Querschnitt und Material abgebildet.

Die beiden Entities sind regulär und werden durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig identifiziert. Sie beinhalten systemübergreifende Informationen zu allen

Querschnitten und Materialien, die in Bauteilen verschiedenster Kransysteme verwendet werden. Zum Nachweis der Festigkeit sind den Materialien die zulässigen Spannungswerte zugeordnet. Bei Bedarf können die Querschnitts- und Materialbibliotheken verändert oder erweitert werden.

Tabelle 6.12: Katalogentitities für den Datenbereich Bauteil

Katalogentity	Katalogattribut
Material	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name * Elastizitätsmodul * Querdehnzahl * Dichte o Zulässige Zugspannung o Zulässige Druckspannung o Zulässige Schubspannung
Querschnitt	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name * Form (2) * Fläche * Symmetrie * Schubfläche (2) * Flächenträgheitsmomente (2) * Torsionsträgheitsmoment * Exzentrizität (2) * Rotationswinkel o Formspezifische Abmessungen (20) o weitere Querschnittsdaten (16)

Für den Datenbereich Ausrichtungszustand existieren nur die in Tab. 6.13 aufgelisteten Kataloginformationen zu den Seilarten. Seile sind wichtige Komponenten des Ausrichtungszustands. Bisher wurden durch die Prototypen- und Werteentities nur die systemabhängigen Seiltypen und -pläne sowie die Einsicherungen der Seile abgebildet.

Die Katalogentity Seilart vervollständigt die Seilinformationen durch die Beschreibung ihrer Eigenschaften. In Form einer Seilbibliothek beinhaltet sie systemübergreifende Seil-daten für alle Kransysteme. Bei Bedarf können auch die Daten dieser Bibliothek verändert bzw. erweitert werden. Die Katalogentity Seilart existiert autonom und wird durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig gekennzeichnet.

Tabelle 6.13: Katalogentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand

Katalogentity	Katalogattribut
Seilart	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name * Nennfestigkeit * Durchmesser * Mindestbruchkraft * Metergewicht * Drehungsfrei o Hersteller

Schließlich werden für den letzten Datenbereich Last und Berechnung in Tab. 6.14 die zur kompletten Definition der Last- und Berechnungsinformation noch fehlenden Kataloginformationen dargestellt.

Tabelle 6.14: Katalogentities für den Datenbereich Last und Berechnung

Katalogentity	Katalogattribut
Lasttyp (LT)	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name
Lastparameter	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name o Defaultwert
Rechenparameter	<ul style="list-style-type: none"> # * Nummer # * Name o Defaultwert

Zur Automatisierung der Lastdefinition werden nach Kapitel 5.2.5 die Lastannahmen Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten in Lasttypen aufgeteilt. Die Informationen dieser Lasttypen werden durch die Katalogentity Lasttyp beschrieben. Sie vervollständigen die Definition der Lasten. Ergänzend zu den Werten der Rechensatzlastparameter aus Tab. 6.11 werden im Datenbereich Last und Berechnung durch die Katalogentity Lastparameter die möglichen Parameter abgebildet, die den Last- und Bewegungszustand eines Kransystems

beschreiben. Die Katalogentity Rechenparameter beinhaltet die möglichen Steuerparameter für den Berechnungsablauf. Sie ergänzen die Werte der Entity RS-Rechenparameter aus Tab. 6.11. Existieren für die Rechensätze keine benutzerdefinierten Steuergrößen, so werden die in den Rechenparametern vordefinierten Werte verwendet.

Alle drei Entities sind regulär und werden durch die Schlüsselattribute Nummer und Name eindeutig identifiziert. Sie beinhalten systemübergreifende Informationen zur Definition der Lasten bzw. Rechenparameter und können wie die bisherigen Katalogentities bei Bedarf auch verändert bzw. erweitert werden.

6.2.4 Verwendungentity

Als letzte der zu Anfang des Abschnitts genannten Entityklassen wird nun die Verwendungentity erläutert. Datentechnisch gesehen entstehen Verwendungentities durch explizites Auflösen von N:M-Beziehungen zwischen zwei Entities, denn nach Kapitel 4.3.3 muß jede N:M-Beziehung als eigenständige Tabelle definiert werden. Praktisch gesehen, stellt die Verwendungentity eine Verknüpfung zwischen zwei Entities her, deren Datensätze jeweils mehrfach miteinander in Beziehung stehen.

Verwendungentities sind schwache Entities. Sie besitzen keine eigenen Schlüsselmerkmale. Ihre eindeutige Identifikation erfolgt durch die Beziehungen der beiden miteinander verknüpften Entities, indem die N:M-Beziehungen Bestandteil der Primärschlüssel der Verwendungentities werden. Verwendungentities existieren in allen vier Datenbereichen und können sowohl Prototypen- als auch Werteentities zugeordnet sein. Wie bei den Katalogentities gibt es auch hier keine über- bzw. untergeordneten Verwendungentities. Aufgrund der charakteristischen Eigenschaft, daß Verwendungentities in der Regel keine eigenen Attribute besitzen, wird die tabellarische Darstellung für diese Entityklasse geändert. Im Vergleich zu den bisher beschriebenen Entities werden hier den Verwendungentities anstelle der Attribute die verknüpften Entities zugeordnet.

Für den Datenbereich Bauteil existieren die in Tab. 6.15 aufgelisteten Verwendungsinformationen. Da ein Kran mehrere Bauteile besitzen kann, ein Bauteil aber auch in mehreren Kransystemen verbaut sein kann, verknüpft die BT-Verwendung die beiden Entities Bauteil und Kran miteinander. Dieselbe verknüpfende Funktion übernimmt die BT-Prototyp-Verwendung und die BTP-Anschluß-Verwendung auf der Ebene der Prototypen für die Bauteile und deren Anschlüsse.

Tabelle 6.15: Verwendungsentities für den Datenbereich Bauteil

Verwendungsentity	Verknüpfte Entities
Bauteil-Verwendung	Bauteil - Kran
BT-Prototyp-Verwendung	BT-Prototyp - Kran-Prototyp
BTP-Anschluß-Verwendung	BTP-Anschluß - BT-Prototyp

Innerhalb des Datenbereichs Baugruppe stellt Tab. 6.16 die Verwendungsentities dar. Während durch die BG-Prototyp-Verwendung die Mehrfachverknüpfung zwischen BG-Prototyp und Kran-Prototyp hergestellt wird, beschreibt die BGP-Anschluß-Verwendung die N:M-Beziehung der Baugruppenprototypenanschlüsse zu den Baugruppenprototypen der verschiedenen Kransystemvarianten.

Tabelle 6.16: Verwendungsentities für den Datenbereich Baugruppe

Verwendungsentity	Verknüpfte Entities
BG-Prototyp-Verwendung	BG-Prototyp - Kran-Prototyp
BGP-Anschluß-Verwendung	BGP-Anschluß - BGP-Transformation

Für den Datenbereich Ausrichtungszustand existiert nur die eine in Tab. 6.17 aufgeführte Verwendungsentity. Wie die Verwendungsentities der Bauteil- und Baugruppenprototypen beschreibt die AZ-Prototyp-Verwendung in diesem Fall die Mehrfachverknüpfung der Ausrichtungszustandsprototypen mit den Kranprototypen.

Tabelle 6.17: Verwendungsentities für den Datenbereich Ausrichtungszustand

Verwendungsentity	Verknüpfte Entities
AZ-Prototyp-Verwendung	AZ-Prototyp - Kran-Prototyp

Die Verwendungsentities innerhalb des Datenbereichs Last und Berechnung setzen im wesentlichen das in Kapitel 5.2.5 beschriebene Konzept zur automatisierten Lastdefinition um. Tab. 6.18 stellt die beiden hierzu benötigten Verwendungsentities dar.

Tabelle 6.18: Verwendungsentities für den Datenbereich Last und Berechnung

Verwendungsentity	Verknüpfte Entities
Lasttyp-Verwendung	Lastfall - Lasttyp
Lastfall-Verwendung	Lastfall - LF-Gruppe
LF-Gruppen-Verwendung	LF-Gruppe - Rechensatz

Aus den in der Katalogentity Lasttyp vordefinierten 12 Lasttypen lassen sich beliebige Lastfälle kombinieren. Zusammen mit den Entities Lasttyp und Lastfall setzt die Lasttyp-Verwendung diesen Zusammenhang um. Da die Teilsicherheitsbeiwerte der Lasttypen vom Lastfall abhängig sind, werden diese in der LT-Verwendung definiert (vgl. Tab. 3.3). Um in einem weiteren Schritt Lastfallgruppen flexibel aus Lastfällen kombinieren zu können, verknüpft die LF-Verwendung die beiden Entities Lastfall und Lastfallgruppe. Auf diese Weise kann eine Lastfallgruppe aus mehreren Lastfällen zusammengesetzt sein, ein Lastfall aber gleichzeitig auch in verschiedenen Lastfallgruppen eingesetzt werden. Dieselbe flexible Mehrfachverknüpfung realisiert die LF-Gruppen-Verwendung zwischen den beiden Entities Lastfallgruppe und Rechensatz.

6.3 ER-Modell der Berechnung

In den beiden voranstehenden Kapiteln wurden die ersten Schritte des konzeptuellen Entwurfs für das zu entwickelnde Berechnungssystem beschrieben. Zuerst wurden die erforderlichen Gesamtinformationen zur Berechnung von Fahrzeugkranen gesammelt und strukturiert in Datenbereiche aufgegliedert. Hieraus wurden anschließend Entityklassen abgeleitet und für alle Datenbereiche genau spezifiziert. Auf dieser Grundlage wird im nächsten Abstraktionsschritt ein konzeptuelles Schema in Form eines Entity-Relationship-Modells (ER-Modell) entworfen. Die vorher festgelegten Entities der vier Datenbereiche werden mit Hilfe von Beziehungstypen untereinander verknüpft.

Die grafische Darstellung der Modellierungsstrukturen des ER-Modells beruht auf den in Kapitel 4.2 vorgestellten Grundlagen der Datenmodellierung. Zur besseren Übersicht wird das gesamte ER-Modell des Berechnungssystems in die vier bekannten Datenbereiche Bauteil, Baugruppe, Ausrichtungszustand sowie Last und Berechnung unterteilt. Die Klassen der Prototypen- und Katalogentities sind grau eingefärbt. Die Werte- und Verwendungsentities sind weiß dargestellt. Da alle Entities bereits vollständig definiert sind, wird hier auf eine erneute Aufzählung der Attribute verzichtet. Entities werden deshalb nur durch ihren Namen und ihre Primärschlüsselattribute repräsentiert.

6.3.1 ER-Modell Bauteil

Das in Abb. 6.2 dargestellte Entity-Relationship-Modell für den Datenbereich Bauteil beinhaltet sowohl die Datenstrukturen zur Verwaltung und Modellierung von Bauteilen als auch zur Abbildung der bauteilbezogenen Ergebnisinformation.

Das Bauteil als zentrales Entity besteht aus einem Bauteilprototypen (BT-Prototyp) und ist direkt mit den Entities zur Speicherung von Basis- und Einzelstabmodellinformation verknüpft. Zusätzlich steht das Bauteil über die BT-Verwendung mit dem Kran und der Bauteilprototyp über die BTP-Verwendung mit dem Kranprototypen (K-Prototyp) in Beziehung. Durch die Verknüpfung zur BT-Bearbeitung werden Erstellung und Änderungen des Bauteils beschrieben.

Das Basismodell eines Bauteils besteht aus einer Masse und einem Schwerpunkt sowie aus Anschlüssen und Gelenken. Während die Masse und der Schwerpunkt direkt beim Bauteil liegen, werden die Bauteilanschlüsse und deren Eigenschaften durch die Entities BT-Anschluß, BTP-Anschluß und AS-Geometrie charakterisiert. Die Verknüpfung zwischen Bauteil und BT-Anschluß besagt, daß ein Bauteil mehrere Anschlüsse besitzen kann, ein Anschluß aber einem Bauteil zugeordnet sein muß. Der Bauteilanschluß wird durch seine identifizierende Beziehung zum Bauteilprototypenanschluß eindeutig gekennzeichnet und indirekt durch die Beziehung zur AS-Geometrie mit Eigenschaften belegt.

Die Informationen des Einzelstabmodells eines Bauteils bestehen aus FE-Daten, Daten der Anschlußpunkte und dem gesamten FE-Modell. Dieses wird dem Bauteil durch die Verknüpfung zum BT-Objekt zugewiesen. Die aufgeschlüsselten FE-Daten des Bauteils werden sowohl durch die direkten Beziehungen zu den Entities Element und Knoten als auch durch die indirekten Beziehungen zu den Entities Querschnitt, Material und Ele-

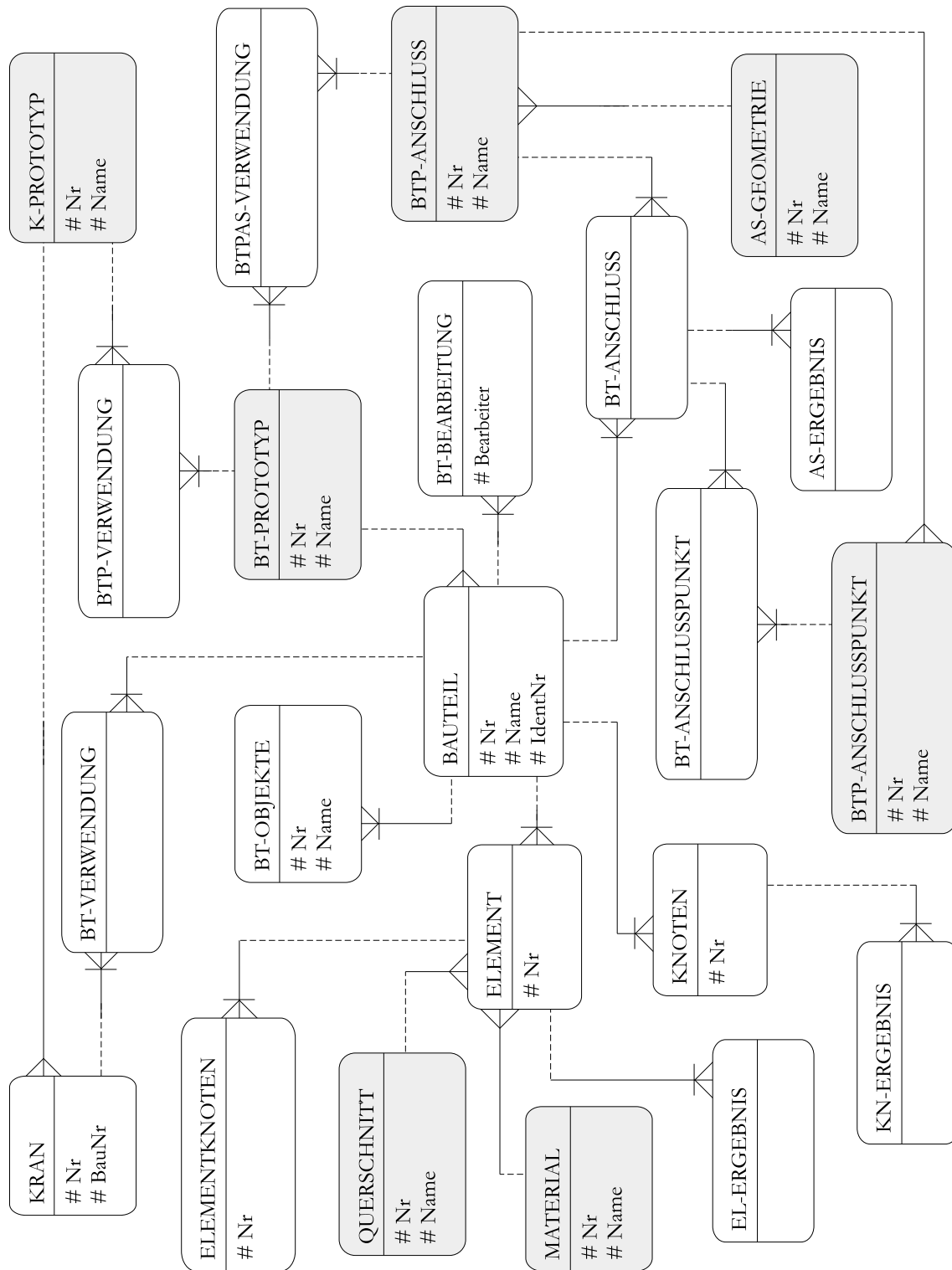


Abbildung 6.2: ER-Modell des Datenbereichs Bauteil

mentknoten identifiziert. Die Anschlußpunkte eines Bauteilanschlusses werden durch die identifizierende Beziehung zum Entity BTP-Anschlußpunkt eindeutig gekennzeichnet.

Abschließend sind die bauteilbezogenen Ergebnisdaten ebenfalls durch identifizierende Beziehungen indirekt dem Bauteil und direkt den entsprechenden Entities zugeordnet - die Anschlußergebnisse den Bauteilanschlüssen, die Knotenergebnisse den Knoten und die Elementergebnisse den Elementen.

6.3.2 ER-Modell Baugruppe

Das Entity-Relationship-Modell in Abb. 6.3 stellt die Entities und deren Beziehungen für den Datenbereich der Baugruppe dar. Es zeigt die konzeptuelle Schemadefinition zur Speicherung und Verwaltung aller Baugruppendaten. Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge und Verwendungen zwischen Baugruppen- und Bauteilinformationen sind in das Baugruppenschema zusätzlich baugruppenrelevante Entities aus dem vorher abgebildeten Datenbereich des Bauteils integriert.

Wie im Prototypenkonzept festgelegt, besitzt auch die Baugruppe einen Prototypen (BG-Prototyp). Durch die Beziehung zum BGP-Anschluß sind diesem Prototypen vordefinierte Baugruppenanschlüsse zugeordnet. Wie der BT-Prototyp kann auch der BG-Prototyp über die BGP-Verwendung in mehreren Kranprototypen verwendet werden, der Kranprototyp kann aber auch mehrere Baugruppenprototypen besitzen.

Als Master-Entity des Datenbereichs steht die Baugruppe direkt mit den Entities zur Bauteilmontage und Definition der Anschlüsse in Beziehung. Da ein Baugruppenanschluß unmittelbar aus einem Bauteilanschluß entsteht, ist der BTP-Anschluß über die BTP-Anschlußverwendung mit dem BGP-Anschluß verknüpft. Neben der Montageposition des Bauteils wird der Anschluß durch seine identifizierenden Beziehungen zur Baugruppe, zum BT- und zum BGP-Anschluß eindeutig gekennzeichnet.

Eine Baugruppe setzt sich aus ein oder mehreren Bauteilen zusammen, deren Reihenfolge und Lage zueinander festgelegt ist. Sie wird montiert, indem man Bauteile an ihren Anschlüssen zusammenfügt. Am Anfang und Ende der Montage werden Bauteilanschlüsse an vordefinierte Anschlüsse der Baugruppe montiert. Vorschläge für eine Bauteilmontage sind in der BTP-Montage hinterlegt, die sich aus Bauteil- und Baugruppenprototypen zusammensetzen. Die tatsächliche Struktur der Montageanweisung wird durch die Entities BG-Anfangs- und -Endmontage sowie der BT-Montage und deren Beziehungen zu den

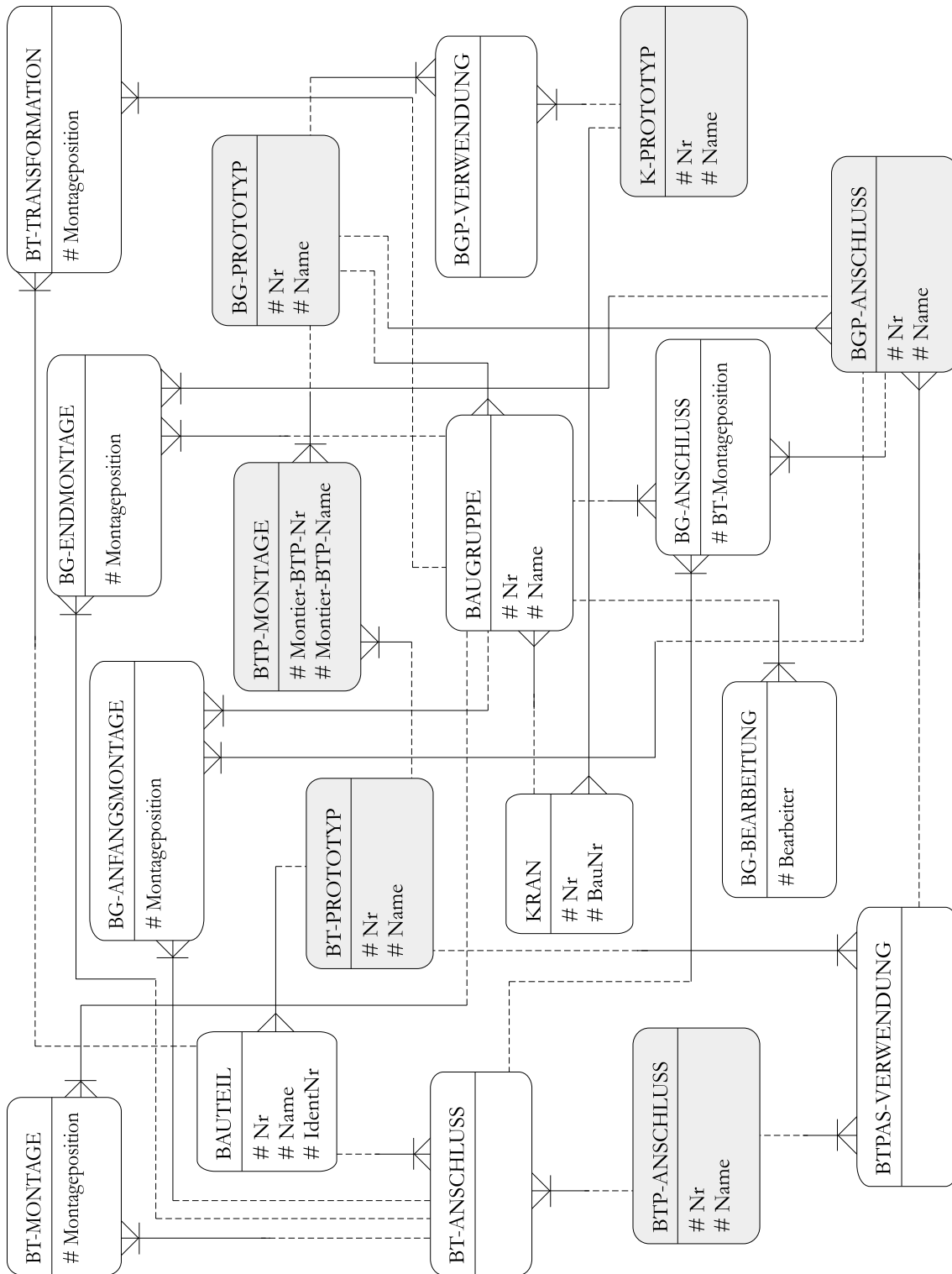


Abbildung 6.3: ER-Modell des Datenbereichs Baugruppe

Bauteilen, Baugruppen sowie deren Anschlüsse festgelegt. Neben einer Montageposition des Bauteils werden die genannten Entities durch identifizierende Beziehungen eindeutig gekennzeichnet. Die Verknüpfungen der BT-Transformation gewährleisten eine eindeutige Zuordnung der Montageergebnisse zu den Bauteilen bzw. Baugruppen.

Durch die Verknüpfung der Baugruppe zur BG-Bearbeitung bzw. zum Kran werden Erstellung und Änderungen der Baugruppe bzw. die Zugehörigkeit der Baugruppe zu einem Kran dokumentiert.

6.3.3 ER-Modell Ausrichtungszustand

Das in Abb. 6.4 gezeigte Entity-Relationship-Modell veranschaulicht die Datenstrukturen für den Datenbereich Ausrichtungszustand. Die Entities und deren Beziehungen bilden sowohl die Daten zur Modellierung von Ausrichtungszuständen als auch die ausrichtungszustandsbezogenen Ergebnisdaten ab. Hier sind ebenfalls Entities aus dem vorhergehenden Datenbereich integriert, um in diesem Fall die Zusammenhänge und Verwendungen zwischen Ausrichtungszustands- und Baugruppeninformationen zu verdeutlichen.

Ein Ausrichtungszustand besteht im wesentlichen aus Baugruppen in einer definierten Stellung und aus Seilen. Durch eine direkte Verknüpfung der BG-Montage zum Ausrichtungszustand und zur Baugruppe wird der Zusammenbau der Gesamtstruktur in Grundstellung beschrieben. Zur Ausrichtung der Baugruppen sind dem Ausrichtungszustand Parametersätze zugeordnet. Sie fassen ein oder mehrere freie Parameter des Ausrichtungszustands aus der Entity AZ-Parameter zur Definition der Baugruppenstellung zusammen.

Während die direkte Beziehung zwischen den Entities Seil und Ausrichtungszustand, dem Ausrichtungszustand die Seile und somit auch die Seilart zuweist, beschreibt eine weitere Beziehung des Seils zum Entity SL-Anschluß den Seilverlauf innerhalb der Struktur. Zur Definition des Seilverlaufs können Baugruppenanschlüsse, die eine Seilkennung besitzen, mit Seilanschlüssen verknüpft werden.

Die Beziehungen des Ausrichtungszustands zur AZ-Bearbeitung bzw. zum Kran beschreiben die Erstellungs- und Änderungsinformationen des Ausrichtungszustands bzw. die Zugehörigkeit des Ausrichtungszustands zu einem Kransystem.

Sowohl die Montage und Ausrichtung der Baugruppen als auch die Seildefinition werden durch Prototypen unterstützt. Hierzu besteht der Ausrichtungszustand aus einem Prototypen (AZ-Prototyp), der durch Verknüpfung mit untergeordneten Prototypentities die

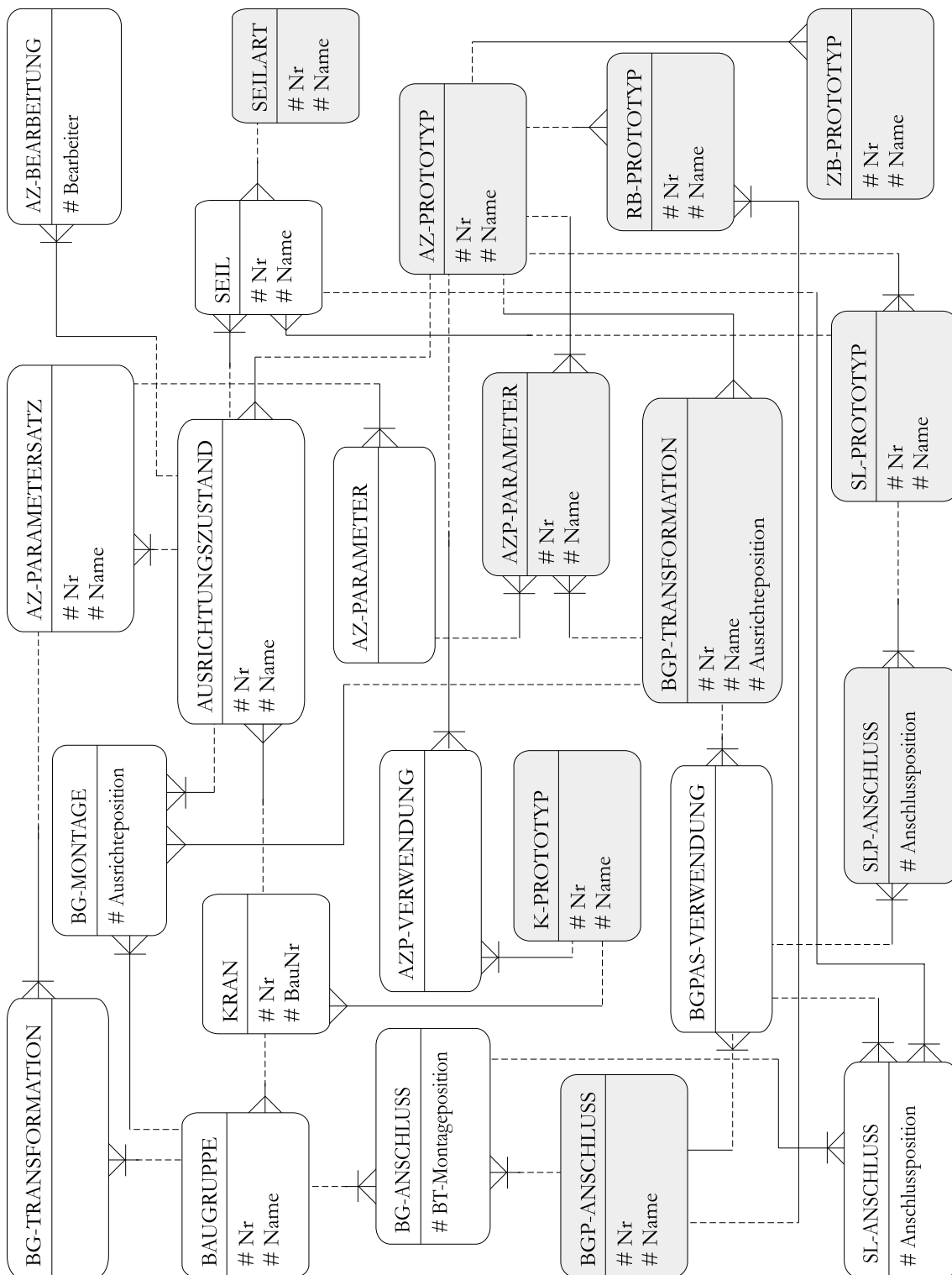


Abbildung 6.4: ER-Modell des Datenbereichs Ausrichtungszustand

vordefinierten Informationen zur Verfügung stellt. Der AZ-Prototyp kann mittels der AZP-Verwendung in mehreren Kranprototypen verwendet werden. Der K-Prototyp kann aber auch mehrere Ausrichtungszustandsprototypen besitzen.

Die Beziehung zwischen den Entities AZ-Prototyp und BGP-Transformation legt fest, aus welchen Baugruppenprototypen der Ausrichtungszustand zusammengebaut ist und in welcher Reihenfolge und mit welcher Methode die Baugruppen ausgerichtet werden. Die notwendigen Parameter des Ausrichtungszustands werden im Entity AZP-Parameter durch die identifizierenden Beziehungen zum AZ-Prototyp und BGP-Transformation beschrieben. Analog zum Ausrichtungszustand sind zur Seildefinition auf Prototypenebene dem AZ-Prototyp direkt ein oder mehrere Seilprototypen, sowie indirekt ein oder mehrere Seilprototypenanschlüsse zugeordnet.

Neben den Montage-, Ausrichte und Seilinformatoren sind abschließend die Daten zu den Rand- und Zwangsbedingungen des Ausrichtungszustands im AZ-Prototyp enthalten. Sie sind dem Ausrichtungszustandsprototypen durch die identifizierenden Beziehungen zu den Entities RB-Prototyp und ZB-Prototyp zugeordnet.

6.3.4 ER-Modell Last und Berechnung

Im letzten Datenbereich Last und Berechnung beschreibt das in Abb. 6.5 dargestellte Entity-Relationship-Modell die Datenstruktur zur Speicherung und Verwaltung der Last- und Berechnungsdaten. Zusätzlich sind zur Darstellung des Gesamtzusammenhangs nochmals die zur Last- und Berechnungsdefinition relevanten Modellierungsstrukturen aus dem Datenbereich Ausrichtungszustand abgebildet.

Die Lastdefinition basiert auf den Entities Lasttyp, Lastfall und Lastfallgruppe. Ihre N:M-Beziehungen werden durch Verwendungsentities aufgelöst. Durch die Verwendungsentity LT-Verwendung können die Lastfälle ein oder mehreren Lasttypen zugeordnet sein und umgekehrt. Dies gilt ebenso für die Verwendung von Lastfallgruppen und Lastfällen. Eine Lastfallgruppe kann aus mehreren Lastfällen bestehen und mehrere Lastfälle können von mehreren Lastfallgruppen verwendet werden. Den verschiedenen Stellungen der Gesamtstruktur, die durch die Entities Ausrichtungszustand und AZ-Parametersatz beschrieben werden, können mit Hilfe von Rechensätzen Lastfallgruppen zugeordnet werden. Um die Rechensätze und die Lastfallgruppen beliebig kombinieren zu können, sind sie durch die Verwendungsentity LFG-Verwendung verknüpft.

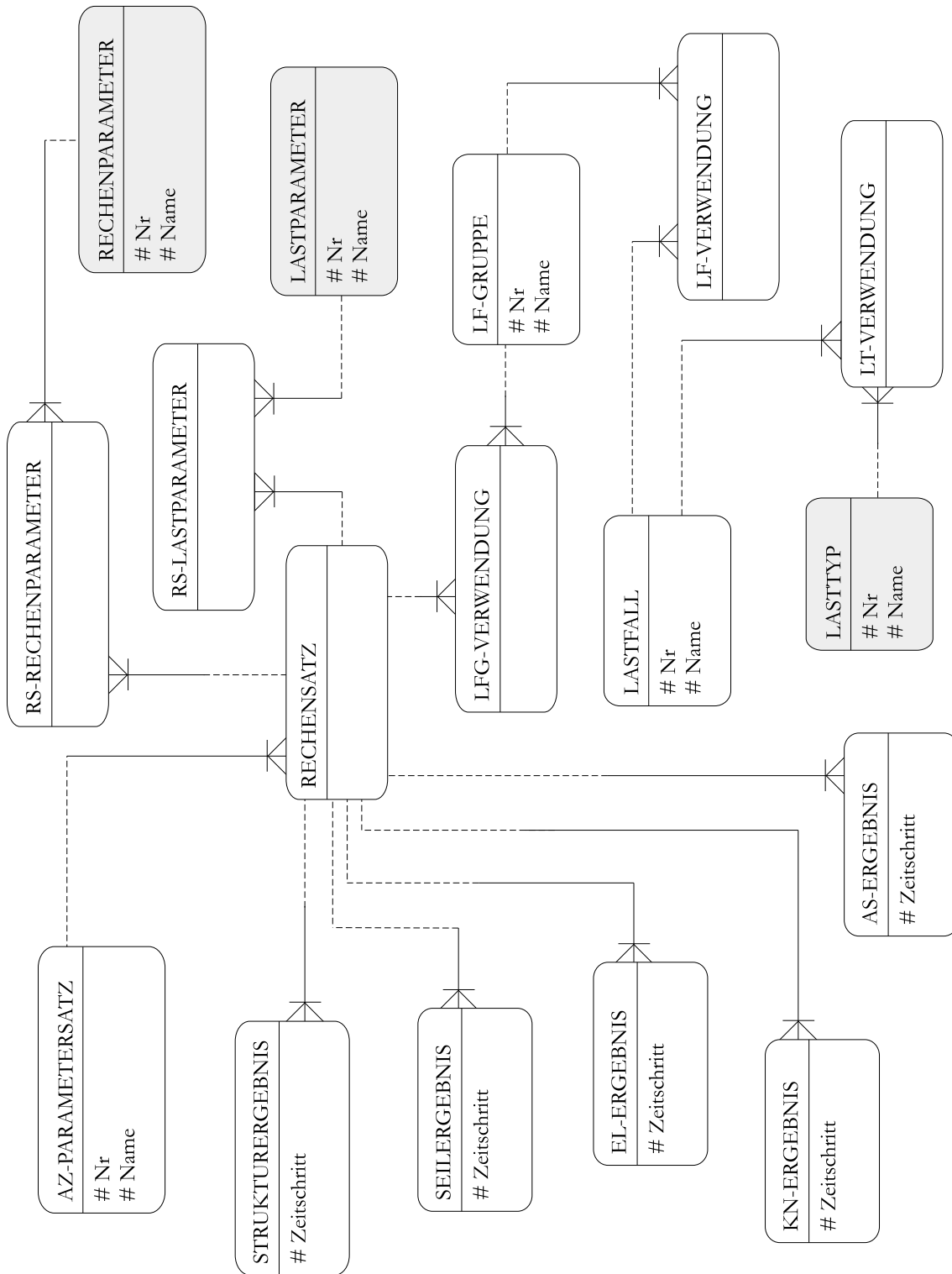


Abbildung 6.5: ER-Modell des Datenbereichs Last und Berechnung

Zusätzlich sind einem Rechensatz durch die Beziehung zu den Rechensatzparametern Steuergrößen für den Berechnungslauf zugeordnet. Durch die identifizierende Beziehung zwischen den Entities Rechensatz und RS-Parameter ist es möglich jedem Rechensatz spezifische Parameter zuzuweisen. Die möglichen Steuergrößen sind im Entity Rechenparameter vordefiniert. Die möglichen Ergebnisse der Berechnung sind mit dem Entity Rechensatz verknüpft. Durch eine identifizierende Beziehung kann ein Rechensatz ein oder mehrere Ergebnisse besitzen.

Kapitel 7

Umsetzung in ein Programmsystem

Aufbauend auf den Kapiteln 5 und 6, in denen Methoden zur automatisierten und datenbankgestützten Berechnung entwickelt wurden, stellt dieses Kapitel die Konzepte sowohl für die Gesamtstruktur als auch für Detaillösungen vor, auf deren Grundlage das integrierte Programmsystem zur Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkranen realisiert wurde.

Die ersten beiden Kapitel beschäftigen sich mit der Benutzeroberfläche und der Implementierung des Berechnungssystems, die im wesentlichen die Systemarchitektur und die Komponenten des Systems betrifft. Zum Schluß wird die praktische Anwendbarkeit des Programmsystems durch eine beispielhafte Anwendung unter Beweis gestellt. In der Realisierungsphase werden die detaillierten technischen Konzepte in produktiv nutzbare Applikationen umgesetzt. Dabei sind im wesentlichen:

- die physischen Datenstrukturen einzurichten
- der Quellcode zu programmieren und
- die Benutzeroberflächen anzulegen.

Für jeden dieser Schritte bestehen Optionen. So kann man unter verschiedenen Datenbanken oder unterschiedlichen Programmiersprachen für die Implementierung auswählen. Auf welche Art und Weise letztlich die entwickelten Konzepte umgesetzt werden, hängt meistens von Unternehmensvorgaben und -richtlinien sowie von der für das Anwendungssystem vorgesehenen Systemumgebung ab [Schu-94].

Ein grundlegender Schritt ist der konzeptuelle Datenbankentwurf. Dokumentiert durch ein konzeptuelles Schema beschreibt er denjenigen Ausschnitt der realen Welt, der durch

das Programmsystem unterstützt werden soll. Zwischen dem Datenbank- und Anwendungsentwurf steht der Entwurf von Funktionsblöcken. Sie beinhalten die Eigenschaften des Systems, in denen zum einen Funktionen der Anwenderkomponenten zum Ausdruck kommen, die auf der Datenstruktur basieren und zum anderen Funktionen, die über den Datenentwurf hinausgehen. Im wesentlichen erfolgt im Anwendungsentwurf der Dialogentwurf, namentlich die Entwicklung graphischer Benutzerschnittstellen. Aufgrund der zentralen Funktion der graphischen Benutzeroberfläche innerhalb Programmsystems, beschreibt folgendes Kapitel sowohl die Struktur und den Aufbau als auch einige anwendungsspezifische Funktionen der entworfenen Benutzeroberfläche.

7.1 Graphische Benutzeroberfläche

Das entwickelte Programmsystem soll möglichst effizient und universell einsetzbar sein. Hierfür muß eine graphische Benutzeroberfläche entwickelt werden, die vor allem einen einfachen und fehlerfreien Zugriff auf die Berechnungsdaten, aber auch umfangreiche und sichere Datenmanipulationen ermöglicht. Die Oberfläche soll die bisher entwickelten Funktionen zur automatisierten Modellierung, Berechnung und Auswertung von Kransystemen in strukturierter Form bereitstellen.

Die Art der Oberflächengestaltung soll den Anwender in seiner methodischen Arbeitsweise unterstützen und eine intuitive Vorgehensweise bei der Anwendung des Systems ermöglichen. Dies erfordert eine einheitliche und anwenderfreundliche Bedienlogik der Benutzeroberfläche. Die Anwenderschnittstellen werden daher in Form von Bildschirm- bzw. Dialogmasken gestaltet, die alle programmiertechnischen Vorgänge verbergen. Sie eröffnen dem Anwender, ohne lange Einarbeitung, den einfachen und optisch aufbereiteten Zugriff auf die Daten und Funktionen des Berechnungssystems.

Die Benutzerführung soll sich an der Bedienung der Oberflächen anderer weit verbreiteter Programmsysteme orientieren. Die Eingabelogiken sollen klar strukturiert sein und definiert abgeschlossen werden. Zusätzlich soll es für den Anwender möglich sein, Eingaben und Entscheidungen definiert zurücknehmen zu können. Für den Entwurf der graphischen Benutzeroberfläche wurden unterstützend Vorschläge und Richtlinien aus den Spezifikationen zu CUA89 und CUA91 [IBM-92] entnommen.

Ausgehend von diesen Anforderungen an die Bedienung und die Funktionalität der Benutzeroberfläche werden nun die entwickelten Dialogmasken beschrieben. In den Kapiteln

7.1.2 und 7.1.1 wird zuerst auf die Art, die Gestaltung und die Struktur der verschiedenen Dialoge eingegangen. Unterscheidet man die Dialoge nach ihrer Art, ergeben sich zum einen Steuer- und Eigenschaftsdialoge und zum anderen ein Navigationsdialog.

7.1.1 Navigationsdialog

Der Navigationsdialog ist die zentrale Bildschirmmaske des Programmsystems. Er beinhaltet alle Komponenten eines Krans. In seinem Aufbau spiegelt sich die hierarchische Struktur eines Kransystems durch die Ebenen Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand wieder. In einer zusätzlichen Ebene befinden sich Bibliotheken für Materialien, Querschnitte, Seiltypen und Lasten. Der Navigationsdialog ist wie ein Verzeichnisbaum einer Dateistruktur aufgebaut. Die Hierarchieebenen innerhalb des Kransystems können wie Verzeichnisse eines Dateisystems verstanden werden. Die Objekte dieser Ebenen repräsentieren die Komponenten des Kransystems. Abbildung 7.1 verdeutlicht den Aufbau und die Funktionsweise des Navigationsdialogs.

Für das gesamte Berechnungssystem erfüllt der Navigationsdialog zwei zentrale Funktionen: Er bietet einen schnellen und strukturierten Überblick über das komplette Kransystem und stellt einen gezielten Zugriff auf alle Berechnungsdaten sicher. Um dies zu ermöglichen, besitzt er folgende Funktionalitäten:

- **Navigation**

Die Navigation innerhalb des Kransystems orientiert sich an den marktgängigen Standards. Diese funktioniert wie die Navigation in einem Verzeichnisbaum einer Dateistruktur. Auf jeder Hierarchiestufe ist ein Auffächern oder Kollabieren der Komponenten möglich.

- **Verzweigung**

Der Navigationsdialog selbst stellt keine Möglichkeit zur Datenmanipulation bereit. Hierfür kann vom Navigationsdialog ausgehend von jeder Ebene und jeder Komponente des Kransystems in einen entsprechenden Steuer- und Eigenschaftsdialog verzweigt werden.

Da im Navigationsdialog immer nur ein Kransystem dargestellt ist, kann ein Wechsel des Kransystems durch die üblichen Funktionen Schließen und Öffnen erfolgen. Das Verlassen der gesamten Anwendung geschieht ebenfalls aus dem Navigationsdialog.

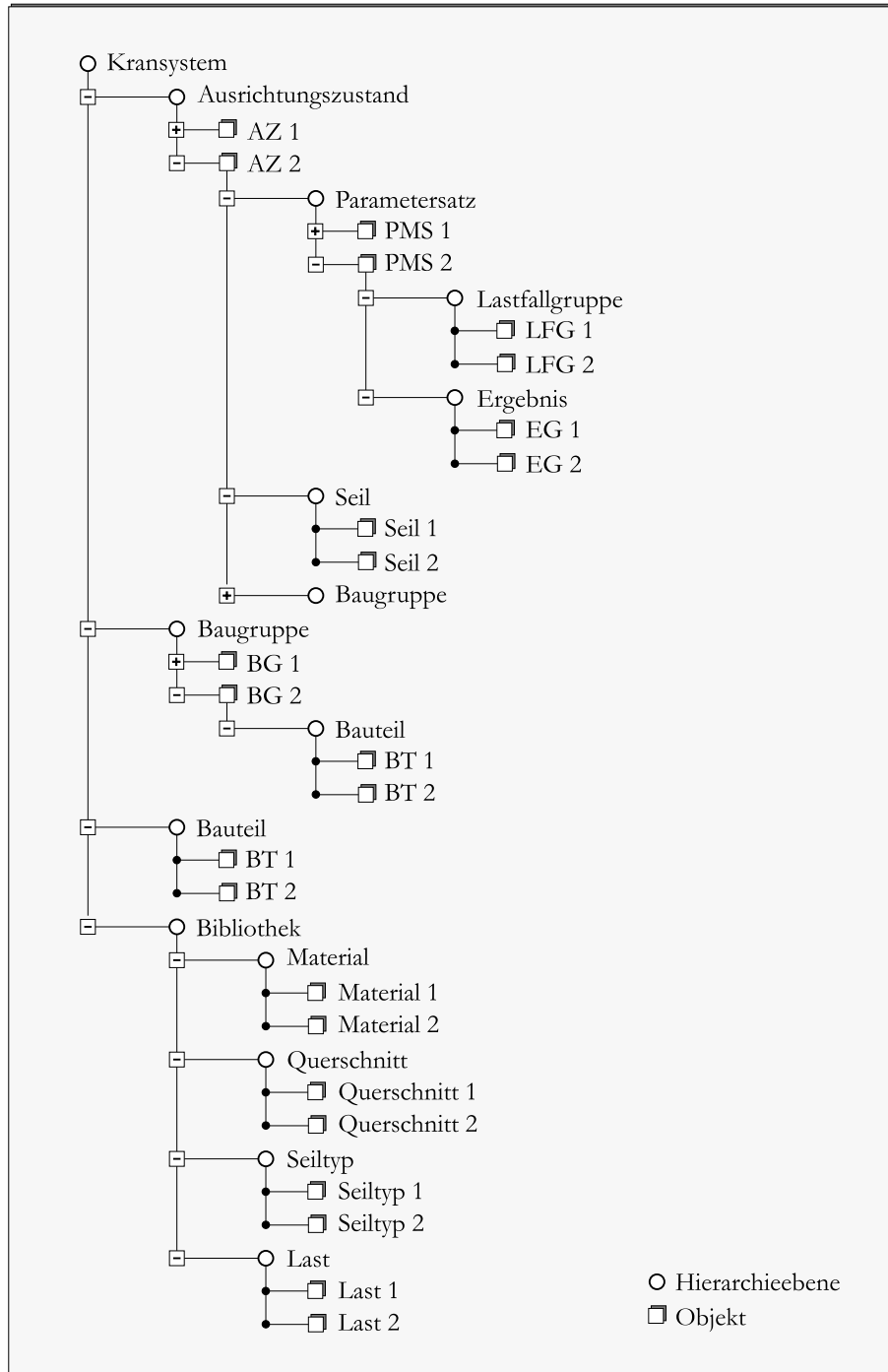


Abbildung 7.1: Aufbau und Funktion des Navigationsdialogs

Zusammengefaßt ermöglicht der Navigationsdialog eine intuitive Navigation innerhalb eines Kransystems und gibt zusätzlich schnell einen Überblick über alle im Kransystem verwendeten Komponenten. Auf diese Weise trägt er entscheidend zur Transparenz und Übersichtlichkeit der Kransystemdaten bei. Durch die Möglichkeit der direkten Verzweigung zu den Steuer- und Eigenschaftsdialogen ermöglicht er einen gezielten Datenzugriff.

7.1.2 Steuer- und Eigenschaftsdialoge

Der vorhergehende Abschnitt machte deutlich, daß im Navigationsdialog nur Daten angezeigt werden können. Zum Zugriff und zur Manipulation der Berechnungsdaten eines Kransystems wird in die Steuer- und Eigenschaftsdialoge verzweigt (vgl. Abb. 7.2). Dialoge dieser Art existieren für jeden Datenbereich (vgl. Kapitel 6.1) sowie zusätzlich für Ergebnisse und Bibliotheken.

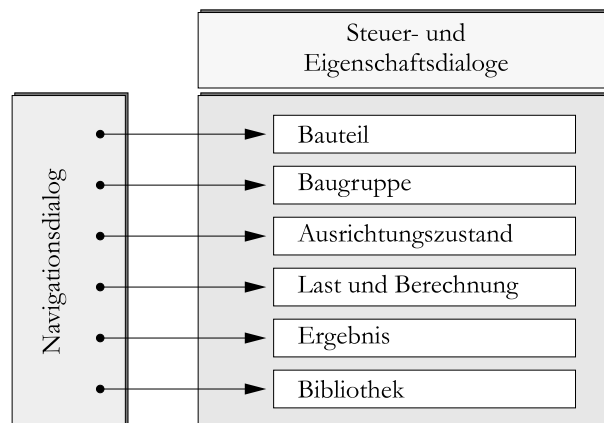


Abbildung 7.2: Verzweigung in die Steuer- und Eigenschaftsdialoge

Wie der Name aussagt, erfüllen Steuer- und Eigenschaftsdialoge zwei wesentliche Funktionen: Sie stellen zum einen die Eigenschaften von Objekten, d.h. von Krankomponenten dar und steuern zum anderen Aktionen, die sich auf Objekte beziehen.

Die Objekteigenschaften werden durch Daten beschrieben. Steuer- und Eigenschaftsdialoge stellen dem Anwender diese Daten strukturiert für alle Komponenten des Kransystems zur Verfügung. Da die Eigenschaften einer Komponente variabel sind, bieten Steuer- und Eigenschaftsdialoge die Möglichkeit Objektdaten zu manipulieren. Hierzu stehen Operationen zur Verfügung, die vom Dialog aus gesteuert werden. Dies können Datenbankoperationen zum Einfügen, Löschen und Ändern sein, aber auch komplexere Aktionen zur

Datenmanipulation. So erfolgt beispielsweise die Steuerung der Kranmontage vom Steuer- und Eigenschaftsdialog Ausrichtungszustand nach einer Anwenderaktion.

Um den Anforderungen an eine anwenderfreundliche Bedienlogik der Oberfläche gerecht zu werden, besitzen alle Dialogmasken ein einheitliches Aussehen. In Abb. 7.3 ist dieser Aufbau schematisch dargestellt.

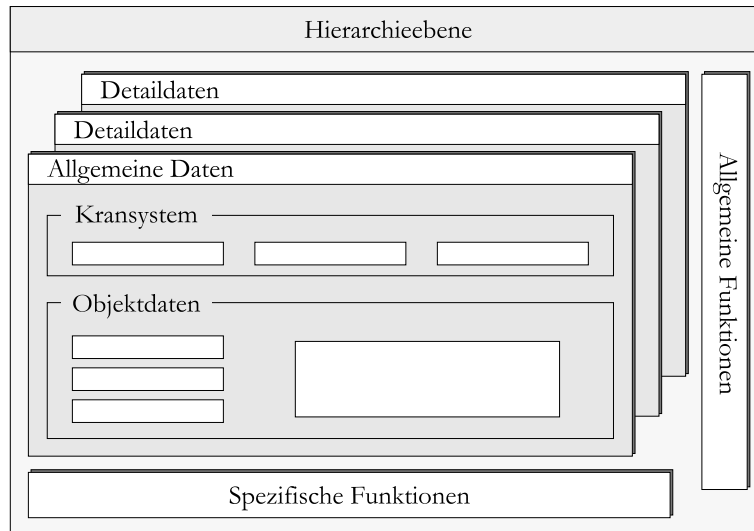


Abbildung 7.3: Architektur der Steuer- und Eigenschaftsdialoge

Die Steuer- und Eigenschaftsdialoge teilen sich in drei Bereiche. Einen Bereich für den Titel des Dialogs, einen Bereich zur Darstellung der Objekteigenschaften und einen Bereich für die Steuerungsfunktion des Dialogs.

Der Dialogtitel wird durch die Hierarchieebene gekennzeichnet. Innerhalb der Dialogmaske kann demzufolge nur auf Daten von Objekten dieser Ebene zugegriffen werden. Zur übersichtlichen Darstellung sind die Objektdaten in Form von Karteikarten auf mehrere Datenblätter thematisch verteilt. Diese gliedern die Informationen in ein Blatt mit allgemeinen und in mehrere Blätter mit detaillierten Objektdaten.

Allgemeine Objektdaten beschreiben die Hauptdaten eines Objekts. Dies sind zum einen identifizierende Informationen wie der Objektname oder die Verknüpfung zum Kran-system und zum anderen beschreibende Informationen. Detaildaten beschreiben auf verschiedenen Datenblättern spezielle Objekteigenschaften einer Hierarchieebene. Bei den Ausrichtungszuständen sind dies beispielsweise die Montage- und Ausrichtedaten sowie Informationen zu den Seilen des Kran-systems und deren Verlauf.

Die Steuerungsfunktionen des Dialogs teilen sich in allgemeine und spezifische Funktionen. Allgemeine Funktionen sind unabhängig sowohl vom Dialog als auch vom Datenblatt. Sie beinhalten Aktionen, die in jedem Dialog auf alle Objektdaten angewendet werden können. Solche Funktionen sind z.B. das Blättern in Objektdaten, das Auslösen eines Speichervorgangs oder das Verlassen des Dialogs.

Spezifische Funktionen hingegen sind unmittelbar mit einem Datenblatt verknüpft und stehen nur hier zur Verfügung. Jedes Datenblatt besitzt eigene Funktionen, die sich entweder auf mehrere Daten des Objekts beziehen oder nur auf Objektdaten dieses Blattes. Das Kopieren von Objekten ist beispielsweise eine spezifische Funktionen, die auf allgemeine Objektdaten angewendet wird. Hier werden die allgemeinen Daten und die Detaildaten des Objekts kopiert. Das Einfügen einer neuen Kranstellung besitzt nur einen Einfluß auf die Ausrichtedaten des Kransystems.

7.1.3 Besondere Funktionalitäten

Nachdem bisher das Hauptaugenmerk auf der Architektur der graphischen Benutzeroberfläche lag, werden in diesem Abschnitt exemplarisch drei spezielle Funktionalitäten verschiedener Steuer- und Eigenschaftsdialoge erläutert:

- Importieren und Exportieren von Einzelstabmodellen
- Visualisierung von Berechnungsmodellen
- Automatisches Montieren und Ausrichten von Baugruppen

Nach Kapitel 5.2.1 kann ein Bauteil durch die beiden Modelltypen Basis- und Einzelstabmodell repräsentiert werden. Während das Basismodell mit wenigen Eckdaten ein Bauteil grob beschreibt, bildet das Einzelstabmodell die reale Bauteilstruktur detailgenau ab. Es ist gleichbedeutend mit dem FE-Modell eines Bauteils. Zu jedem Bauteil existiert ein Basismodell. Es wird beim Erzeugen des Bauteils angelegt. Wird dann einem Bauteil ein Einzelstabmodell zugeordnet, werden die Daten beider Modelle miteinander verknüpft. Diese Zuordnung erfolgt mit Unterstützung der Importfunktionalität.

Die FE-Modelle werden mit Hilfe eines graphischen FE-Preprozessors generiert und im Dateisystem abgelegt. Eingelesen werden die Einzelstabmodelle mit Hilfe der Importfunktion über eine Schnittstelle des Bauteildialogs zum Dateisystem. Wie in Abb. 7.4 dargestellt, werden beim Import die FE-Daten des Modells aufgeteilt und in Bauteiltabellen

eingefügt. Um das FE-Modell wieder komplett exportieren zu können, wird es beim Import zusätzlich als ganze Einheit gespeichert. Damit der Importvorgang keine Inkonsistenzen im Datenbestand verursacht, müssen die Daten des Einzelstabmodells die FE-spezifischen Konsistenzbedingungen erfüllen.

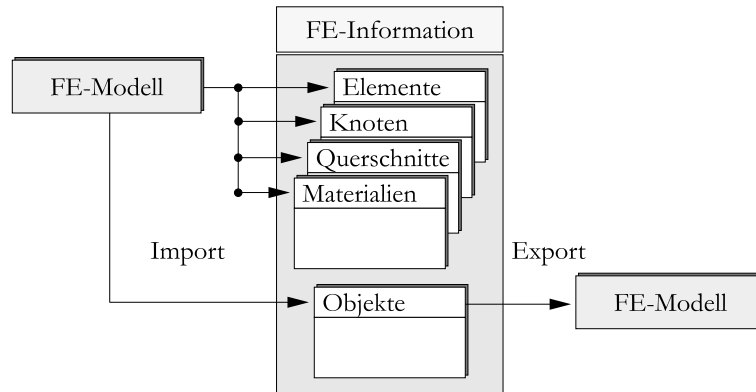


Abbildung 7.4: Importieren und Exportieren von Einzelstabmodellen

Die Visualisierung von Berechnungsmodellen bietet dem Anwender eine hilfreiche Kontrollfunktion. Sie ermöglicht ihm das Anschauen von Bauteil- und Baugruppenmodellen sowie von Modellen der Gesamtstruktur. Durch die visuelle Kontrolle können Fehler in der Modellierung früh erkannt und dadurch korrigiert und vermieden werden.

Die Visualisierung der Objekte wird aus den Dialogmasken gestartet. Hierzu werden aus den Objektdaten mit Hilfe von VRML (Virtual Reality Modeling Language) [Ames-97, Schlü-98] Modelldateien erstellt. Diese Methode ermöglicht eine einfache dreidimensionale Darstellung von Objekten. Zudem ist sie plattformunabhängig. Die Darstellung der VRML-Modelle erfolgt mit einem entsprechenden Werkzeug innerhalb des Programmsystems.

Eine dritte spezielle Funktionalität des automatisierten Programmsystems sind automatisch ablaufende Funktionen. Ein Beispiel ist das automatische Montieren und Ausrichten von Baugruppen, das im folgenden beschrieben wird:

Um einen Ausrichtungszustand zu erzeugen, werden zuerst Baugruppen eines Kran-systems in Grundstellung montiert und anschließend in die gewünschte Stellung gedreht. Nachdem der Anwender die Gesamtstruktur komplett definiert hat, erfolgt automatisch das Montieren und Ausrichten der Baugruppen. Nach jedem Speichervorgang werden alle nicht ausgerichteteten, aber komplett definierten Strukturen ausgewählt und wenn möglich, montiert und ausgerichtet. Ein Ausrichtungszustand kann sich demnach in einem Zustand

befinden, in dem er noch nicht komplett definiert ist, in dem eine erfolgreiche Montage und Ausrichtung aufgrund der Daten unmöglich ist oder in dem er erfolgreich montiert und ausgerichtet ist. Zum Montieren und Ausrichten prüft zuerst die Dialogmaske alle erforderlichen Daten des Ausrichtungszustands. Ist die Definition der Gesamtstruktur komplett, werden die Daten von einer speziellen Programmeinheit aus den Tabellen des Ausrichtungszustand ausgelesen und zum Montieren und Ausrichten verwendet. Die Ergebnisdaten dieses Vorgangs werden anschließend wieder in den Tabellen des Ausrichtungszustands gespeichert und stehen dem Anwender in der Dialogmaske zur Verfügung. Andere automatisch ablaufende Funktionen sind die Montage der Bauteile oder der Start von Berechnungen.

7.2 Implementierungskonzept

Wie in Abb. 7.5 dargestellt, werden in der Implementierungsphase die Ergebnisse aus der Entwurfsphase in Software umgesetzt. Die Umsetzung erfolgt mit Unterstützung von Datenbank- und Anwendungsgeneratoren sowie Programmiersprachen.

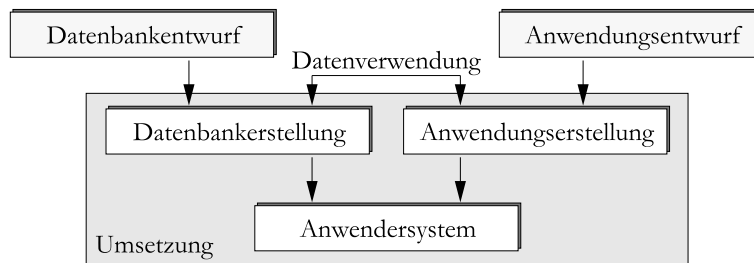


Abbildung 7.5: Implementierung des Programmsystems

Zur Datenbankerstellung wird das datentechnische Konzept des Berechnungssystems auf der Grundlage des konzeptuellen Datenbankentwurfs umgesetzt. Die Vorgaben für die Anwendungserstellung stammen aus der beschriebenen Struktur und den Funktionalitäten der Benutzeroberfläche. Dieses Kapitel stellt ein Implementierungskonzept vor, mit der Aufgabe die entwickelte Datenstruktur und die angestrebte Funktionalität in eine Softwarearchitektur einzubetten und in einem Programmsystem zusammenzuführen. Es soll den Rahmen der Softwareentwicklung beschreiben, nicht aber auf Detailprobleme bei der Implementierung eingehen.

7.2.1 Systemarchitektur

Unter Berücksichtigung der genannten Ziele und der zu ihrem Erreichen entwickelten Teilkonzepte kann das in Abb. 7.6 dargestellte Softwarekonzept des datenbankgestützten Programmsystems abgeleitet werden. Das Schaubild zeigt den modularen Aufbau und die Integration der einzelnen Komponenten zu einem kompakten Gesamtsystem.

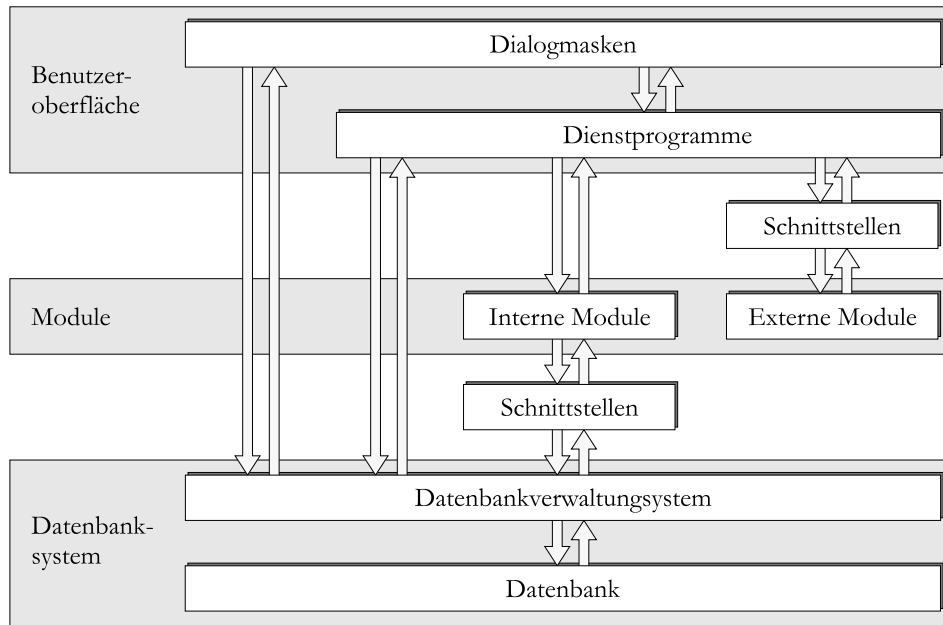


Abbildung 7.6: Architektur des Programmsystems

Die Benutzeroberfläche, die Module und das Datenbanksystem stellen die Bausteine des Berechnungssystems dar. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Komponenten gesondert beschrieben. Es wird sowohl auf die Implementierungsmethode und die verwendeten Werkzeuge und Hilfsmittel als auch auf das Zusammenwirken dieser Komponenten mit den anderen Bausteinen des Systems eingegangen.

7.2.2 Benutzeroberfläche

Die graphische Benutzeroberfläche ermöglicht einen optisch aufbereiteten Zugriff auf die Daten und Funktionen des Programmsystems. Sie setzt sich aus Dialogmasken und Dienstprogrammen zusammen (vgl. Abb. 7.6). Die Implementierung der gesamten Benutzeroberfläche erfolgte mit Hilfe von ORACLE Forms Developer.

Die Dialogmasken sind mit einer einheitlichen und anwenderfreundlichen Bedienlogik ausgestattet. Um dem Anwender die Daten strukturiert zur Verfügung zu stellen, kommunizieren sie entweder direkt oder mit Hilfe von Dienstprogrammen mit dem Datenbankverwaltungssystem. Für diesen Datenaustausch steht in beiden Fällen die Datenbanksprache SQL (Structured Query Language) zur Verfügung.

SQL ist die Standardsprache für die Herstellung einer Schnittstelle zu einer relationalen Datenbank. Bei SQL handelt es sich um eine nichtprozedurale Sprache. SQL enthält keine Programmierkonstrukte für die Ablaufsteuerung. Im Gegensatz zur prozeduralen Sprache C beispielsweise, wo der Zugriff auf und die Bearbeitung von Daten genau beschrieben werden muß, gibt SQL an, was zu tun ist [Lock-98]. SQL enthält keine Programmierkonstrukte für die Ablaufsteuerung.

Damit in den entsprechenden Dialogmasken auch die gewünschten Informationen zur Verfügung stehen, muß im Rahmen der Anwendungserstellung die Datenverwendung definiert werden. Hier wird die Zuordnung der Tabellen zu den Dialogmasken festgelegt, d.h. welche Daten von welchen Dialogen verwendet werden. Zur Darstellung der Datenverwendung wird eine Verwendungsmatrix eingesetzt. Nachdem in Kapitel 6 vier Datenbereiche entwickelt wurden denen Tabellen zugeordnet sind, stellt die Verwendungsmatrix in Abb. 7.7 vereinfacht die Verknüpfung zwischen den Datenbereichen und den Dialogen her.

		Datenbereich			
		Bauteil	Baugruppe	Ausrichtungszustand	Last und Berechnung
Dialogmasken	Bauteil	●			
	Baugruppe	●	●		
	Ausrichtungszustand		●	●	
	Last und Berechnung			●	●
	Ergebnis	●	●	●	
	Bibliothek	●		●	●
	Navigator	●	●	●	●

Abbildung 7.7: Verwendungsmatrix der Dialogmasken

Dienstprogramme (Utilities) sind Programmeinheiten die direkt mit den Dialogmasken verknüpft sind. Erst sie ermöglichen die Umsetzung der umfassenden Funktionalität des Berechnungssystems. Entweder erfüllen sie die Funktionen selbst oder verzweigen hierzu in die Module. Zu den Funktionen die Dienstprogramme selbst ausführen gehört beispielsweise

das Auslesen von Prototypeninformation oder das Zusammenstellen von Auswahllisten. Zusätzlich erfüllen sie Aufgaben zur Sicherung der Datenkonsistenz. Dienstprogramme sind in PL/SQL, einer prozeduralen Spracherweiterung für SQL implementiert. PL/SQL ist eine blockstrukturierte Sprache mit einer ähnlichen Syntax wie die Programmiersprache C. Zusätzlich zu den eingebetteten SQL-Anweisungen bietet PL/SQL Standardkonstrukte wie Prozeduren, Funktionen, Kontrollanweisungen und Variablen für das Programmieren.

7.2.3 Module

Wie aus der Architektur des Gesamtsystems ersichtlich, stehen die Module zwischen der Benutzeroberfläche und dem Datenbanksystem. Es wird zwischen internen und externen Modulen unterschieden. In Tab. 7.1 sind alle Module des Programmsystems nach dem Modultyp untergliedert aufgelistet. Während die internen Module sowohl mit der Benutzeroberfläche als auch mit dem Datenbanksystem Daten austauschen, interagieren die externen Module zum direkten Datenaustausch nur mit der Benutzeroberfläche.

Tabelle 7.1: Interne und externe Module

Modultyp	Modul
Intern	<ul style="list-style-type: none"> - Generierung von VRML-Basismodellen - Importieren von Einzelstabmodellen - Montage von Baugruppen - Montage und Ausrichtung von Gesamtsystemen
Extern	<ul style="list-style-type: none"> - FE-Programmsystem NODYA - Starrkörper-Programmsystem

An den genannten Modulen ist zu erkennen, das mit ihrer Anwendung komplexe Datenmanipulationen verbunden sind. Zu deren Implementierung wurde daher auf die Programmiersprache C zurückgegriffen [Ker-90]. Interne Module sind als Programmbibliotheken (Dynamic Link Libraries) in das Programmsystem integriert und können bei Bedarf zur Laufzeit des Programms aufgerufen werden. Die externen Module sind eigenständige Programmsysteme, die zur Berechnung vom Programmsystem verwendet werden. Sie stehen über Schnittstellen mit der Benutzeroberfläche in Verbindung.

7.3 Beispielhafte Anwendung

Im folgenden wird anhand eines beispielhaften Gittermast-Fahrzeugkrans konkret auf den Einsatz des datenbankgestützten Berechnungssystems zur automatisierten Berechnung eingegangen. Das betrachtete Kransystem wird zunächst näher beschrieben.

7.3.1 Systembeschreibung

Bei der Konfiguration des ausgewählten Gittermastkrans handelt es sich um ein Haupt- und Hilfsauslegersystem mit Superlifteinrichtung. Dies ist die umfangreichste Ausrüstungsvariante des Fahrzeugkrans. Im Beispiel besitzt der Hauptausleger eine Länge von 72 m und der Hilfsausleger von 66 m. Der Superliftmast ist 30m lang. Weitere Komponenten des betrachteten Kransystems sind in Abb. 7.8 dargestellt.

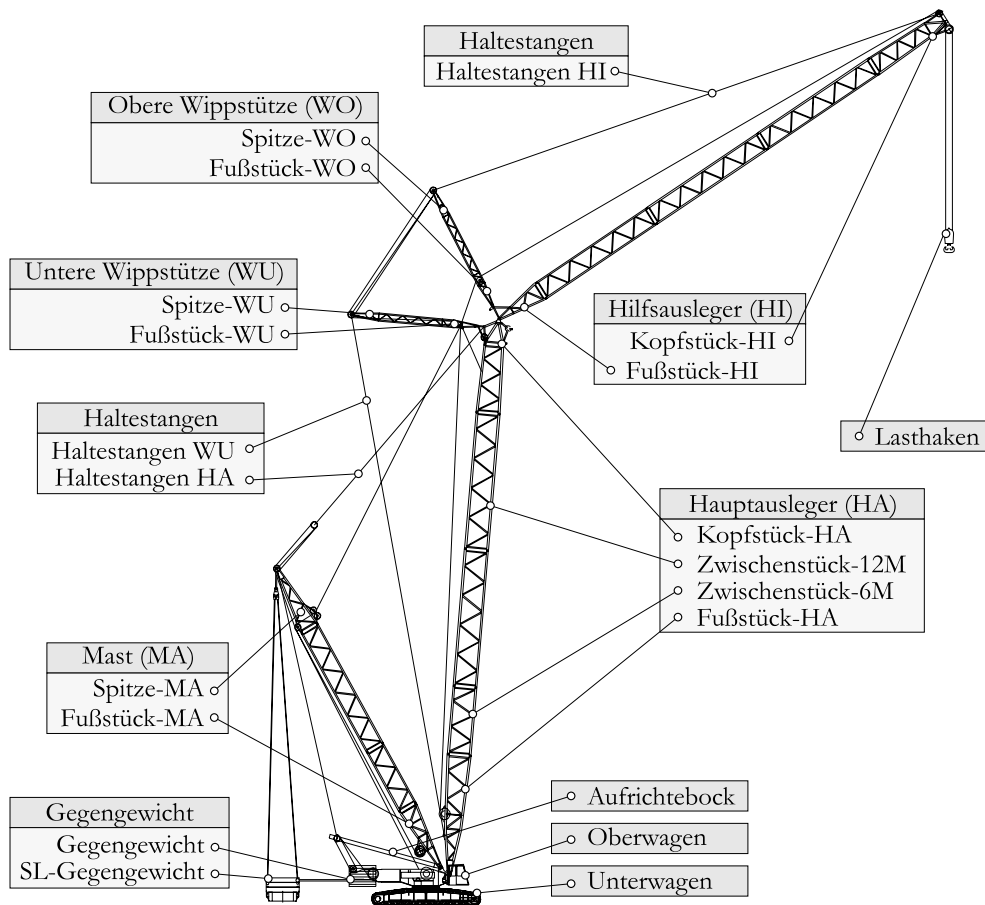


Abbildung 7.8: Beschreibung des exemplarischen Kransystems

Der erste Schritt einer Kranberechnung ist die Modellierung. Hier wird ein Modell der zu berechnenden Struktur erstellt. Da die Modellbildung den aufwendigsten und kreativsten Teil einer Berechnung darstellt, liegt der Fokus dieser beispielhaften Anwendung auf der Abbildung des Kransystems auf ein Berechnungsmodell.

7.3.2 Prototypenbildung

Nach Kapitel 5.2 wird die Modellierung der Kranstruktur durch Prototypen unterstützt. Diese unterteilen die Gesamtinformationen eines Kransystems in Informationen die für bestimmte Arten von Systemen immer gleich sind und in Informationen die für jedes System unterschiedlich, also systemabhängig sind. Hierbei sind die Definitionen der wiederkehrenden, gleichen Daten in den Prototypen hinterlegt.

Zur Modellierung des betrachteten Kransystems werden im folgenden alle erforderlichen Prototypen beschrieben. Abbildung 7.9 zeigt die Gesamtstruktur des prototypenhaften Systems und benennt die einzelnen Prototypen jeder Modellierungsebene.

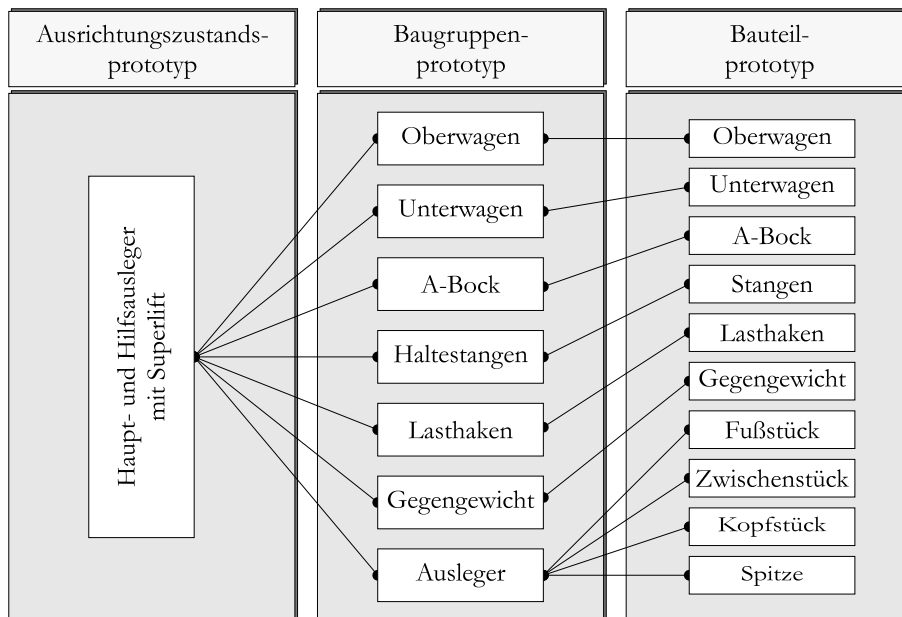


Abbildung 7.9: Bildung von Prototypen

Prototypen existieren für Ausrichtungszustände, Baugruppen und Bauteile. Die Bauteilprototypen werden zu Baugruppenprototypen montiert, aus denen sich wiederum die

Ausrichtungszustandsprototypen zusammensetzen. Jeder dieser Prototypen beinhaltet vordefinierte Modellinformationen. Um dies zu verdeutlichen werden aus allen Prototypen der Gesamtstruktur nun beispielhaft einige ausgewählt und genauer spezifiziert. Zur Darstellung der Prototypendaten werden Tabellen verwendet. Diese stellen Ausschnitte der Datenbanktabellen dar, die auf der Grundlage des in Kapitel 6.3 entwickelten ER-Modells implementiert wurden.

Bauteilprototyp

Aus den Bauteilprototypen werden der Oberwagen-Prototyp und der Fußstück-Prototyp ausgewählt und im Detail beschrieben. Die wichtigsten Daten zur Erzeugung dieser Prototypen sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

Tabelle 7.2: Identifikationsdaten der Bauteilprototypen

Nr.	Name	Geometrie
1	Oberwagen	Sonderbauteil
2	Fußstück	Unregelmäßiges Gittermastbauteil

Die Daten in Tab. 7.2 dienen zur Erstellung und Identifikation der Bauteilprototypen Oberwagen und Fußstück. Diesen Prototypen können nun Detaildaten zugewiesen werden. Hierzu sind in Tab. 7.4 und in Tab. 7.3 die Anschlußinformationen für den Oberwagen und das Fußstück aufgelistet. Zur Veranschaulichung der Anschlußdaten zeigen die Abb. 7.11 und Abb. 7.10 die genannten Anschlüsse jeweils im Modell.

Tabelle 7.3: Anschlußdaten des Bauteilprototypen Fußstück

Nr.	Name	Optional	Kennung	Geometrie
1	Montieranschluß	nein	Montieren/Anfang	2-Punkt-Gelenkig
2	Montage-Zwischenstück	nein	Montage/Ende	4-Punkt-Fix
3	Haltestangen-WU	ja	Montage	1-Punkt-Fix
4	Seilwinde-Wippseil	ja	Seil	1-Punkt-Fix

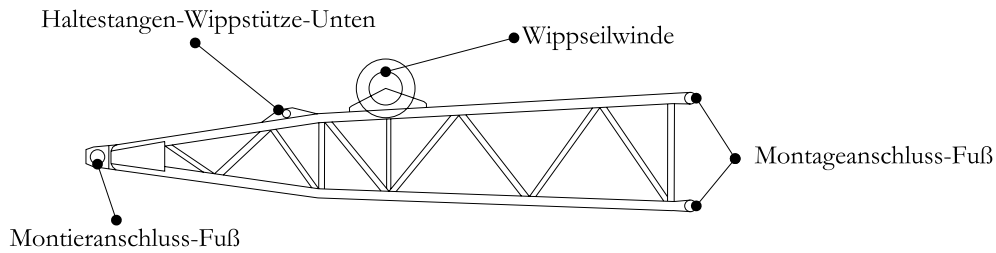


Abbildung 7.10: Anschlüsse des Bauteilprototypen Fußstück

Die Anschlüsse beider Prototypen sind durch eine Nummer und einen Namen eindeutig gekennzeichnet. Weitere Eigenschaften eines Anschlusses werden durch die Attribute Optional, Kennung und Geometrie beschrieben.

Ist ein Anschluß nicht optional, so kommt er in allen Systemen vor. Er muß in jedem Fall belegt werden. Ein optionaler Anschluß hingegen ist nur in manchen Systemen vertreten. Er kann unbelegt bleiben. Die Kennung beschreibt den Typ eines Anschlusses. Es gibt eine Anfangs- und Endkennung, eine Montage- und Montierkennung sowie eine Seilkennung. Mit einem Montieranschluß wird ein Bauteil an einen Montageanschluß eines anderen Bauteils gebaut. Durch die Anfangs- und Endkennung werden die Bauteilabmessungen begrenzt. Schließlich kennzeichnet die Geometrie eines Anschlusses die Art der Verbindung. Die Geometrie 2-Punkt-Gelenkig beschreibt einen Anschluß, der aus zwei Punkten besteht, durch die eine Drehachse verläuft.

Tabelle 7.4: Anschlußdaten des Bauteilprototypen Oberwagen

Nr.	Name	Optional	Kennung	Geometrie
1	Fußlager-Hauptausleger	nein	Montage	2-Punkt-Gelenkig
2	Drehmitte	nein	Montieren	1-Punkt-Gelenkig
3	Anfang	nein	Anfang	1-Punkt-Fix
4	Ende	nein	Ende	1-Punkt-Fix
5	Hubwerk	nein	Seil	1-Punkt-Fix
6	Einziehseilwinde	nein	Seil	1-Punkt-Fix
7	Rollensatz-Einziehseil	nein	Seil	1-Punkt-Fix
8	Fußlager-A-Bock	nein	Montage	2-Punkt-Gelenkig
9	Fußlager-Mast	ja	Montage	2-Punkt-Gelenkig
10	Gegengewicht	nein	Montage	1-Punkt-Fix

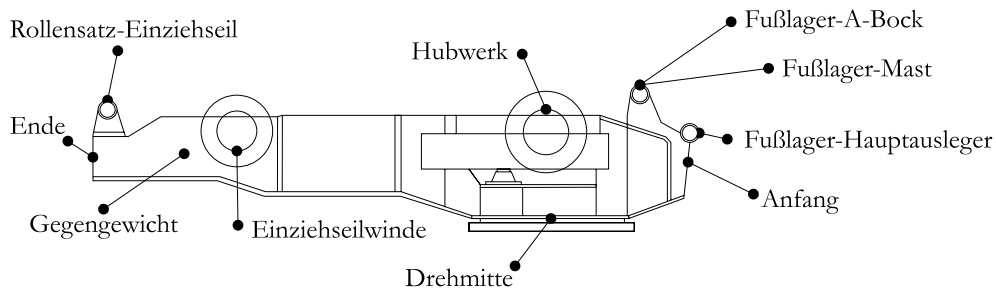


Abbildung 7.11: Anschlüsse des Bauteilprototypen Oberwagens

Auf ähnliche Weise wie die Bauteilprototypen Fußstück und Oberwagen können alle übrigen Bauteilprototypen erstellt werden. Zuerst müssen die Identifikationsdaten spezifiziert und dann die Eigenschaften näher definiert werden.

Baugruppenprototyp

Als Beispiel für einen Baugruppenprototyp wird der vielseitig verwendbare Auslegerprototyp beschrieben. Nach Abb. 7.9 setzt sich dieser wahlweise aus den Bauteilprototypen Fußstück, Zwischenstück, Kopfstück oder Spitze zusammen. Der Auslegerprototyp ist deshalb vielseitig verwendbar, da er für das betrachtete Kransystem als Prototyp sowohl für den Haupt- und Hilfsausleger als auch für den Mast und die beiden Wippstützen verwendet werden kann. Im folgenden wird auf die Verwendung des Auslegerprototypen zur Erstellung eines Hauptauslegers eingegangen.

Analog den Bauteilprototypen werden auch die Baugruppenprototypen zuerst durch eine Nummer und einen Namen erstellt. Hier heißt der Prototyp Ausleger. Anschließend werden die Detaildaten genauer festgelegt. Dies sind bei den Baugruppenprototypen im wesentlichen nur die Daten der Anschlüsse. Für die Verwendung des Auslegerprototypen als Hauptausleger, sind in Tab. 7.5 die Anschlußdaten dargestellt. Zur Veranschaulichung sind in Abb. 7.12 die Anschlüsse des Hauptauslegers im Modell abgebildet.

Tabelle 7.5 zeigt neben den Anschlüssen der Baugruppenprototypen zusätzlich die Verknüpfungen zu den Bauteilprototypen und deren Anschlüssen. Aus der Vielzahl der vorhandenen Bauteilprototypenanschlüsse werden nur diejenigen als Baugruppenprototypenanschluß übernommen, die für die Baugruppe als Anschluß relevant sind. So werden alle Anschlüsse an denen man Bauteile aneinander baut, nicht zu Baugruppenanschlüssen. In diesem Fall sind dies beispielsweise die Montage- und Montieranschlüsse der Zwischenstücke

des Hauptauslegers, die nicht als Baugruppenanschlüsse übernommen werden. Sie sind für die weitere Verwendung des Auslegers innerhalb der Gesamtstruktur ohne Bedeutung.

Tabelle 7.5: Anschlußdaten des Baugruppenprototypen Ausleger

Bauteilprototyp und -anschluß					
Nr.	Name	Nr.	Name	Nr.	Name
1	Montieranschluß	2	Fußstück	1	Montieranschluß
2	Haltestangen-WU	2	Fußstück	3	Haltestangen-WU
3	Seilwinde Wippseil	2	Fußstück	4	Seilwinde Wippseil
4	Montage-Hilfsausleger	4	Kopfstück	2	Montage-Hilfsausleger
5	Montage-WU	4	Kopfstück	3	Montage-WU
6	Hubseilrolle-1-HA	4	Kopfstück	4	Rolle-1-Hubseil
7	Hubseilrolle-2-HA	4	Kopfstück	5	Rolle-2-Hubseil

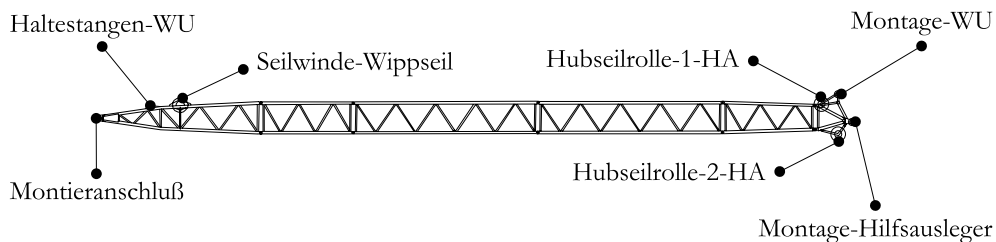


Abbildung 7.12: Anschlüsse des Baugruppenprototypen Ausleger

Während Auslegersysteme aus Gittermast-Bauteilen montiert werden, bilden Sonderbauteile meist Baugruppen, die aus einem Bauteil bestehen. Sie sind schon fertig montiert und werden direkt als Baugruppe übernommen. Demzufolge existieren auch die Anschlüsse dieser Bauteilprototypen als Anschlüsse des Baugruppenprototypen. So auch im Beispiel des vorher behandelten Bauteilprototypen Oberwagen. Der Baugruppenprototyp Oberwagen übernimmt alle Anschlüsse vom Bauteilprototypen Oberwagen.

Ausrichtungszustandsprototyp

Das betrachtete Kransystem ist ein Haupt- und Hilfsauslegersystem mit Superlifteinrichtung. Zur automatisierten Generierung eines solchen Systems stellt der Ausrichtungszustandsprototyp Haupt- und Hilfsausleger mit Superlift vordefinierte Informationen zur

Verfügung. Diese Daten umfassen Informationen zur Montage und Ausrichtung der Baugruppen, zu den freien Parametern und zu den Seilen des Systems. Bevor diese Detaildaten existieren können, muß auch der Ausrichtungszustandsprototyp durch eine Nummer und einen Namen identifiziert werden. Die detaillierte Definition der Prototypdaten ist den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle 7.6: Transformationsdaten des Ausrichtungszustandsprototypen

Nr.	Name	BG-Prototyp	Pos.	Montage	Ausrichtung
1	Oberwagen	Oberwagen	1	Inertialsystem	W-Gruppe
2	Untergarten	Untergarten	2	Oberwagen	W-Gruppe
3	Gegengewicht	Gegengewicht	3	Oberwagen	W-Gruppe
4	Hauptausleger	Ausleger	4	Oberwagen	W-Gruppe
5	Mast	Ausleger	5	Oberwagen	A-Gruppe
6	Hilfsausleger	Ausleger	6	Hauptausleger	A-Gruppe
7	Lasthaken	Lasthaken	7	Hilfsausleger	F-Gruppe
8	SL-Gegengewicht	Gegengewicht	8	Mast	Z-Gruppe
9	SL-GGW-Stange	Haltestangen	8	Oberwagen	P-Gruppe
10	Haltestangen-HA	Haltestangen	9	Hauptausleger	Z-Gruppe
11	A-Bock	A-Bock	10	Oberwagen	D-Gruppe
12	Haltestangen-Mast	Haltestangen		Mast	
13	Wippstütze-Unten	Ausleger	11	Hauptausleger	D-Gruppe
14	Haltestangen-WU	Haltestangen		Hauptausleger	
15	Wippstütze-Oben	Ausleger	12	Hilfsausleger	D-Gruppe
16	Haltestangen-HI	Haltestangen		Hilfsausleger	

Die Gesamtstruktur des Kransystems wird auf der Grundlage der vordefinierten Montage- und Ausrichtedaten, die im Ausrichtungszustandsprototypen hinterlegt sind, erstellt. Diese Daten sind in Tab. 7.6 zusammengestellt.

Jeder Baugruppenprototyp erhält einen Transformationsnamen, der den Baugruppenprototypen innerhalb des Gesamtsystems eindeutig festlegt. Die Position gibt die Reihenfolge an, in der die Baugruppen montiert und ausgerichtet werden. Neben den Daten zur Transformation eines Baugruppenprototypen besteht die komplette Montageanweisung des Systems zusätzlich aus den Anschlüssen der BG-Prototypen, die zusammengefügt werden. Die Spalte Ausrichtung bestimmt die Methode mit der die Baugruppen im Raum posi-

tioniert werden. Zur Ausrichtung stehen die in Kapitel 5.2.3 entwickelten Methoden zur Verfügung. Um die gewünschte Stellung des Ausrichtungszustands zu erreichen, werden in Verbindung mit den Ausrichtemethoden die in Tab. 7.7 aufgelisteten freien Parameter verwendet. Zur Veranschaulichung zeigt Abb. 7.13 die freien Parameter eines Haupt- und Hilfsauslegersystems mit Superlift.

Tabelle 7.7: Freie Parameter des Ausrichtungszustandsprototypen

Nr.	Parametername	Transformation	Drehpunkt	Ausrichtepunkt
1	Unterswagenstellung	Unterswagen	Drehmitte	kein
2	Hauptauslegerwinkel	Hauptausleger	Montieranschluß	Montage-HI
3	Mastradius	Mast	Montieranschluß	Wippseilrolle-1-MA
4	Ausladung	Hilfsausleger	Montieranschluß	Drehmitte
5	Hakenhöhe	Lasthaken	kein	Hubseilrolle-2-HI

Um die Definition des Ausrichtungszustandsprototypen zu vervollständigen, fehlen noch die vordefinierten Seildaten. Diese bestehen aus Informationen zu den Seilprototypen und den Seilverläufen. Die Seilprototypen, die in einem Haupt- und Hilfsauslegersystem mit Superlift verwendet werden, sind in Abb. 7.13 dargestellt. Sie werden durch eine Nummer und einen Namen definiert. Exemplarisch für die Definition eines Seilverlaufs zeigt Tab. 7.8 den Verlauf des Hubseils.

Tabelle 7.8: Verlauf des Seilprototypen Hubseil

Anschlusspos.	BGP-Anschluss	BGP-Transformation	BT-Prototyp
1	Hubwerk	Oberwagen	Oberwagen
2	Hubseilrolle-1-MA	Mast	Spitze
3	Hubseilrolle-2-MA	Mast	Spitze
4	Hubseilrolle-1-WU	Wippstütze-Unten	Fußstück
5	Hubseilrolle-1-WO	Wippstütze-Oben	Fußstück
6	Hubseilrolle-1-HI	Hilfsausleger	Spitze
7	Hubseilrolle-2-HI	Hilfsausleger	Spitze
8	Unterflasche	Lasthaken	Lasthaken

Die Anschlußposition legt die Reihenfolge fest, in der das Seil über die Anschlüsse des Baugruppenprototypen durch das Kransystem läuft. Weiterhin ist der Seilverlauf durch die

Baugruppenprototypentransformation und den Bauteilprototypen definiert. Sie beschreiben die Lage der Seilanschlüsse innerhalb des Gesamtsystems.

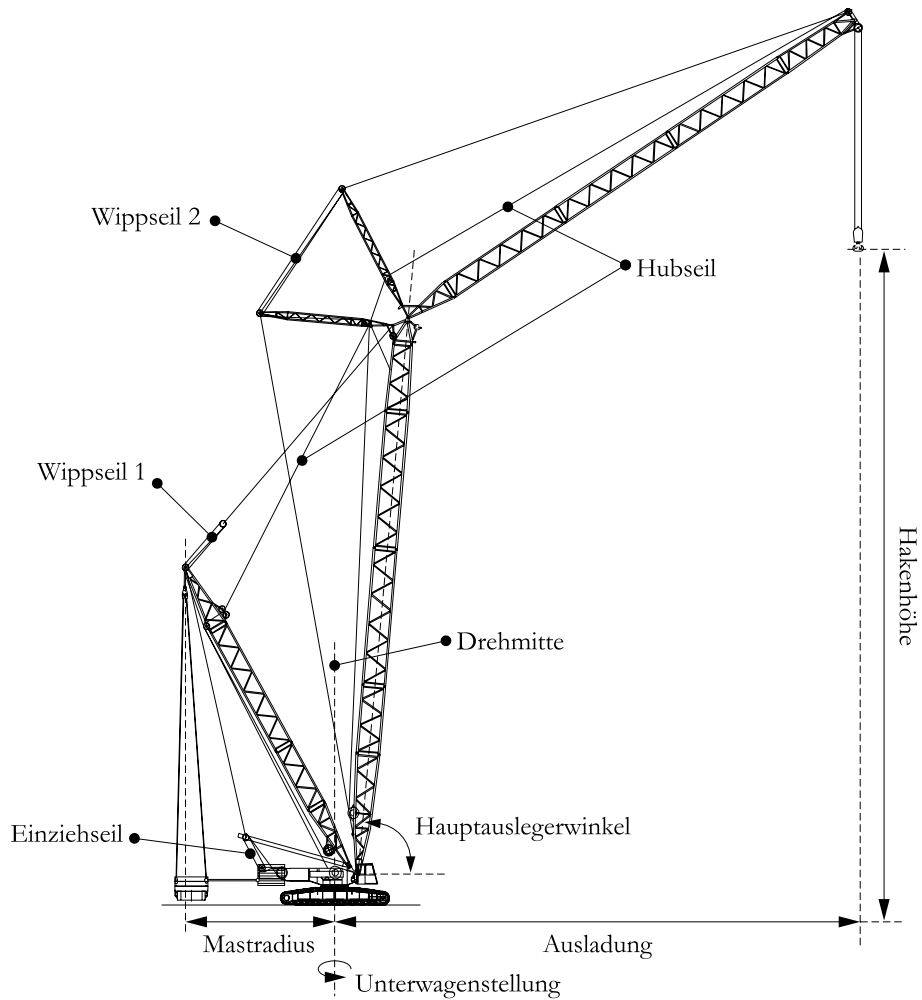


Abbildung 7.13: Parameter und Seile des Ausrichtungszustandsprototypen

7.3.3 Abbildung eines Kransystems

Die automatisierte Modellierung des betrachteten Systembeispiels wird durch Prototypen unterstützt. Hierfür wurden im voranstehenden Kapitel die erforderlichen Prototypen der Bauteile, Baugruppen und Ausrichtungszustände definiert. Unter Verwendung dieser Prototypen wird nun die ausgewählte Krankonfiguration abgebildet. Zur Übersicht zeigt Abb. 7.14 schematisch die Modellierung des kompletten Systems.

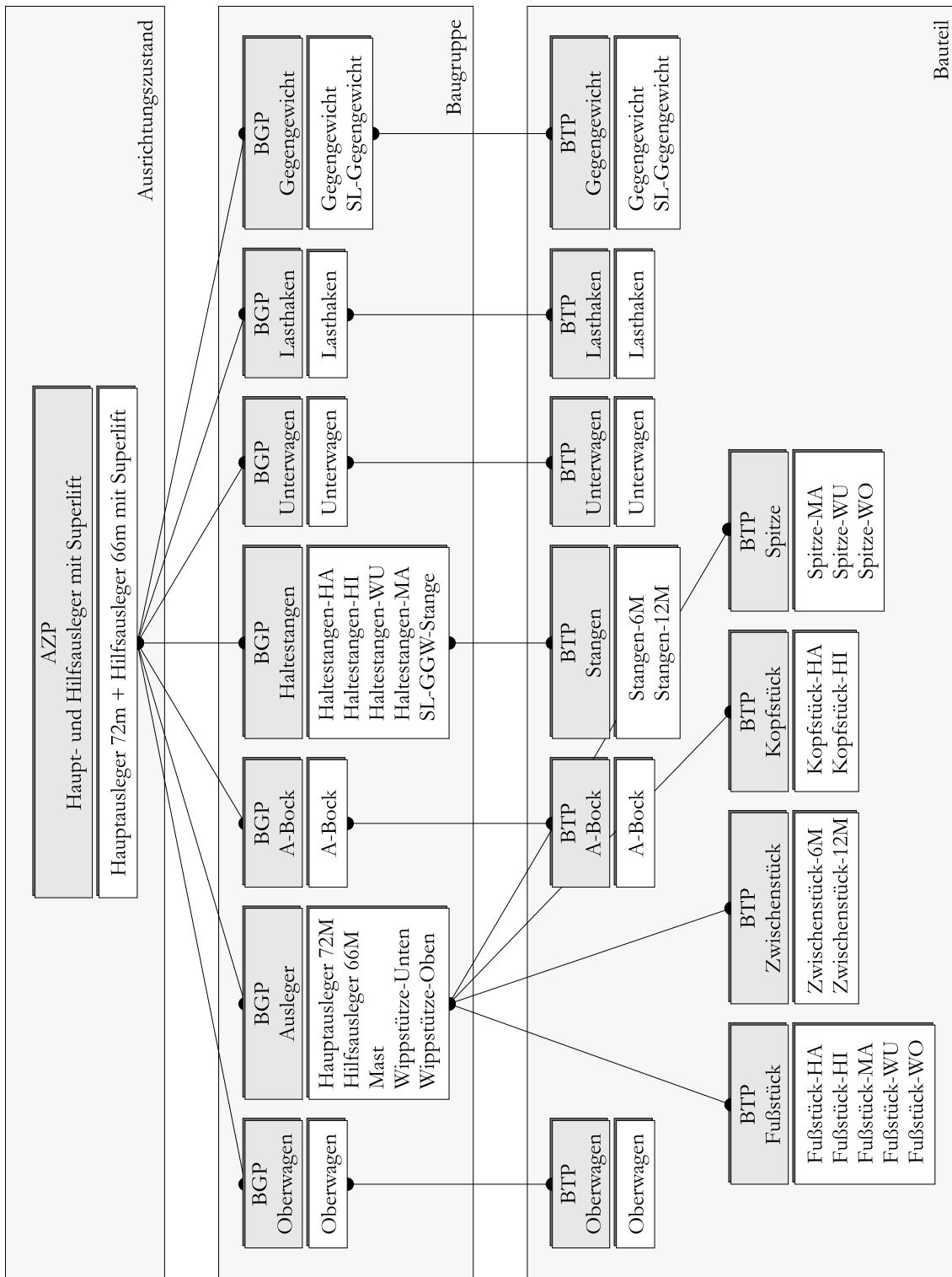


Abbildung 7.14: Anwendung der Prototypen zur Modellierung

Mit Hilfe der Rahmendaten der Prototypen können beliebig viele Modelle auf den Ebenen Bauteil, Baugruppe und Ausrichtungszustand generiert werden. Die Bauteilprototypen werden durch spezifische Bauteildaten und Koordinaten zu kompletten Bauteilmodellen ergänzt. Diese werden zur Montage der Baugruppen verwendet. Die Gittermast-Bauteile werden zu Auslegern entsprechender Länge montiert - der Hauptausleger zu 72 m, der Hilfsausleger zu 62 m und der Mast zu 30 m Länge. Aus den Anschlußkoordinaten der Bauteile werden Anschlußkoordinaten der Baugruppen.

Zur Modellierung des kompletten Systems werden die Baugruppen zur Gesamtstruktur zusammengesetzt. Die Ausrichtungsmethoden der Baugruppen sind im Prototypen des Ausrichtungszustands festgelegt. Zur Generierung verschiedener Stellungen dienen die freien Parameter. In Tab. 7.9 ist exemplarisch eine Stellung definiert.

Tabelle 7.9: Exemplarische Parameterbelegung

Nr.	Parametername	Baugruppe	Wert	Einheit
1	Unterswagenstellung	Unterswagen	0	Grad
2	Hauptauslegerwinkel	Hauptausleger	85	Grad
3	Mastradius	Mast	13,5	Meter
4	Ausladung	Hilfsausleger	62	Meter
5	Hakenhöhe	Lasthaken	80	Meter

Zusammengefaßt ergeben die fünf Parameter einen komplett definierten Parametersatz für diesen Ausrichtungszustand. Die Modellbildung des beispielhaften Kransystems ist somit abgeschlossen. Der generierte Parametersatz kann anschließend mit Lasten beaufschlagt und durch Rechenparameter zu einem Rechensatz vervollständigt werden. Mit diesem erfolgt die Berechnung. Im abschließenden Schritt des Berechnungsablaufs ist eine Auswertung der Berechnungsergebnisse für das betrachtete Kransystem möglich.

Kapitel 8

Zusammenfassung

Typische Hubaufgaben für Gittermast-Fahrzeugkrane sind durch besonders hohe Anforderungen an die Ausladung, die Hubhöhe oder die Tragfähigkeit gekennzeichnet. Daher besitzen sie eine Vielzahl unterschiedlicher Rüstzustände und Auslegerstellungen, die zum Nachweis des Krans nach geltender Normvorschrift alle gesondert zu berechnen sind. Ein erheblicher Zeit- und Arbeitsaufwand ist die Folge. Aus der großen Anzahl der Berechnungen entstehen große Datenmengen, die bisher meist dateibasiert und benutzerbezogen gespeichert werden. Dies führt zu mangelnder Transparenz sowie zu Redundanzen und Inkonsistenzen der Berechnungsdaten. Die derzeit zur Kranberechnung eingesetzten Computersysteme bestehen aus vielen individuellen Einzelprogrammen, die über Schnittstellen Daten austauschen. Durch die fehlende Integration in ein Gesamtsystem sind sie in der Anwendung schwierig und unflexibel.

Diese Problemstellung führte zur Entwicklung eines kompakten Programmsystems, mit dem Gittermast-Fahrzeugkrane ganzheitlich und automatisiert auf der Basis einer zentralen Datenhaltung berechnet werden können. In einem durchgängigen Berechnungsablauf werden von der Modellerstellung bis zur Ergebnisauswertung alle algorithmischen Tätigkeiten automatisiert bearbeitet. Die während der Berechnung entstehenden Daten werden von einem Datenbanksystem gespeichert und verwaltet. Eine graphische Benutzeroberfläche ermöglicht den einfachen Zugriff und die Manipulation dieser Daten.

Der Berechnungsprozeß gliedert sich in die Phasen Modellierung, Berechnung und Auswertung. Für jeden Schritt wurden Methoden entworfen, die zu einer weitestgehenden Automatisierung der Berechnung beitragen. In der Modellierung entstehen aus Bauteilmodellen Baugruppen und schließlich Rechenmodelle von Gesamtstrukturen. Hier wird

mit dem Prototypenkonzept ein neues Konzept vorgestellt, daß die Modellgenerierung auf allen drei Ebenen unterstützt. Es unterteilt die Gesamtinformationen eines Kransystems in Informationen, die für bestimmte Arten von Systemen immer gleich sind, und in Informationen, die für jedes System unterschiedlich sind. Hierbei werden die Definitionen der immer wiederkehrenden Daten in den Prototypen hinterlegt. Als Modellschablonen mit vordefinierten Informationen ermöglichen sie eine schnelle und sichere Modellgenerierung. Die anschließende Berechnungsphase läuft komplett automatisch ab. Sie basiert auf bestehenden Programmsystemen zur starrkörperkinetischen und zur FE-Berechnung. Zur automatisierten Auswertung der Ergebnisse stehen umfangreiche Methoden zur Verfügung, die eine Analyse von Bauteilen, Baugruppen und Gesamtstrukturen unterstützen und so eine zielgerichtete Optimierung von Kransystemen ermöglichen.

Die Probleme mit großen und intransparenten Datenmengen werden durch eine zentrale Datenhaltung gelöst. Hier kommt eine relationale Datenbank zum Einsatz. Um die Struktur der Berechnungsdaten abzubilden, wurde auf konzeptueller Ebene die Methode der Entity-Relationship-Modellierung verwendet. Mit ihrer Hilfe wurde eine auf die automatisierte Kranberechnung abgestimmte Datenstruktur entwickelt. Spezielle Konsistenzbedingungen auf der Grundlage eines Konsistenzmodells garantieren die Integrität der Daten.

Schließlich wurden die Methoden zur automatisierten und datenbankbasierten Berechnung in einem Gesamtkonzept integriert und in Form eines integrierten Programmsystems realisiert. Großer Wert wurde auf die Flexibilität und die leichte Handhabung des Systems gelegt. Daher bietet eine einheitliche graphische Benutzeroberfläche einen optisch aufbereiteten Datenzugriff. Die Möglichkeit Berechnungsmodelle und Ergebnisse zu visualisieren, runden das System ab. Das Programmsystem reduziert den Zeit- und Arbeitsaufwand und erhöht die Transparenz der Berechnung. Die Folge ist die Verkürzung der Entwicklungszeiten und die damit verbundene Senkung der Entwicklungskosten.

Literaturverzeichnis

- [Abe-90] ABELN, O.: *Die CA...-Techniken in der industriellen Praxis : Handbuch der computergestützten Ingenieur-Methoden*. München, Wien : Hanser Verlag, 1990
- [Ames-97] AMES, L.A. ; NADEAU, D.R. ; MORELAND, J.L.: *The VRML 2.0 Sourcebook*. John Wiley and Sons, Inc., 1997
- [Bach-97] BACHMANN ; COHRS ; WHITEMAN ; WISLICKI: *Faszination Baumaschinen - Krantechnik von der Antike zur Neuzeit*. Isernhagen : Giesel Verlag für Publizität GmbH, 1997
- [Bal-91] BALZERT, H.: *Ein Überblick über die Methoden und Werkzeuglandschaft*. Bd. CASE - Systeme und Werkzeuge. Mannheim : Balzert (Hrsg.), 1991
- [Bat-86] BATHE, K.-J.: *Finite-Elemente-Methoden*. Berlin : Springer Verlag, 1986
- [Boe-81] BOEHM, B.W.: *Software Engineering Economics*. Englewoods Cliffs NJ : Prentice-Hall, 1981
- [Bre-92] BREMER, H. ; PFEIFFER, F: *Elastische Mehrkörpersysteme*. Stuttgart : B. G. Teubner, 1992
- [Böt-83] BÖTTCHER, S. ; GÜNTNER, W. ; STEPHANI, M.: *Verformungsmessungen an einem Gittermastkran*. In: fördern und heben 33, Nr. 3, S. 166-170, 1983
- [Böt-85] BÖTTCHER, S. ; GÜNTNER, W.: *Besondere Einflußfaktoren bei der statischen Berechnung von Gittermast-Auslegerkranen*. In: fördern und heben 35, Nr. 11, S. 834-839, 1985

- [Böt-94] BÖTTCHER, S. ; LÖW, H.R.E.: *Aufwandsreduzierte FE-Modellierung für die Fahrzeugkran-Dimensionierung*. In: fördern und heben 44, S. 488-490, 1994
- [Cel-97] CELIKTAS, M. ; KLEEBERGER, M.: *Dynamische Belastung beim Lastheben: Ein Vergleich von dynamischer und quasistatischer Berechnung*. In: fördern und heben 47, Nr. 6, S. 430 - 431, 1997
- [Chen-76] CHEN, P.: *The Entity-Relationship Model - Towards a Unified View of Data*. Bd. 1, Nr. 1, S. 9-36. ACM Trans. on Database Systems, März 1976
- [Codd-70] CODD, E.F.: *A relational model for large shared data banks*. Bd. 13, Nr. 6, S. 377-387. Comm. ACM, 1970
- [DIN 15001] NORM DIN 15001 BLATT 1: *Krane: Begriffe, Einteilung nach der Bauart*. Deutscher Normenausschuß, November 1973
- [DIN 15018 T1] NORM DIN 15018 TEIL 1: *Krane: Grundsätze für Stahltragwerke, Berechnung*. Deutscher Normenausschuß, November 1984
- [DIN 15018 T3] NORM DIN 15018 TEIL 3: *Krane: Grundsätze für Stahltragwerke, Berechnung von Fahrzeugkranen*. Deutscher Normenausschuß, November 1984
- [DIN 15019 T2] NORM DIN 15019 TEIL 2: *Krane: Standsicherheit für gleislose Fahrzeugkrane, Prüfbelastung und Berechnung*. Deutscher Normenausschuß, Juni 1979
- [DIN 18800 T2] NORM DIN 18800 TEIL 2: *Stahlbauten: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken*. Deutscher Normenausschuß, November 1990
- [DIN 19233] NORM DIN 19233: *Automat, Automatisierung*. Deutscher Normenausschuß, Juli 1972
- [DIN 4114 T1] NORM DIN 4114 TEIL 1: *Stabilitätsfälle, Berechnungsgrundlagen und Vorschriften*. Deutscher Normenausschuß, November 1952
- [DIN 4114 T2] NORM DIN 4114 TEIL 2: *Stabilitätsfälle, Berechnungsgrundlagen und Richtlinien*. Deutscher Normenausschuß, November 1952

- [Dit-85] DITTRICH, K.R. ; KOTZ, A.M. ; MÜLLE, J.A. ; LOCKEMANN, P.C.: *Datenbankunterstützung für den ingenieurwissenschaftlichen Entwurf*. Informatik-Spektrum 8, 1985
- [Döm-95] DÖMÖK, S.: *Automatisierte und datenbankgestützte Berechnung von Gittermastfahrzeugkranen*. München, Technische Universität, Diss., 1995
- [Dol-57] DOLEZALEK, C.M.: *Grundlagen der Automatisierung und ihr Einfluß auf die Ausbildung von Maschineningenieuren*. Bd. Werkstattstechnik und Maschinenbau 47. Dresden, 1957
- [Ebe-84] EBERLEIN, W.: *CAD-Datenbanksysteme*. Berlin : Springer Verlag, 1984
- [Ehr-94] EHRENSPIEL, K.: *Checklisten zum methodischen Konstruieren*. Technische Universität München : Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau, 1994
- [Ehr-98] EHRENSPIEL, K. ; KIEWERT, A. ; LINDEMANN, U.: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1998
- [Eve-74] EVERSHEIM, W. ; PAHL, G.: *Rechnerunterstütztes Entwickeln und Konstruieren im Maschinenbau. Forschungshefte Forschungskuratorium Maschinenbau*. Bd. 28. Frankfurt : Maschinenbau-Verlag, 1974
- [Feld-94] DR. FELDMANN, D. ; KRUSE, A. ; DR. MERZIGER, P. ; DR. MÜHLBACH, G. ; DR. WIRTH, T.: *Repetitorium der Ingenieur-Mathematik - Teil 3*. 7. Aufl. Hannover : Bonomi Verlag, 1994
- [FEM 5.004] REGELWERK FEM 5.004: *Regeln für die Berechnung von Stahltragwerken von Fahrzeugkranen für allgemeine Verwendung*. Federation Europeenne de la Manutention (FEM), Oktober 1985
- [Fisch-83] FISCHER, W.E.: *Datenbanksysteme für CAD-Arbeitsplätze*. Bd. Informatik-Fachberichte Nr.70. Berlin : Springer Verlag, 1983
- [Flo-84] FLOYD, Ch.: *A Systematic Look at Prototyping*. Budde, 1984

- [Frö-93] FRÖHLICH ; HOLLAND: *Maschinenelemente - Berechnungsprogramme. Marktübersicht - Programmtests*. Rüsselsheim : Studie der FH Wiesbaden, 1993
- [Frö-95] FRÖHLICH, P.: *FEM-Leitfaden*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1995
- [Gün-85] GÜNTNER, W.: *Statische Berechnung von Gittermast-Auslegerkranen mit Hilfe finiter Turmelemente unter Berücksichtigung der Elastizität des Kranwagens und von Messungen*. München, Technische Universität, Diss., 1985
- [Gün-86] GÜNTNER, W.: *Computergestützte Auslegung und Optimierung von Gittermast-Auslegern*. In: dhf 3, S. 42-44, 1986
- [Gün-95] GÜNTNER, W. ; KLEEBERGER, M.: *Moderne Berechnungsmethoden für Fahrzeugkrane*. Fachtagung Fördertechnik - Wissenschaftliche Erkenntnisse im Spiegelbild der Vorschriften. Hrsg.: Techn. Univ. Dresden, 1995
- [Gün-96] GÜNTNER, W.A. ; DÖMÖK, St.: *Datenbankgestützte Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkranen*. In: fördern und heben 46, Nr. 6, S. 458-462, 1996
- [Gün-97] GÜNTNER, W.A. ; KLEEBERGER, M.: *Zum Stand der Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkranen*. In: dhf 3, S. 56-61, 1997
- [Hein-91] HEIN, M. ; HERRMANN, H.H. ; KEEREMAN, G. ; UNBESCHIED, G.: *Das ORACLE Handbuch - Das relationale Datenbanksystem und seine Werkzeuge*. Addison-Wesley (Deutschland) GmbH, 1991
- [I-DEAS-98] I-DEAS: *Master Series - Student Guide*. 2000 Eastman Drive, Milford, Ohio 45150 : Structural Dynamics Research Corporation, 1998
- [IBM-92] CORPORATION, IBM: *Object Orientated Interface Design*. Bd. IBM CUA Guidelines. International Business Machines Corporation, 1992
- [ISO 4306 T2] NORM ISO 4306 TEIL 2: *Cranes-Vocabulary: Mobile cranes*. International Organization for Standardization, November 1994

- [Jan-93] JANES, P.: *Presto: Methode und Werkzeuge zur Evolution von Datenbankanwendungen*. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, Diss., 1993
- [Kem-99] KEMPER, A. ; EICKLER, A.: *Datenbanksysteme - Eine Einführung*. 3. korrigierte Aufl. München, Wien, Oldenburg : Oldenburg Verlag, 1999
- [Ker-90] KERNIGHAN, B. W. ; RITCHIE, D.M.: *Programmieren in C*. 2. Aufl. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1990
- [Kle-96] KLEEBERGER, M.: *Nichtlineare dynamische Berechnung von Gittermast-Fahrzeugkranen*. München, Technische Universität, Diss., 1996
- [Koh-76] KOHNHÄUSER, E.: *Untersuchung von Methoden zur statischen Berechnung von Kran-Fachwerktürmen mit Hilfe eines räumlichen Matrizendeformationsverfahrens unter Berücksichtigung von Messungen*. München, Technische Universität, Diss., 1976
- [Lie-91] LIEBELT, C.: *Unterstützung des Entwurfs konsistenzhaltender Datenbankanwendungsprogramme*. Stuttgart, Fakultät Informatik der Universität Stuttgart, Diss., 1991
- [Lock-98] LOCKMAN, D.: *ORACLE 8 - Datenbankentwicklung in 21 Tagen*. Haar bei München : SAMS - Imprint der Markt und Technik Buch- und Software-Verlag, 1998
- [Löw-93] LÖW, H.: *Automatisierung der Berechnung und Konstruktion des Stahlbaus von Fahrzeugkranen auf der Basis von FE- und CAD-Methoden*. München, Technische Universität, Diss., 1993
- [Mag-74] MAGNUS, K. ; MÜLLER, H.H.: *Grundlagen der Technischen Mechanik*. Stuttgart : B. G. Teubner, 1974
- [MDC-87] MANNESMANN-DEMATIC: *CC 12000 - Eine neue Dimension der DEMAG-Raupenkrane*. Zweibrücken. Firmenschrift, 1987
- [MDC-90] MANNESMANN-DEMATIC: *Raupenkrane CC 12000 bei seinem ersten Einsatz*. In: dhf 36, Nr. 12, S. 44, 1990

- [MDC-98a] MANNESMANN-DEMATI: *CC 12600 - Die Superlative im Kranbau*. Jobreport, 1998
- [MDC-98b] MANNESMANN-DEMATI: *1250 t am Haken des weltstärksten Raupen-Mobilkrans*. Jobreport, 1998
- [Mei-87] MEIER, A.: *Erweiterung relationaler Datenbanksysteme für technische Anwendungen*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1987
- [Mei-95] MEIER, A.: *Relationale Datenbanken - Eine Einführung für die Praxis*. 2. Auflage,. Berlin, Heidelberg, New York : Springer Verlag, 1995
- [Mey-99] MEYBERG, K. ; VACHENAUER, P.: *Höhere Mathematik 1 - Differential- und Integralrechnung - Vektor- und Matrizenrechnung*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1999
- [Nie-81] NIEMANN, G.: *Maschinenelemente - Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen*. Bd. 1. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York : Springer Verlag, 1981
- [Ohr-90] OHR, S.A.: *CAE: a survey of standards, trends, and tools*. New York : John Wiley and Sons, 1990
- [ORACLE-96] CASE I THEORIE: *Modellierungstechniken in der Strategie- und Analysephase*. ORACLE Deutschland GmbH, 1996
- [Pahl-86] PAHL, G. ; BEITZ, W.: *Konstruktionslehre*. 2. Ausgabe. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo : Springer Verlag, 1986
- [prEN 13000] NORMENTWURF EN 13000: *prEN 13000 - Fahrzeugkrane*. Europäisches Komitee für Normung (CEN), November, August 1997
- [prEN 13001] NORMENTWURF EN 13001: *prEN 13001 - Berechnungsgrundsätze für Krane*. Europäisches Komitee für Normung (CEN), Dezember 1997
- [Reu-87] REUTER, A.: *Maßnahmen zur Wahrung von Sicherheits- und Integritätsbedingungen*. In P.C. Lockemann und J.W. Schmidt (Hrsg.), *Datenbankhandbuch*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1987. – Kapitel 4, S. 343-441

- [Schlü-98] SCHLÜTER, O.: *VRML - Sprachmerkmale, Anwendungen, Perspektiven*. 1. Auflage. Köln : O'Reilly Verlag, 1998
- [Schla-83] SCHLAGPETER, G. ; STUCKY, W.: *Datenbanksysteme: Konzepte und Modelle*. 2. Auflage. Stuttgart : Teubner-Verlag, 1983
- [Schu-86] DR. SCHULTE-HILLEN, J. ; VON WIETERSHEIM, B.: *Handbuch der Datenbanken für Naturwissenschaft und Technik*. Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 1986
- [Schu-94] SCHUMANN, M. ; SCHÜLE, H. ; SCHUMANN, U.: *Entwicklung von Anwendungssystemen*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1994
- [Stein-98] STEINBUCH, R.: *Finite-Elemente - Ein Einstieg*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1998
- [Söth-87] SÖTH, W. ; KELP, D.: *Krantchnik: Die Grenzwerte geraten ins Rutschen*. In: fördern und heben 37, Nr. 12, S. 902-905, 1987
- [Sto-99] STONEBRAKER, M. ; MOORE, D.: *Objektrelationale Datenbanken - Die nächste große Welle*. München : Hanser Verlag, 1999
- [Ulr-90] ULRICH, P.: *Rechnerintegrierter automatisierter Betrieb*. München, Wien : Hanser Verlag, 1990
- [Wag-99] WAGNER, G.: *Euronorm ENV 13001-3.1 Berechnungsgrundsätze für Krane - Grenzzustände der Stahltragwerke und Sicherheitsnachweis*. Dresden : Institut für Fördertechnik, Baumaschinen und Logistik - TU Dresden, Oktober 1999. – Tagungsbeitrag
- [War-99] WARKENTHIN, W.: *Tragwerke der Fördertechnik 1*. Braunschweig, Wiesbaden : Vieweg Verlag, 1999