

Zweidimensionale Wegefindung und Visualisierung für Kranarbeiten

Bachelor's Thesis

Von

Viola Thiel

Betreuer: Dipl.-Ing. Gergő Dori

Beginn: 22.07.2011

Ende: 30.09.2011

2011

ZUSAMMENFASSUNG

Immer komplexere Strukturen von Gebäuden sowie höhere Anforderungen und die Forderung nach einer Effizienzsteigerung stellen die Bauindustrie vor eine große Herausforderung. Gleichzeitig sollen Zeit und Kosten eingespart und das Produkt Bauwerk verbessert werden. Computergestützte Modellierung und die Simulationen von Abläufen stellen eine Möglichkeit dar auf diese Forderungen einzugehen. Sie sind eine effiziente Methode um geometrische Konstellationen der dynamischen Baustellenprozesse zu prüfen. In dieser Arbeit wird der Turmdrehkran als zentrales Element des horizontalen und vor allem vertikalen Materialtransportes betrachtet. Ein Konzept wird entwickelt und vorgestellt welches eine automatisierte Berechnung und Visualisierung eines kollisionsfreien Weges, welchen ein Objekt beim Transport überstreicht, durchführt. Hierzu werden zunächst die Krane, ihr Arbeitsumfeld sowie die Materialbewegung an sich vorgestellt. Spezifikationen die einen Materialtransport einschränken werden definiert. Anschließend wird auf Basis dessen ein Programm vorgestellt, welches mit Eingabe von elementaren Parametern des Kranes, des Umfeldes und des Transportguts durch Abstraktion der Realität auf einfache geometrische Formen einen kollisionsfreien Weg berechnet, sowie diesen visualisiert.

ABSTRACT

The growing complexity of buildings as well as higher requirements and an increasing pressure of costs and time challenges the Construction Industry. An efficiency enhancement should be conducted to save expenses, contract construction periods and simultaneously to improve the result of building processes – the building itself. Computer-aided modeling and simulation of the operations are an opportunity to solve that problem. They are a method to illustrate the complex geometric constellations of dynamic construction phases. This thesis concentrates on the flow of materials due to a tower crane. A tower crane, being able to perform both a horizontal as well as a vertical movement of charges, is the main lifting gear on building sites. The model development of a strategy that automatically calculates the path of the transported goods by crane is the focus of attention. The thesis describes the basics, the cranes themselves, their environment – the construction site including its facilities and the transporting processes managed by a crane. The constraint of crane-based actions is thereby of major importance. As Result of the considerations a computer program is written and presented. By the use of simplifications, the routine automatically calculates the path of the material flow depending on the user input. Therefore, a potential risk of collision concerning the chosen path has to be excluded. Subsequent, the Visualization shows the results step by step.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung.....	2
Abstract	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
1 Einleitung	6
1.1 Motivation.....	6
1.2 Aufgabenstellung.....	7
2 Definitionen.....	8
2.1 Krane	8
2.1.1 Krantypen.....	8
2.1.2 Turmdrehkrane.....	9
2.2 Baustellen.....	16
3 Baustelleneinrichtung.....	18
3.1 Elemente der Baustelleneinrichtung	18
3.2 Ablauf der Baustelleneinrichtungsplanung.....	19
3.3 Der Baustelleneinrichtungsplan.....	19
3.4 Zentrales Element der Baustelleneinrichtung: Der Turmdrehkran	21
3.4.1 Bestimmung der Krananzahl	21
3.4.2 Positionierung der Kräne.....	22
3.4.3 Dimensionierung der Kräne.....	22
3.4.4 Der Kraneinsatzplan	23
4 Materialbewegung mit einem Turmdrehkran.....	24
4.1 Arbeitsfeld eines Kranes	24
4.2 Transportgüter bei Turmdrehkranen	25
4.3 Kranspiel.....	26
4.4 Einzelvorgänge des Kranspiels.....	27
4.4.1 Beladen.....	27
4.4.2 Heben/Senken.....	27
4.4.3 Katzfahren bzw. Auslegerheben.....	28
4.4.4 Schwenken.....	28
4.4.5 Kranfahren.....	28
4.4.6 Entladen.....	29
4.5 Verfahren zur Berechnung des Kranspiels	29

5	Erstellen des Programms.....	30
5.1	Motivation.....	30
5.2	Dokumentation.....	30
5.2.1	Einflussgrößen.....	31
5.2.2	Beschreibung der Programmabläufe.....	33
6	Fazit.....	41
	Quellenverzeichnis.....	43
	Erklärung.....	45

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schienengebundene Kransysteme.....	9
Abbildung 2: Aufbau eines Turmdrehkranes.....	9
Abbildung 3: Arbeitsbereich eines Turmdrehkranes	10
Abbildung 4: Auslegertypen.....	11
Abbildung 5: Obendreher und Untendreher im Vergleich	12
Abbildung 6: Anordnung der Drehvorrichtung bei Untendrehern	13
Abbildung 7: Hubhöhe, Ausladung und Traglast eines Turmdrehkrans mit Katzausleger	14
Abbildung 8: Traglasttabelle.....	15
Abbildung 9: Lastmomentkurve eines Turmdrehkranes	16
Abbildung 10: Baustelle mit Turmdrehkranen.....	16
Abbildung 11: Baustelleneinrichtungsplan mit Kranstandort und Arbeitsbereich	20
Abbildung 12: Auswahlkriterien für Turmdrehkrane	22
Abbildung 13: Arbeitsbereichsbegrenzung bei einem Turmdrehkran	25
Abbildung 14: Kranarbeiten - Transport von Baumaterialien	26
Abbildung 15: Heben und Senken bei Turmdrehkranen	27
Abbildung 16: Katzfahren bei Turmdrehkranen.....	28
Abbildung 17: Schwenken bei Turmdrehkranen.....	28
Abbildung 18: Kranfahren bei einem auf eine Gleisanlage montierten Turmdrehkran	28
Abbildung 19: Verarbeitung von Eingabewerten durch ein Programm.....	31
Abbildung 20: Grafische Benutzeroberfläche des Programms	33
Abbildung 21: Eingabe der Kranparameter.....	33
Abbildung 22: Abbildung der Kranparameter im Programm.....	34
Abbildung 23: Darstellung der Hindernisse.....	34
Abbildung 24: Objekt mit zugehörigem Schwerpunkt	35
Abbildung 25: Fehlermeldung - Schwerpunkt nicht im Arbeitsbereich des Krans.....	35
Abbildung 26: Fehlermeldung - Zielpunkt nicht im Arbeitsbereich des Krans.....	36
Abbildung 27: Definition des Abtastbereichs	37
Abbildung 28: Wahl vom Schwenkradius.....	37
Abbildung 29: Visualisierung des Schwenkradius	38
Abbildung 30: Fehlermeldung - Kein Materialtransport möglich.....	39
Abbildung 31: Stationen der Visualisierung.....	39
Abbildung 32: Information bei erfolgreicher Ausführung des Materialtransports.....	40

1 EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION

Kranarbeiten und der Transport von Gütern mittels Kränen, insbesondere Turmdrehkränen, ist schon seit langer Zeit in der Bauindustrie etabliert. Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte hin zu höheren Gebäuden und komplexeren Konstruktionen, aus Gründen des Bauflächenmangels und dem Ziel Gebäude immer attraktiver und anspruchsvoller zu gestalten, führt dazu, dass auch die Logistik mittlerweile eine große Herausforderung ist. Dies stellt die Bauwirtschaft zunehmend vor Probleme. Für einwandfreie Bauabläufe muss auch der Materialfluss funktionieren. Eine Lösung um schnell Güter zum richtigen Ort zu befördern bietet oftmals der Transport mit Turmdrehkränen. Sie besitzen die Möglichkeit sowohl vertikale als auch horizontale Strecken in kürzester Zeit sicher zu überwinden und das Material präzise an die Stellen zu bringen, an denen es benötigt wird. Immer größere Bauvorhaben mit wachsenden Materialflussskapazitäten stellen ein enormes Feld an Informationen dar, welche verarbeitet werden müssen. Aus diesem Grund und der Komplexität von Bauabläufen haben sich computergestützte Methoden in der Bauindustrie durchgesetzt. Sowohl in der Konstruktion (Computer Aided Design) als auch in der Bauablaufplanung haben sich Computer zu einem nicht mehr wegzudenkenden Bestandteil entwickelt. Der Trend geht zu einer weiteren Anwendungsentwicklung und Digitalisierung im Bauwesen. Vor allem die Modellierung und Simulation sind in den Fokus gerückt. Sie stellen ein Hilfsmittel dar um effizient die geometrischen Konstellationen auf einer Baustelle abzubilden und somit eine Möglichkeit schaffen schon vor Baubeginn Machbarkeitsstudien bezüglich des Umfelds zu realisieren. Meist ist eine Entwicklung solcher Modellierungen und Simulationen jedoch sehr zeit- und kostenintensiv. Eine Automatisierung dieser Prozesse würde eine Lösung dieses Problems darstellen.

In dieser Arbeit wird die automatisierte zweidimensionale Wegefindung bei Kranarbeiten sowie die Visualisierung als Teil der Baustellensimulation näher beleuchtet. Automatisierte Baustellensimulationen sind im höchsten Maße abhängig von den Kranprozessen, da dieser oft den Mittelpunkt einer Baustelle darstellt. Krane sind meist maßgebend für den gesamten Materialfluss und sind deshalb mit besonderer Sorgfalt im Ablauf von Bauprozessen zu berücksichtigen. Eine automatisierte Berechnung und Visualisierung der kollisionsfreien Transportwege von Stoffen schafft die Grundlage für einen guten, sicheren Bauprozess sowie qualitativ hochwertige Arbeit, Arbeitsbedingungen und Resultate. Sie ermöglichen eine visuelle Kontrolle der Kranvorgänge, noch vor Beginn der eigentlichen Ausführung. Damit können die groben Prozessdauern geprüft und mögliche Material- bzw. Krankollisionen vorhergesehen werden. Die gute Organisation von Bauprozessen ist ein entscheidender Faktor zur

Verbesserung des Images der Bauindustrie, indem sie dazu beiträgt sowohl die Erscheinung einer Baustelle als auch das Produkt Bauwerk zu verbessern. Die Wegefindung und Visualisierung von Kranprozessen ist eine integrierende, präventive Maßnahme. Sie unterstützt die Bauleitung dabei, Gefahren und Risiken bereits in der Planung zu erfassen und so negative Auswirkungen zu minimieren. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass die Materialbewegung auf einer Baustelle sehr individuell ist, da eine Baumaßnahme Unikatcharakter besitzt. Es ist daher nicht möglich eine universelle Lösung für jede Baustelle zu finden, wie es in anderen Fertigungsindustrien wie zum Beispiel der Automobilindustrie möglich ist. Die einzige Konstante in der Bauindustrie ist, dass die richtigen Güter zur richtigen Zeit an dem richtigen Ort, in richtiger Menge und Qualität vorliegen müssen. Deshalb ist es ein enormer Fortschritt, wenn ein Programm mit Eingabe von individuellen Parametern automatisiert das richtige Ergebnis liefert und somit hinsichtlich Zeitaufwand und Arbeit den Planern unter die Arme greift. (Borrmann & Günthner, 2011)

1.2 AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen der Bachelorarbeit wird das Thema der Materialbewegung mittels eines Turmdrehkranes behandelt. Insbesondere wird auf die Wegefindung und die Visualisierung der Kranarbeiten im zweidimensionalen Raum eingegangen. Es wird ein Programm entwickelt, welches automatisiert einen kollisionsfreien Weg findet und anschließend den berechneten Weg visualisiert.

Zuerst werden hier die Grundlagen eines solchen Transports von Gütern mit einem Kran hinreichend behandelt und folgend auf das Programm eingegangen.

2 DEFINITIONEN

Um das Verständnis dieser Arbeit zu verbessern, werden im nächsten Kapitel die wichtigsten Begriffe und Werkzeuge ausführlich vorgestellt und erklärt.

2.1 KRANE

Der Begriff Kran kommt vom griechischen Wort ‚geranos‘ und bedeutet Kranich. Ihre Hauptaufgaben sind das „Heben, Senken und Versetzen von Lasten“ (Kunze et al., 2007 S.1).

Die einschlägige Definition gemäß DIN-Norm:

„Ein Kran ist ein Fördermittel für die ununterbrochene Förderung, bei dem die Last an einem Tragemittel hängt, gehoben, gesenkt und in einer oder mehreren waagerechten Richtungen bewegt werden kann. Der Kran kann ortsfest, auf Schienen oder frei fahrbar oder auf einem Schwimmkörper angeordnet sein.“ (Krämmer, 1978 S.265)

Die Verwendung von Kranen bietet zahlreiche Vorteile in Bezug auf die Materialbewegung. Materialien können überaus flexibel im Arbeitsbereich des Kranes bewegt werden. Sie können sehr hohe Lasten transportieren und sind somit in der Bauindustrie, in der oft diese Eigenschaft gefragt ist, unabdinglich. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Bewegung der Lasten nicht an den Untergrund gebunden ist (Kunze et al., 2007).

Die Einsatzgebiete von Kranen sind je nach Typ sehr vielseitig. Man verwendet sie zum Beladen und Entladen von Fahrzeugen, Eisenbahnen und Schiffen sowie bei der Montage und Fertigung im Hochbau.

2.1.1 KRANTYPEN

Je nach Einsatzgebiet und Anforderungen sind unterschiedliche Kräne zu verwenden. Gemäß DIN 15001 unterteilt man Krane grundsätzlich in acht Typen:

- Laufkatzenkrane,
- Brückenkrane und Portalkrane,
- Auslegerkrane und Drehkrane,
- Wandlaufkrane,
- Turmdrehkrane,
- Fahrzeugkrane,
- Schwimmkrane und
- Kabelkrane (DIN 15001, 1973).

Dabei sind Brückenkrane, Portalkrane, Kabelkrane, Ausleger- und Drehkrane schienenengebundene Kransysteme, d.h. sie sind fahrbar auf einer fest installierten Schienenbahn

gelagert und können sich sowohl entlang dieser als auch in ihrem Arbeitsbereich selbst bewegen (Abbildung 1).

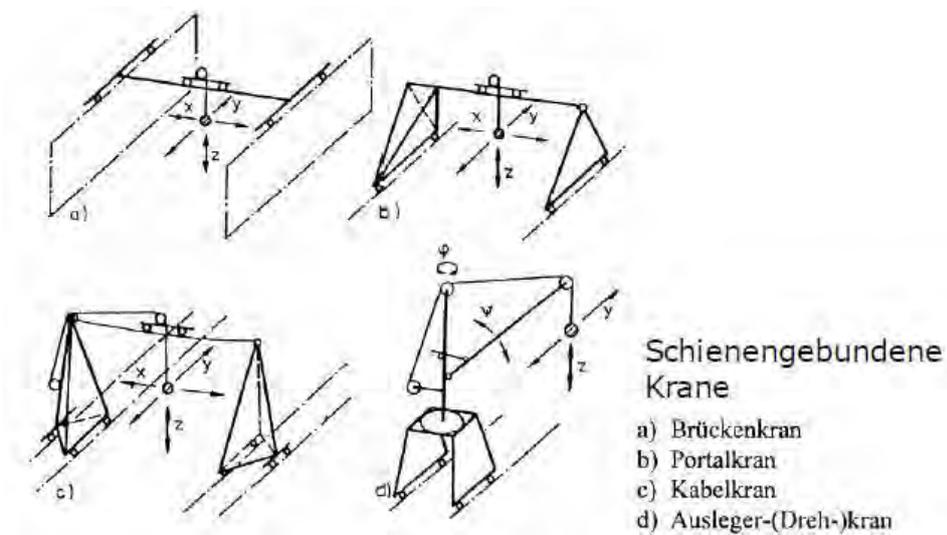


ABBILDUNG 1: SCHIENENGEBUNDENE KRANSYSTEME

(Quelle: Kunze et al., 2007 S.1)

Im Folgenden wird nur auf die Gattung der Turmdrehkrane weiter eingegangen, da diese in der europäischen Bauindustrie im höchsten Maße etabliert sind und nahezu auf jeder Baustelle Verwendung finden.

2.1.2 TURMDREHKRANE

„Turmdrehkrane bestehen aus einem Turm mit Unterbau und Ausleger“ (Schach, 2009 S.14) (Abbildung 2).

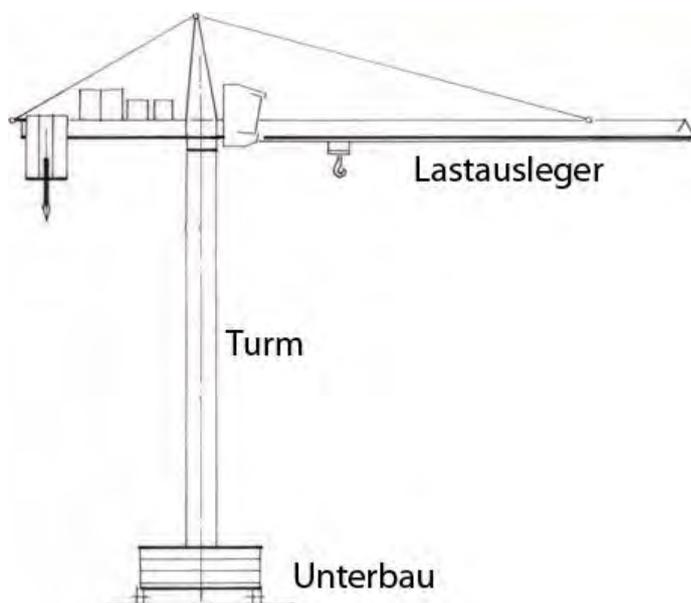


ABBILDUNG 2: AUFBAU EINES TURMDREHKRANES

Sie sind Hebezeuge, welchen es möglich ist im Drehbereich des Auslegers Baustellen mit Material zu versorgen. Sie können sowohl vertikale als auch horizontale Materialbewegungen ausführen. Dies ermöglicht eine flächendeckende, punktgenaue Anlieferung von Material. Das Arbeitsfeld eines Turmdrehkranes mit Katzausleger ist in den meisten Fällen (keine Raumsperre) ein zylinderförmiger Raum (Abbildung 3).

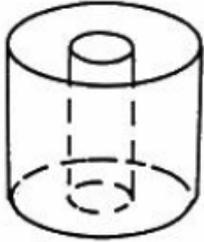


ABBILDUNG 3: ARBEITSBEREICH EINES TURMDREHKRANES

(Quelle: Kunze et al., 2007 S.1)

Vor allem im Faktor Geschwindigkeit der Materialbewegung besitzt ein Turmdrehkran oft enorme Vorteile und wird deshalb selbst bei kurzfristigen, kleinen Baustellen effizient eingesetzt. Je nach Größe und Art des Bauvorhabens werden verschiedene Krantypen verwendet. Die Unterschiede werden im Folgenden konkretisiert.

2.1.2.1 Unterscheidungsmerkmale von Kranen

Krane sind vielseitig einsetzbar, ebenso vielseitig sind ihre Ausführungen. Die Differenzierung weist dem jeweiligen Kran ein bestimmtes Arbeitsgebiet zu. So werden zum Beispiel Knickausleger, welche Ausladung in Höhe umwandeln können, vor allem beim Bau von hohen Gebäuden eingesetzt. Je nach Bauvorhaben ist auf unterschiedliche Merkmale besonders zu achten. Krane werden vor allem in den folgenden Bereichen unterschieden:

2.1.2.1.1 Auslegertyp

Ein wichtiger Aspekt welcher Turmdrehkrane hinsichtlich ihrer Funktionsweise unterscheidet ist der Auslegertyp. In der heutigen Bauindustrie kommen vier unterschiedliche Typen zum Einsatz (Abbildung 4):

Katzausleger: Bei Kranen mit Katzauslegern befindet sich am horizontalen Ausleger eine Laufkatze. Die Katze ist ein am Ausleger angebrachter fahrbarer Schlitten. Sie ermöglicht es die Last entlang der gesamten Auslegerlänge zu bewegen. Angetrieben wird sie üblicherweise von einem Elektromotor mit Seiltrommel. Zu beachten ist, dass der Ausleger während dem Betrieb nicht verstellt werden kann, so wie dies zum Beispiel bei einem Nadelausleger möglich ist.

Nadelausleger: Bei Nadel- oder Wippauslegern ist ein zusätzlicher Gewinn an Hubhöhe durch Steilstellen des Auslegers möglich. Der Nadelausleger ist dabei unterhalb der Turmspitze drehbar gelagert und kann mittels Seilvorrichtungen steil gestellt werden. Eingesetzt werden Nadelausleger vor allem bei beengten Platzverhältnissen, wenn Hindernisse durch einen Gewinn an Hubhöhe überwunden werden müssen. Ein Nachteil ist jedoch der große Platzbedarf bei der Montage.

Knickausleger: Beim Knickausleger wird Ausladung durch Knicken des zweiteiligen Laufkatzenauslegers an einem Verbindungsgelenk in Höhe umgewandelt. Eingesetzt werden Knickausleger vor allem beim Bau von Türmen (zum Beispiel Kühl- oder Fernsehtürme). Wegen dem Gewinn an Höhe durch Knicken können Turmstücke eingespart werden. Nachteilig sind jedoch die hohen Kosten, weshalb sich eine Anschaffung bzw. Anmietung nur für spezielle Aufgaben rechnet.

Teleskopierbare Ausleger: Unter teleskopierbaren Auslegern versteht man Laufkatzenausleger, welchen es möglich ist den Ausleger zu verkürzen. Dies kann ein Vorteil sein, wenn der Arbeitsbereich des Kranes eingeschränkt ist. Durch verkürzen können Kollisionen vermieden werden. (König, 2008)

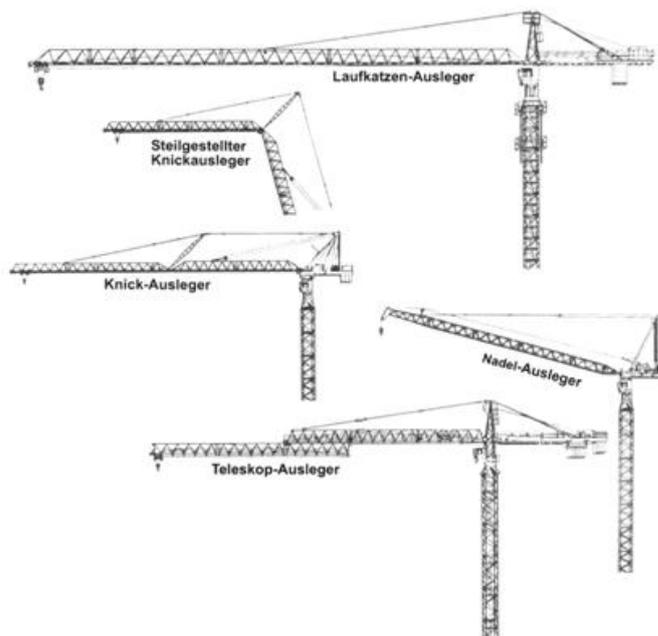


ABBILDUNG 4: AUSLEGERTYPEN

(Quelle: Metz, 2009)

Je nachdem welche Auslegerart vorliegt, sind verschiedene Anordnungen der Drehvorrichtung realisierbar.

2.1.2.1.2 Anordnung der Drehvorrichtung

Die Drehvorrichtung kann sowohl am Turmfuß als auch am Punkt, an dem Turm und Ausleger aufeinander treffen angebracht sein. Hinsichtlich dieses Merkmals unterscheidet man zwischen Obendrehern und Untendrehern.

Beim Untendreher befindet sich der Drehkranz unten zwischen Turm und Drehbühne. Bei einer Drehbewegung bewegen sich sowohl die Drehbühne als auch die gesamte Turmkonstruktion (Abbildung 5, Abbildung 6).



ABBILDUNG 5: OBENDREHER UND UNTENDREHER IM VERGLEICH

(Quelle: Kranprofis, 2006)

(Quelle: Gerd Wedekind Baumaschinen GmbH, 2009)

Eingesetzt werden Untendreher vor allem bei kleineren Bauvorhaben, wie zum Beispiel dem Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern. Vorteile sind der einfache Auf- und Abbau sowie die Wartung. Probleme kann es jedoch geben, wenn nicht ausreichend Standfläche vorhanden ist, da sich die gesamten Antriebsvorrichtungen im Fuß des Krans befinden. Untendreher finden sowohl bei Nadelauslegern als auch bei Laufkatzauslegern Anwendung.

Beim Obendreher hingegen ist der Drehkranz am oberen Turmende angeordnet (Abbildung 6). Die Drehbühne mit Haupt- und Gegenausleger befindet sich oberhalb des Drehkranzes. Bei einer Drehbewegung bleibt die Turmkonstruktion lagestabil, sie bewegt sich nicht mit dem Ausleger mit.

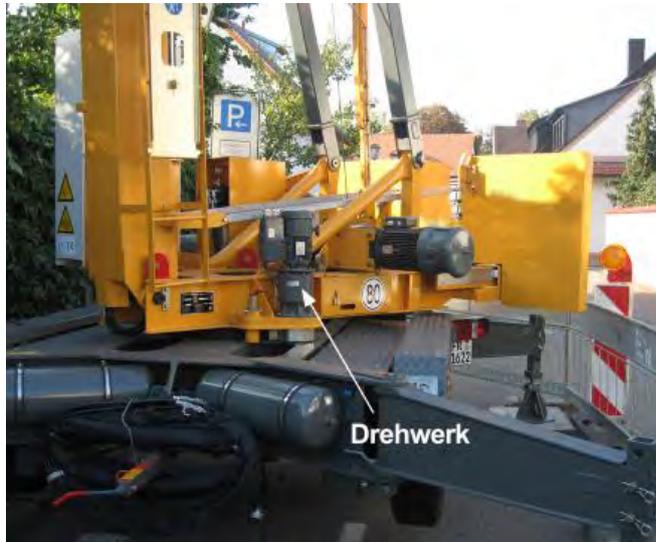


ABBILDUNG 6: ANORDNUNG DER DREHVORRICHTUNG BEI UNTENDREHERN

(Quelle: Metz, 2009)

Obendreher werden vor allem bei großen Baustellen mit beengten Platzverhältnissen und regem Baubetrieb verwendet. Im Vergleich zum Untendreher besitzen sie einen geringeren Standflächenverbrauch, da die Drehvorrichtung einschließlich des Antriebs am oberen Turmende angeordnet ist. Somit können auch wesentlich höhere Bauvorhaben realisiert werden, weshalb der Obendreher auch oft Hochbaukran genannt wird. Anwendung findet er bei allen Auslegertypen (siehe Kapitel 2.1.2.1.1). (Metz, 2009)

Zusätzlich zur Drehvorrichtung spielt auch die örtliche Anordnung des gesamten Kranes eine entscheidende Rolle. Hierbei ist zu unterscheiden worauf ein Kran gegründet ist.

2.1.2.1.3 Örtliche Anordnung des Kranes

Die örtliche Anordnung eines Kranes ist die Positionierung des Unterbaus des Kranes auf der Baustelle. Es werden drei Varianten unterschieden:

Ortsfester Turmdrehkran: Bei ortsfesten Turmdrehkränen ist der Turmfuß stationär in einem Fundament eingespannt. Kranfundamente werden üblicherweise aus Beton gefertigt. Mögliche Ausführungsvarianten sind „Ortbeton-Einzelfundamente, Fertigteilelemente, bewehrte oder unbewehrte Schachtringe (oder) Bohrpfähle“ (Schach, 2008 S. 19).

Turmdrehkran mit Fahrwerk: Die fahrbare Lagerung ermöglicht neben einem horizontalen und vertikalen Transport von Lasten bezüglich Heben, Schwenken und Katzfahren noch ein Verfahren des gesamten Kranaufbaus. Man unterscheidet hier noch zwischen Gleisfahrwerk, Raupenfahrwerk, Reifenfahrwerk und Huckepacksystemen (Weinhold, 2011).

Turmdrehkrane auf Schwimmkörpern: Hierbei sind die Krane auf Booten oder schwimmenden Plattformen montiert. Es handelt sich wie bei den Turmdrehkränen mit Fahrwerk um einen mobilen Kran. Er ist nicht an eine bestimmte Örtlichkeit gebunden sondern kann mitsamt dem Unterbau unter Beachtung der Gegebenheiten frei innerhalb eines Gewässers bewegt werden.

Mit diesen Merkmalen (siehe Kapitel 2.1.2.1) kann ein Kran hinsichtlich seines Aufbaus, Bauweise und räumlicher Anordnung hinreichen charakterisiert werden. Weitere wichtige Angaben zu Kranen sind die Krankenngößen, welche die technischen Aspekte eines Kranes beschreiben.

2.1.2.2 Krankenngößen

Die Krankenngößen spielen bei der Auswahl eines Kranes für eine spezifische Arbeit eine sehr wichtige Rolle. Sie sind maßgebend für die Entscheidung der Planer, welcher Kran für eine bestimmte Baustelle geeignet ist.

Die wichtigsten Krankenngößen (Abbildung 7) sind:

- Hubhöhe (m)
- Ausladung (minimal und maximal) (m)
- Tragkraft (t)
- Lastmoment (mt) (König, 2008)

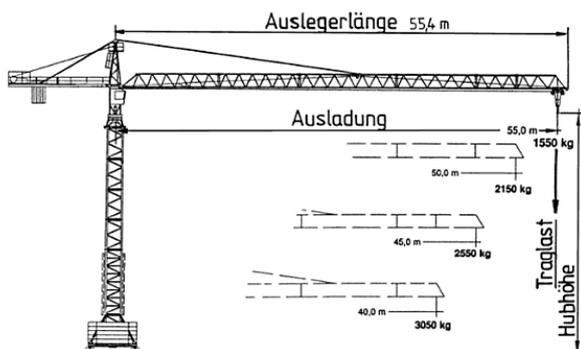


ABBILDUNG 7: HUBHÖHE, AUSLADUNG UND TRAGLAST EINES TURMDREHKRANS MIT KATZAUSLEGER

(Quelle: König, 2008 S. 34)

Im Folgenden werden die genannten Kenngrößen näher beschrieben.

2.1.2.2.1 Hubhöhe

Als Hubhöhe bezeichnet man die Differenz aus höchster Hackenstellung und der Oberkante der Fahrschiene beziehungsweise des Fundaments (Abbildung 7). Die Hubhöhe eines Kranes bestimmt auf welches Höhenniveau eine Last transportiert werden kann.

2.1.2.2.2 Ausladung

Die Ausladung bezeichnet die Stellung der Laufkatze im Bereich des Auslegers. Dabei wird die Entfernung zwischen Turm und Lage der Laufkatze gemessen. Spricht man von Krankengrößen sind jedoch vor allem die maximale und die minimale Ausladung entscheidend. Sie sind Maß für die größte und kleinste Entfernung zwischen Katze und Turm und bestimmen somit das Arbeitsfeld eines Kranes, den Bereich, welchen er bedienen kann.

2.1.2.2.3 Traglast

Die Traglast ist die maximale Last, welche ein Kran tragen kann. Ausschlaggebend ist die Last, welche der Kran bei maximaler Ausladung tragen kann, da dort das Moment am größten ist. Die maximalen Lasten, welche ein Kran tragen kann sind in Abhängigkeit von der Ausladung und Auslegerlänge in einer sogenannten Traglasttabelle (Abbildung 8) angegeben, welche für jeden Kran vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden muss.

Traglasttabelle

Ausl. länge m r	Tragl. max. m/kg	Ausladung und Traglast m/kg																		
		15,0	17,0	19,0	21,0	23,0	25,0	27,0	29,0	31,0	33,0	35,0	37,0	40,0	43,0	45,0	47,0	50,0	53,0	55,0
55,0 (r=56,4)	72-14,5 8000	7730	6720	5930	5290	4760	4310	3940	3610	3330	3080	2860	2670	2410	2190	2004	1940	1780	1640	1560
50,0 (r=51,4)	72-16,6 8000	8000	7830	6910	6180	5570	5060	4630	4250	3930	3640	3390	3170	2870	2620	2470	2330	2150		
45,0 (r=46,4)	72-17,0 8000	8000	8000	7100	6340	5720	5200	4760	4380	4040	3750	3490	3260	2960	2700	2550				
40,0 (r=41,4)	72-17,4 8000	8000	8000	7260	6510	5880	5340	4890	4500	4160	3860	3590	3360	3060						

ABBILDUNG 8: TRAGLASTTABELLE

(Quelle: König, 2008 S. 34)

2.1.2.2.4 Lastmoment

Das Lastmoment lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$\text{Lastmoment}[mt] = \text{Ausladung}[m] \cdot \text{Traglast}[t]$$

Eine Lastmomentkurve (Abbildung 9), welche den Momentenverlauf bei unterschiedlichen Ausladungen zeigt, ist für jede Auslegerlänge gegeben. Für verschiedene Ausladungen lassen sich dabei die maximal möglichen Lasten entnehmen (König, 2008).

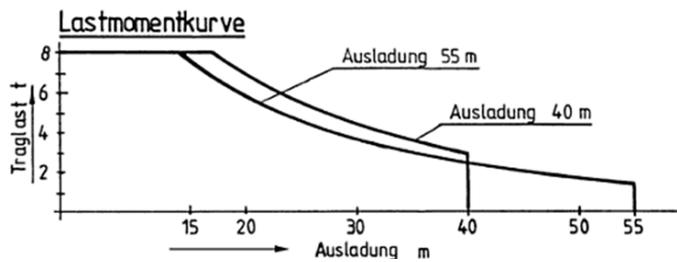


ABBILDUNG 9: LASTMOMENTKURVE EINES TURMDREHKRANS

(Quelle: König, 2008 S.34)

Die Kenngrößen eines Krans spielen bei der Auswahl für ein Bauvorhaben eine entscheidende Rolle, jedoch müssen Krane stets im Kontext mit *ihrer Umgebung* – der Baustelle, betrachtet werden. Vor allem mit Bezug auf die Materialbewegungen mittels Turmdrehkranen ist eben dieses Umfeld von sehr großer Bedeutung, da hier hinsichtlich der Wegefindung die Kollisionsfreiheit geprüft werden muss.

2.2 BAUSTELLEN

Eine Baustelle (Abbildung 10: Baustelle mit Turmdrehkranen) als das Arbeitsfeld des Turmdrehkrans „ist ein Platz, auf dem ein Bauwerk errichtet, umgebaut oder abgebrochen wird, einschließlich der zum Grundstück gehörenden oder anzupachtenden bauzeitlich genutzten Flächen. Hierzu zählen insbesondere die Arbeits- und Lagerflächen, die Stellflächen für Aufenthalts- und Sanitarräume, Magazine und Werkstätten sowie die Fahrwege und Wendeplätze“ (Wormuth, 2000 S.31).



ABBILDUNG 10: BAUSTELLE MIT TURMDREHKRANEN

(Quelle: Fraport AG, 2011)

Aus der Vielzahl an Flächen und Utensilien, welche für den Betrieb einer Baustelle unabdinglich sind, ergibt sich die Notwendigkeit eine Baustelle, insbesondere ihre Einrichtung, zu planen. Hieraus resultiert der bautechnische Aspekt der Baustelleneinrichtungsplanung.

3 BAUSTELLENEINRICHTUNG

Die Baustelleneinrichtung beschreibt die Örtlichkeit sowie benötigte Güter, ihre Positionierung, Menge und Vorhaltezeit. Dies spielt für die Wegefindung und Visualisierung von Kranarbeiten eine Rolle, da eben diese Bestandteile der Baustelleneinrichtung als potentielle Hindernisse der Materialbewegung anzusehen sind.

„Die Baustelleneinrichtung umfasst den Aufbau, Vorhaltung, Betrieb und Abbau der für die Bauausführung benötigten Hilfsmittel, insbesondere Baracken, Vorhaltegeräte, Lagerplätze, Bauzeitliche Verkehrswege, Absperrungen usw. Die räumliche Anordnung der Bestandteile der Baustelleneinrichtung wird in einem Baustelleneinrichtungsplan vorgenommen. Er ist Teil der Arbeitsvorbereitung“ (Wormuth, 2000 S.31).

Im Rahmen der Baustelleneinrichtung sind zunächst die Anforderungen an die Baustelle zu klären. Diese hängen vor allem von zwei Faktoren ab:

- Art des Bauvorhabens (z.B. Errichtung, Änderung oder Beseitigung eines Bauwerks, sowie Hochbau- oder Tiefbauprojekt)
- Größe des Bauvorhabens

Aufgrund entsprechender Angaben hierrüber muss festgestellt werden, welche Geräte und Materialien in welcher Menge, an welchem Ort, zu welchem Zeitpunkt, in welcher Qualität benötigt werden. Hierzu müssen die einzelnen Teilabläufe auf deren Bedarf an Geräten und Material untersucht werden. Eine möglichst genaue Bedarfsermittlung ist die Grundlage für eine funktionierende Baustelleneinrichtungsplanung.

Die Bedarfsermittlung wird in drei Schritte unterteilt:

1. Die benötigten Geräte und Materialien pro Teilablauf benennen,
2. Anforderungen der Baumaßnahme an Geräte und Materialien erfassen,
3. Leistungen von Geräten und Materialien zusammenstellen (Böttcher, 1997)

Um einen Baustelleneinrichtungsplan als Grundlage der Wegefindung für Kranarbeiten zu erstellen, sind zunächst die wichtigsten Bestandteile der Baustelleneinrichtung aufzuführen.

3.1 ELEMENTE DER BAUSTELLENEINRICHTUNG

Die im Folgenden aufgeführten Elemente sind nahezu auf jeder Baustelle des Hoch- und Tiefbaus aufzufinden. Sie dienen verschiedenen Zwecken (z.B. Transport, Versorgung, Fertigung etc.). Man kann sie in unterschiedliche Rubriken unterteilen:

- „Großgeräte: Krane, Betonpumpen, Bagger, Radlader, Misch- und Aufbereitungsanlagen sowie ggf. Geräte des Spezialbaus
- Sozial- und Büroeinrichtungen, Magazine: Büro-, Unterkunfts-, Sanitär- und Sanitätscontainer sowie sämtliche Magazine
- Verkehrsflächen und Transportwege: Baustraßen, Zu- und Ausfahrten, Werk- und Bearbeitungsflächen, Lager- und Stellflächen sowie Bauaufzüge
- Medienversorgung und Entsorgung
- Baustellensicherung: Beleuchtung, Bauzäune, Gerüste, Absturzsicherung, usw.
- Sonstige Elemente: Baugruben, Gräben, Verbaue, Böschungen, usw.“ (Schach, 2008 S.316)

Aufgrund der großen Vielfalt und Masse an Elementen der Baustelleneinrichtung, sowie der Individualität einer Baustelle ist eine Planung mit besonderer Sorgfalt notwendig. In der Planung müssen die erforderlichen Flächen und Wege aufeinander abgestimmt werden um ein reibungsfreies Zusammenwirken zu ermöglichen.

3.2 ABLAUF DER BAUSTELLENEINRICHTUNGSPLANUNG

Die Aufgabe der Baustelleneinrichtungsplanung ist es, die unterschiedlichen räumlichen Anordnungen der Elemente im Bauablauf zu erfassen und zu beschreiben. Dem Zusammenspiel wird dabei besondere Beachtung geschenkt. Die Baustelleneinrichtung muss in den einzelnen Planungsphasen bis ins Detail aufeinander abgestimmt sein. Nur so ist es möglich, dass eine Baustelle als Ganzes funktioniert.

Krane stellen oft den Mittelpunkt einer Baustelle dar. Sie sind sowohl maßgeblich für den Transport von Material verantwortlich als auch in Schalungs- und Betonarbeiten eine entscheidende Komponente. Aus diesem Grund sind sie auch im Zusammenhang mit dem Ablauf einer Baustelleneinrichtungsplanung besonders zu erwähnen. Es ist im gesamten Bauablauf sicherzustellen, dass der Transport mittels Kran nicht behindert wird. Da dies jedoch im Normalfall nicht machbar ist, greift die Wegefindung bei Kranarbeiten.

Das Ergebnis der Baustelleneinrichtungsplanung ist der Baustelleneinrichtungsplan. *Dieser bildet die Grundlage der Wegefindung mit dem Kran.*

3.3 DER BAUSTELLENEINRICHTUNGSPLAN

Der Baustelleneinrichtungsplan (Abbildung 11) ist das Instrument der Baustelleneinrichtungsplanung. In ihm werden die Elemente der Baustelleneinrichtung (siehe Kapitel 3.1) grafisch bezüglich Lage und Standfläche dargestellt.

Grundlage für den Baustelleneinrichtungsplan stellen meist Übersichtspläne von Architekten dar. Bei einem Gefälle von mehr als 2% bilden oft eingemessene Höhenpläne des Baugeländes die Ausgangsbasis. Im Allgemeinen kann man diesen Plänen Daten bezüglich der angrenzenden Bebauung, vorhandener Verkehrswege und Geländeunregelmäßigkeiten, wie zum Beispiel Gräben, Böschungen, Geländesprünge oder ähnliches, entnehmen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Lage und Geometrie des zu errichtenden Gebäudes sowie das Baufeld. Weitere Bestandteile des Baustelleneinrichtungsplanes sind:

- Geländeform
- Schützenswerte Vegetation
- Erschließungseinrichtungen des Baugeländes
- Grundstücksgrenzen
- Nachbarbebauung bzw. bereits vorhandene Bauwerke auf dem Baugelände
- Grundriss des zu errichtenden Gebäudes

In den maßstabsgetreuen Plan, welcher sowohl bereits vorhandene als auch zu errichtende Objekte enthält, sind die Elemente der Baustelleneinrichtung einzuzichnen.

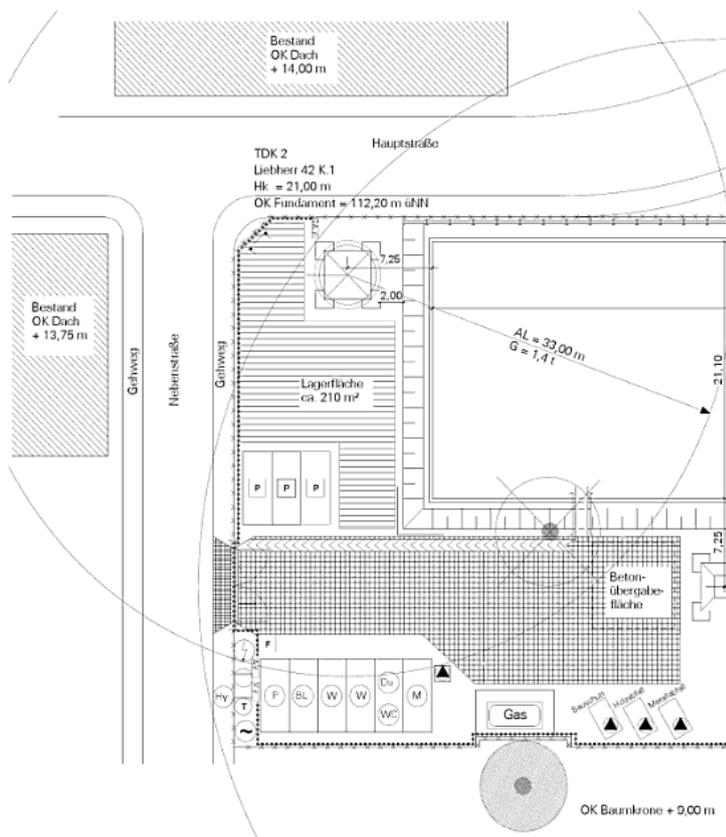


ABBILDUNG 11: BAUSTELLENEINRICHTUNGSPLAN MIT KRANSTANDORT UND ARBEITSBEREICH

(Quelle: Schach, 2008, S.323)

Ist während dem Bauverlauf ein Umsetzen von Elementen vorgesehen (z.B. Kran), so ist dies ebenfalls im Plan erkenntlich zu machen.

Auf Baustellen bei denen Krane bzw. Autobetonpumpen zum Einsatz kommen kann es eventuell von Vorteil sein eine *Schnittdarstellung* anzufügen, welche Höhen des zu errichtenden Bauwerks sowie Irritationen (z.B. Nachbarbauwerke, Vegetation,...) im direkten Arbeitsfeld aufzeigt (Schach, 2008).

Beim Erstellen der Baustelleneinrichtung bzw. des Baustelleneinrichtungsplans ist es wichtig die Geräte und Flächen, die Elemente der Baustelleneinrichtung, richtig zu Dimensionieren und zu Positionieren. Bezüglich der Positionierung eines Turmdrehkranes sind folgende Zuordnungskriterien zu beachten:

- „Alle Teile des Bauwerks müssen durch Hochbaukrane erreicht werden können
- Alle Lagerflächen müssen überstrichen werden
- Material sollte möglichst ohne Übergabe von Kran zu Kran transportiert werden können
- Entladung vom LKW muss möglich sein
- Jeder Kran sollte ein Arbeitsfeld mit gleicher Arbeitsintensität überstreichen
- Ausreichende Sicherheitsabstände sind einzuhalten“ (Schach, 2008 S. 319)

Da ein Kran auf Baustellen eines der wichtigsten Transportmittel darstellt, nur durch ihn ist meist ein vertikaler Transport von Lasten möglich, muss er genauer betrachtet werden um möglichst wirtschaftliche, effiziente und problemlose Abläufe zu gewährleisten.

3.4 ZENTRALES ELEMENT DER BAUSTELLENEINRICHTUNG: DER TURMDREHKRAN

Die meisten Arbeitsprozesse im Hoch- und Tiefbau sind abhängig von Transportvorgängen. Das gängige Gerät für eine vertikale und horizontale Lastbewegung ist in der Bauindustrie der Turmdrehkran. Im Schritt der Baustelleneinrichtungsplanung sind zwei wesentliche Parameter bezüglich Turmdrehkränen zu bestimmen. Erstens, *wie viele Krane* benötigt werden und zweitens, *welche Krane* für das Bauvorhaben erforderlich sind.

3.4.1 BESTIMMUNG DER KRANANZAHL

Hierfür wird die Baustelle hinsichtlich ihrer Ausdehnungen, der geplanten Laufzeit des Bauvorhabens und der Leistungsanforderungen untersucht und daraus die erforderliche Anzahl an Kränen ermittelt. In der Praxis gibt es verschiedene Verfahren, auf welche hier nicht weiter eingegangen wird. Beispielhaft ist die Methode nach den Verrichtungszahlen (Drees et al., 1980). Dabei werden alle Arbeiten erfasst, die einen Kran benötigen. Mit Hilfe der Verrichtungszeiten kann die Dauer, welche die Ausführung benötigt errechnet werden. Anschließend teilt man die Ausführungsdauer durch die gewünschte Bauzeit und erhält somit die erforderliche Kranzahl.

Ausgehend von der Kranzahl wird das Baufeld in verschiedene Sektoren eingeteilt, welche den Kränen als Arbeitsfeld zugeordnet werden. In diesem Feld muss ein geeigneter Standort für den Kran gefunden werden.

3.4.2 POSITIONIERUNG DER KRÄNE

Die räumliche Positionierung eines Kranes im Arbeitsbereich ist ein wesentlicher Bestandteil der Kranplanung. Dabei müssen Mindestabstände zu Gebäuden, Bedingungen für den Unterbau des Kranes (fahrbar und stationär), die Höhe des Kranes sowie die Gegebenheiten am Standort dringend beachtet werden. Gegebenenfalls sind bodenmechanische Untersuchungen durchzuführen. Die Standsicherheit ist ein wichtiger Faktor bei der Wahl des Kranstandorts, daraus resultiert, dass zum Beispiel ein Kran nicht direkt am Rande einer Böschung oder Baugrube aufgestellt werden darf. Ist eine Position mit geeigneten Abmessungen sowie bodenmechanischen Voraussetzungen unter Beachtung der standortspezifischen Gegebenheiten gefunden, ist ein Kran auszuwählen.

3.4.3 DIMENSIONIERUNG DER KRÄNE

Der Ausleger des Kranes soll das gesamte Arbeitsfeld überdecken und so jeden einzelnen Punkt der im Feld liegt bedienen können. Es wird geprüft, welcher Krantyp an welchem Standort für den Sektor und das Bauvorhaben geeignet ist. Die Auswahlkriterien (Abbildung 12) hierfür beziehen sich vor allem auf die benötigte Turmhöhe, die Lichtraumprofile unten und oben, Kranaufbau, Traglast und Auslegerlänge (Böttcher, 1997).

Kriterium		Baulemente					Bauarten			
		Ausleger			Turm		Fahrbar	Stationär	Turmkletterer	Stockwerk
		Katz	Nadel	Knick	Obendreher	Untendreher				
Höhe	<50m									
	<100m									
	>100m									
Lichtraum	unten klein									
	oben klein									
Aufbau	einfach									
Traglast	hoch									
Ausleger	lang									

sinnvoll	möglich	wenig sinnvoll
----------	---------	----------------

ABBILDUNG 12: AUSWAHLKRITERIEN FÜR TURMDREHKRANE

(Quelle: Böttcher, 1997 S. 64)

Die Eignung eines Kranes für ein bestimmtes Bauvorhaben ist ferner von den Faktoren „Abmessung des Kranes (Höhe und Weite), maximale Last (kN) am Haken, Kosten pro Monat, Rüstzeit, Frachtkosten und Leistung (z.B. m³/h)“ (Böttcher, 1997 S. 65) abhängig.

Anschließend an die Ermittlung der Kranzahl, des Kranstandorts und Auswahl eines geeigneten Krantyps einschließlich Ausladung und Turmhöhe, müssen diese, um einen umfassenden Überblick über den Kraneinsatz zu liefern, dargestellt werden.

3.4.4 DER KRANEINSATZPLAN

Die Darstellung und somit Veranschaulichung der kranspezifischen Einsätze geschieht mittels des Kraneinsatzplans. Dieser verfolgt das Ziel einen möglichst wirtschaftlichen und reibungslosen Ablauf der Kranarbeiten zu gewährleisten. Für die Kräne der Baustelle werden verschiedene Einsatzzustände definiert:

- Kran befindet sich im Einsatz,
- Kran ist frei auf der Baustelle sowie
- Kran ist frei auf der Baustelle, ein Einsatz ist jedoch geplant.

Ähnlich dem Bauablaufplan wird auch der Kraneinsatzplan in Balkendiagrammen dargestellt. In ihnen kann man jederzeit ablesen, welcher Kran sich zu welcher Zeit in welchem Einsatzzustand befindet (Bargstädt et al., 2004).

4 MATERIALBEWEGUNG MIT EINEM TURMDREHKRAN

Sind Kranzahlen sowie Krantypen ausreichend dimensioniert und positioniert, sowie die Einsätze geplant, so kann man zur Bauphase übergehen. In dieser Phase stehen die Bauabläufe im Vordergrund. Welche Arbeiten sind nacheinander bzw. synchron auszuführen? Hierfür werden noch vor Baubeginn detaillierte Ablaufpläne von Planern erarbeitet, an welche man sich stets halten sollte, um keine Verzögerungen oder Störungen im Bauablauf hervorzurufen. Da im Umfang dieser Arbeit speziell die Materialbewegung mit einem Turmdrehkran betrachtet wird, sind auch nur diejenigen Bauabläufe entscheidend, welche den Kran als zentrales Element einer jeder Baustelle in seinem gesamten Arbeitsbereich mit einbeziehen.

4.1 ARBEITSFELD EINES KRANES

Wenn man vom Arbeitsfeld eines Kranes spricht, so meint man das Teilgebiet einer Baustelle, in seltenen Fällen auch die gesamte Baustelle, welches vom Kran erreicht werden kann. In diesem Feld ist es dem Kran möglich Lasten auf- und abzuladen. Der Ausleger mit der maximalen und minimalen Ausladung ist ein entscheidender Faktor für die Abmessungen des Arbeitsfeldes, da er das Arbeitsfeld vollständig überdeckt und bestimmt, welche Bereiche bedient werden können. Jedoch ist es meist in der Realität nicht möglich, beziehungsweise nicht erlaubt, den gesamten Bereich, welcher über die Faktoren minimale und maximale Ausladung beschränkt ist, mit Material zu überschwenken sowie dort Material auf- oder abzuladen. In diesen Fällen spricht man von einer Arbeitsbereichsbegrenzung (Abbildung 13) für Turmdrehkrane. Dies spielt im Kontext der Bachelorarbeit bezüglich der Wegefindung bei Kranarbeiten eine entscheidende Rolle. Ein eingeschränkter Arbeitsbereich bietet stets die Gefahr einer möglichen Kollision, um diese zu umgehen muss detailliert geprüft werden, ob ein bestimmter Weg wirklich möglich ist.

Dabei wird der theoretisch mögliche Arbeitsbereich in zwei Typen von Flächen eingeteilt:

- Tatsächliche Arbeitsbereiche und
- gesperrte Bereiche.

Tatsächliche Arbeitsbereiche sind diejenigen Flächen, im Drehbereich des Auslegers, welche mit dem Haken beziehungsweise mit angehängter Last überstrichen werden dürfen. Beispiele hierfür sind die Baustellenfläche auf denen Bauarbeiten ausgeführt werden sowie Lager-, Stell- und Anlieferungszone.

Gesperrte Bereiche hingegen dürfen nicht vom Haken und angehängten Lasten überflogen werden. Zu solchen Bereichen zählen zum Beispiel Bahntrassen auf denen eine Gefährdung des öffentlichen Verkehrs nicht ausgeschlossen werden kann sowie die dazugehörigen

Oberleitungen, stark befahrene Straßen (z.B. Autobahnen) sowie andere empfindliche Bereiche wie Militärflächen, Tankstellen oder Fußgängerbereiche (Eckhardt, 2004).

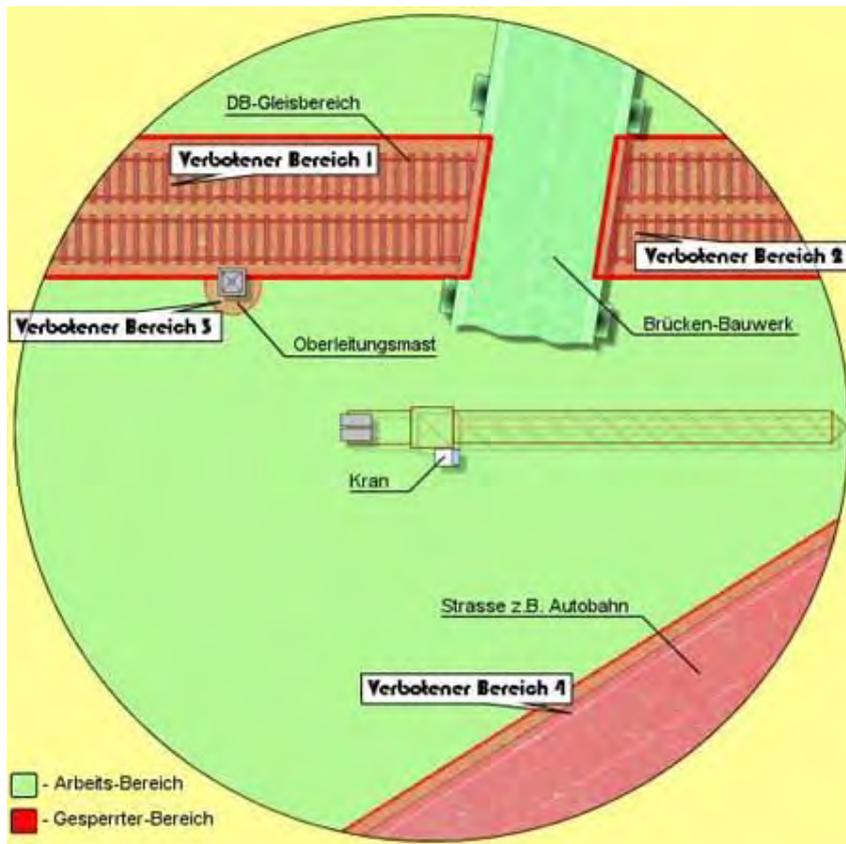


ABBILDUNG 13: ARBEITSBEREICHSBEGRENZUNG BEI EINEM TURMDREHKRAN

(Quelle: Eckhardt, 2004)

Das Arbeitsfeld eines Kranes ist ein entscheidender Faktor bei der Materialbewegung, da es eben diese einschränkt. Befindet sich z.B. ein zu bewegendes Material außerhalb des Arbeitsfeldes, so kann der Kran es nicht erreichen und somit findet eine Materialbewegung ohne vorherige Lieferung ins Arbeitsfeld nicht statt. Ebenso wie von dem Arbeitsbereich hängt der Materialtransport noch von einem weiteren Parameter ab und zwar der Art des Transportguts.

4.2 TRANSPORTGÜTER BEI TURMDREHKRANEN

Ein Turmdrehkran wird hauptsächlich zum Transport von Baumaterialien, Baustoffen und Bauwerkzeugen eingesetzt (Abbildung 14). Seine Aufgabe ist es vertikale bzw. horizontale Strecken zu überwinden. Die Transportvorgänge sind abhängig von dem Transportgut, da nur bei Kenntnis des Transportguts, seines Gewichts, der Abmessungen und Eigenschaften eine Aussage darüber getroffen werden kann ob und wohin ein Transport auf welchem Weg überhaupt möglich ist.



ABBILDUNG 14: KRANARBEITEN - TRANSPORT VON BAUMATERIALIEN

(Quelle: Haucke, 2010)

Die Hauptarbeiten, die beim Bauen, von einem Kran ausgeführt werden können sind:

- Betonarbeiten (Transport von Beton in Kübeln, welche an den Haken angehängt werden)
- Stahltransport (z.B. Transport von Stahlmatten oder Bewehrung)
- Umsetzen/ Transport von Baumaterialien, Mauersteinen, Dachziegeln, Trockenbaustoffen etc.
- Montage von Dachstühlen
- Transport von Schalungselementen
- Einbringen von Fertigteilelementen (z.B. Balkonfertigteile) etc.

Jedoch ist dies nicht alles, ein Kran ist ein „Multitalent“, ihm stehen enorme Möglichkeiten offen, was den Transport von Objekten betrifft. Die Transportgüter haben dabei erheblichen Einfluss auf die Spielzeiten eines Kranes.

4.3 KRANSPIEL

Die Spielzeiten bzw. das Kranspiel bestimmt maßgeblich den Ablauf der Materialbewegung und hat somit direkten Einfluss auf die Animation des Materialtransports. Die ungleichmäßige Arbeitsweise von Kränen führt dazu, dass für jedes Vorhaben individuell die Spielzeit berechnet werden muss. Diese ist abhängig von der Art des Vorgangs, vom Material, von der zu überwindenden Distanz, Geschwindigkeit der jeweiligen Bewegungen sowie von einer

möglichen Parallelausführung der Bewegungen, z.B. Katzfahren und Schwenken. Das Spiel eines Kranes kann in die im folgendem aufgeführten Teilvorgänge eingeteilt werden, wobei nicht zwingend bei einer Materialbewegung jeder dieser ausgeführt werden muss:

- Heben
- Senken
- Schwenken
- Katzfahren bzw. Auslegerheben
- Kranfahren (nur bei fahrbaren Kranaufbauten angesetzt)
- Beladen
- Entladen

Die Teilvorgänge Beladen und Entladen werden dabei als konstant angenommen, wobei bei den vorher genannten jeweils die Strecke und Geschwindigkeit mit einzubeziehen ist.

4.4 EINZELVORGÄNGE DES KRANSPIELS

4.4.1 BELADEN

Unter dem Vorgang des Beladens versteht man die Zeit, welche benötigt wird, um das zu befördernde Material so zu befestigen und zu sichern, dass es transportfähig ist. Je nach Materialart ist dieser Vorgang unterschiedlich. Die Zeit für das Beladen wird als konstant angesetzt. Besonders zu beachten ist dabei, dass sich das Transportgut im Gleichgewicht befindet, ausreichend gesichert ist sowie das Tragemittel überprüft ist. Nur wenn davon ausgegangen wird, dass alles ordnungsgemäß ist, darf mit dem Transport begonnen werden.

4.4.2 HEBEN/SENKEN

Das Heben bzw. Senken (Abbildung 15) ist die vertikale Materialbewegung eines Kranes und ist nötig um das Material auf die gewünschte Höhe zu bringen oder um Hindernisse (Gebäudeteile, Bäume, etc.) zu überwinden. Die Zeit der Vorgänge ist abhängig von der zu bewältigenden Höhendifferenz.

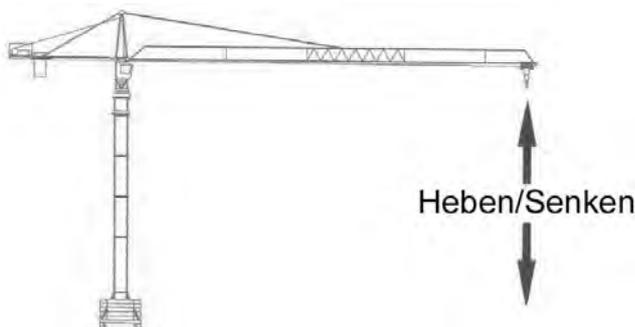


ABBILDUNG 15: HEBEN UND SENKEN BEI TURMDREHKRANEN

4.4.3 KATZFAHREN BZW. AUSLEGERHEBEN

Katzfahren ist die Bewegung der Last, welche am Haken befestigt ist, entlang des Lastauslegers (Abbildung 16) durch eine Laufkatze. Bei Biegekränen geschieht diese Bewegung entlang der Achse des Lastauslegers in Kombination mit einer vertikalen Bewegung durch steiler bzw. flacher stellen des Auslegers.

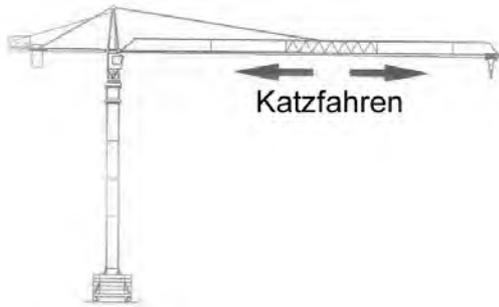


ABBILDUNG 16: KATZFAHREN BEI TURMDREHKRANEN

4.4.4 SCHWENKEN

Unter Schwenken versteht man die radiale Bewegung des Materials (Abbildung 17). Den Mittelpunkt stellt dabei die Achse des Baumes dar. Der Schwenkradius ist die Ausladung. Als Einheit für die Strecke der Bewegung wird der Drehwinkel angegeben.

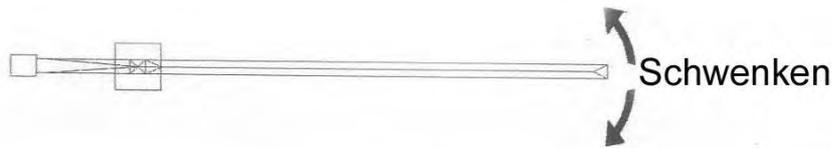


ABBILDUNG 17: SCHWENKEN BEI TURMDREHKRANEN

4.4.5 KRANFAHREN

Kranfahren (Abbildung 18) spielt nur eine Rolle, falls von einem fahrbar montierten Kran auf Schienen oder ähnlichen die Rede ist. Als Kranfahren bezeichnet man dann die Bewegung des Kranes entlang der Schienen.



ABBILDUNG 18: KRANFAHREN BEI EINEM AUF EINE GLEISANLAGE MONTIERTEN TURMDREHKRAN

4.4.6 ENTLADEN

Ist das Material am geplanten Standort mittels der zuvor genannten Vorgänge angekommen geht es an das Entladen. Sobald der Kran von der Last befreit ist, ist auch dieser Vorgang abgeschlossen und das Kranspiel kann von neuem beginnen, wobei der Weg zum neuen Beladungsort zu berücksichtigen ist.

Aufgrund der unterschiedlich langen Strecken und der unterschiedlichen Geschwindigkeiten mit denen die Bewegungen von verschiedenen Kränen ausgeführt werden, sind auch die Zeiten der Abläufe variabel. Die Zeiten welche ein Kran für einen Vorgang (z.B. Transport von Schalungselementen von der Lagerstätte bis zum Einbauort) benötigt, können berechnet werden.

4.5 VERFAHREN ZUR BERECHNUNG DES KRANSPIELS

Die genaue Angabe von Spielzeiten von Kränen ist wichtiger Bestandteil der Bauplanung und Grundlage der Bauausführung. Sie sind je nach Strecken des Transports und Typ des Transportguts variabel. Die Berechnung von Spielzeiten beruht auf der Wegefindung und ist Grundlage von Echtzeitvisualisierungen. Obgleich in der automatisierten Wegefindung und Visualisierung im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter auf die Zeiten, welche ein Kran für die Transporte benötigt eingegangen wird, möchte ich sie hier ergänzend erwähnen, jedoch nicht weiter beschreiben. Aufgrund der Wegefindung, also Berechnung und Darstellung des Weges, welchen ein Kran beim Transport eines Materials bestreicht, könnte auch ohne größere Schwierigkeiten eine Berechnung des Kranspiels abgeleitet werden. Zum Berechnen der Spielzeiten haben sich im Laufe der Zeit zwei Verfahren durchgesetzt, das Verfahren nach dem kritischen Weg sowie das Verfahren nach Meyran (Meyran, 1973). Beide basieren auf einer vorherigen Wegefindung.

Zur Wegefindung soll nun, da alle grundlegenden Abläufe und Probleme dargestellt sind im Rahmen dieser Bachelorarbeit eine Lösung gefunden werden. Mit Hilfe der nötigen Eingabe von Parametern bezüglich der Krane, Transportgut und Hindernissen soll automatisiert durch ein Programm der Weg berechnet und anschließend visualisiert werden.

5 ERSTELLEN DES PROGRAMMS

Die rechnergestützte Abbildung von Baustellenprozessen, sowie die Simulation stellt oft durch die Analyse geometrischer Konstellationen in dynamischen Vorgängen eine fundierte Grundlage für Machbarkeitsstudien dar. Die Wegefindung und Visualisierung von Kranbewegungen verfolgt das Ziel der Unterstützung bei Bauprozessen durch automatisierte Kranprozesse. Desweiteren wird versucht ein besseres Verständnis der Materialbewegung auf einer Baustelle durch eine Visualisierung der Ergebnisse zu bilden (Dori & Borrmann, 2011).

5.1 MOTIVATION

Ein Tool, welches automatisch einen *kollisionsfreien Weg* berechnet und die Kranarbeiten visualisiert bietet der Bauindustrie enorme Vorteile, da es zu einer enormen Zeitersparnis führt. In diesem Gewerbe ist dies sehr wichtig, da der Faktor Zeit Haupteinflussfaktor für die Kosten ist. Des Weiteren verschafft ein solches Tool a priori die Möglichkeit kritische Aufgaben zu prüfen, darzustellen und noch vor Beginn der Arbeiten mögliche Konfliktpunkte sowie Kollisionspunkte zu erfassen.

Um dies zu gewährleisten sollte auf einige Aspekte besonderer Wert gelegt werden:

- Benutzerfreundliche Navigation
- Transparenz und Datenkontrolle
- Zukunftsorientiertheit und Anpassungsfähigkeit
- Prozessdarstellung
- Schnelligkeit und Effektivität.

5.2 DOKUMENTATION

Im Rahmen der Dokumentation werden umfassend die Arbeitsschritte und Überlegungen dargestellt, welche zu dem resultierenden Tool geführt haben.

Ergänzend zu einer in-Code-Dokumentation mittels auskommentierten Beschreibungen der jeweiligen Anweisungen (*Beschreibung*) werden hier die grundlegenden Abläufe des Programmes Schritt für Schritt erklärt.

Als Entwicklungsumgebung zur Implementierung des Programmtools diente Visual Studio 2010. Die objektorientierte Programmiersprache VisualBasic.Net wurde verwendet um eine Windowsanwendung mit grafischer Benutzeroberfläche zu erschaffen. Zunächst mussten Überlegungen dazu getroffen werden, welche Werte auf welche Weise eingelesen werden und was für ein Ergebnis zu erwarten ist.

Die manuelle beziehungsweise interaktive Eingabe der Variablen im Bezug auf den Kran, Hindernisse (gesperrte Bereiche), das zu transportierende Objekt sowie dessen Position und die des Zielpunktes sollen im Programm so verarbeitet werden, dass ein *kollisionsfreier Weg* entsteht und *visualisiert* wird (Abbildung 19).

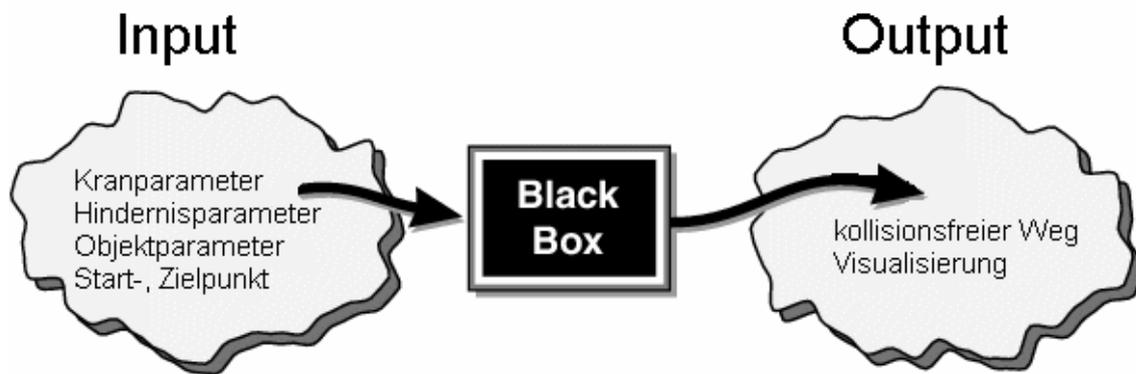


ABBILDUNG 19: VERARBEITUNG VON EINGABEWERTEN DURCH EIN PROGRAMM

5.2.1 EINFLUSSGRÖßEN

Die variablen Einflussgrößen oder auch Eingabeparameter machen einen Großteil des Programmes aus. Dabei ist zunächst zu bestimmen, welche Parameter nötig sind um einen *kollisionsfreien Weg* des Kranes zum Materialtransport *automatisiert* zu berechnen.

5.2.1.1 Kranparameter

Der Kran als Mittelpunkt des Tools ist maßgebend dafür, welche Materialbewegung überhaupt ausgeführt werden kann und welche Hindernisse eventuell Einfluss auf die Bewegung haben. Das Arbeitsfeld des Kranes sagt aus, von wo nach wo ein Transport stattfinden kann. Bestimmt wird dies durch die *maximale Ausladung* sowie die *Abmessungen des Fundaments*, welches die minimale Ausladung darstellt. Daraus folgt, dass nur in diesem durch zwei Kreise definierten Bereich gearbeitet werden kann. Befindet sich ein Objekt außerhalb des definierten Bereichs oder soll nach außen bewegt werden so ist dies ohne Antransport bzw. nachfolgenden Weitertransport nicht möglich.

Bei diesem Programm sind sowohl *Geschwindigkeitsparameter* als auch die *Traglast* eines Kranes vernachlässigt worden.

5.2.1.2 Hindernisparameter

Als Hindernisse werden Objekte gesehen, welche einen Transport von Stoffen mittels Kran einschränken. Mögliche Störobjekte können zum Beispiel bestehende Bebauung, Vegetation, topographische Formationen, Strom- und Versorgungsleitungen etc. sein.

Im Programmtool wird nur auf die *zweidimensionalen* Abmessungen eingegangen, da eine 3D-Betrachtung im Rahmen dieser Bachelorarbeit zu umfangreich ist.

Dargestellt werden die Hindernisse oder Störkörper als *Polygone* mit n-Ecken und fester Lage im Baufeld. Die Möglichkeit, dass der Kran das Objekt eventuell über das Hindernis heben kann wurde außer Acht gelassen.

5.2.1.3 Objektparameter

Unter Objektparameter versteht man die Parameter, welche sich auf das zu transportierende Objekt oder Material beziehen. Das Objekt wird ebenfalls als *Polygon* angenommen. Eine weitere Rolle kommt aber hierbei dem *Schwerpunkt* zu, da dieser beschreibt wo das Objekt am Haken fixiert/befestigt wird. In unserem Fall kommt dem Schwerpunkt weiter die Bedeutung zu, dass hier der Materialtransport startet. Er ist somit *Startpunkt* der Materialbewegung. Der *Zielpunkt* ist ebenfalls Parameter des gesamten Ablaufs und wird mit x- und y-Koordinate erfasst.

Da eine manuelle bzw. interaktive Eingabe dieser Einflussgrößen vorgesehen ist, muss zunächst das Werkzeug einer solchen geschaffen werden.

5.2.2 BESCHREIBUNG DER PROGRAMMABLÄUFE

Bei Starten des Programmes wird eine grafische Benutzeroberfläche geöffnet. Diese ist in zwei Bereiche unterteilt. Auf der rechten Seite befinden sich die Buttons und Eingabefelder zur Eingabe der Parameter sowie zur Aufforderung Berechnung und Visualisierung auszuführen. Auf der linken Seite ist ein Grafikfenster angeordnet, welches zur Visualisierung von den Parametern Kran, Hindernisse, Objekt, Start- und Zielpunkt eingesetzt wird sowie nach Berechnung den Weg und die Visualisierung der Materialbewegung zeigt (Abbildung 20).

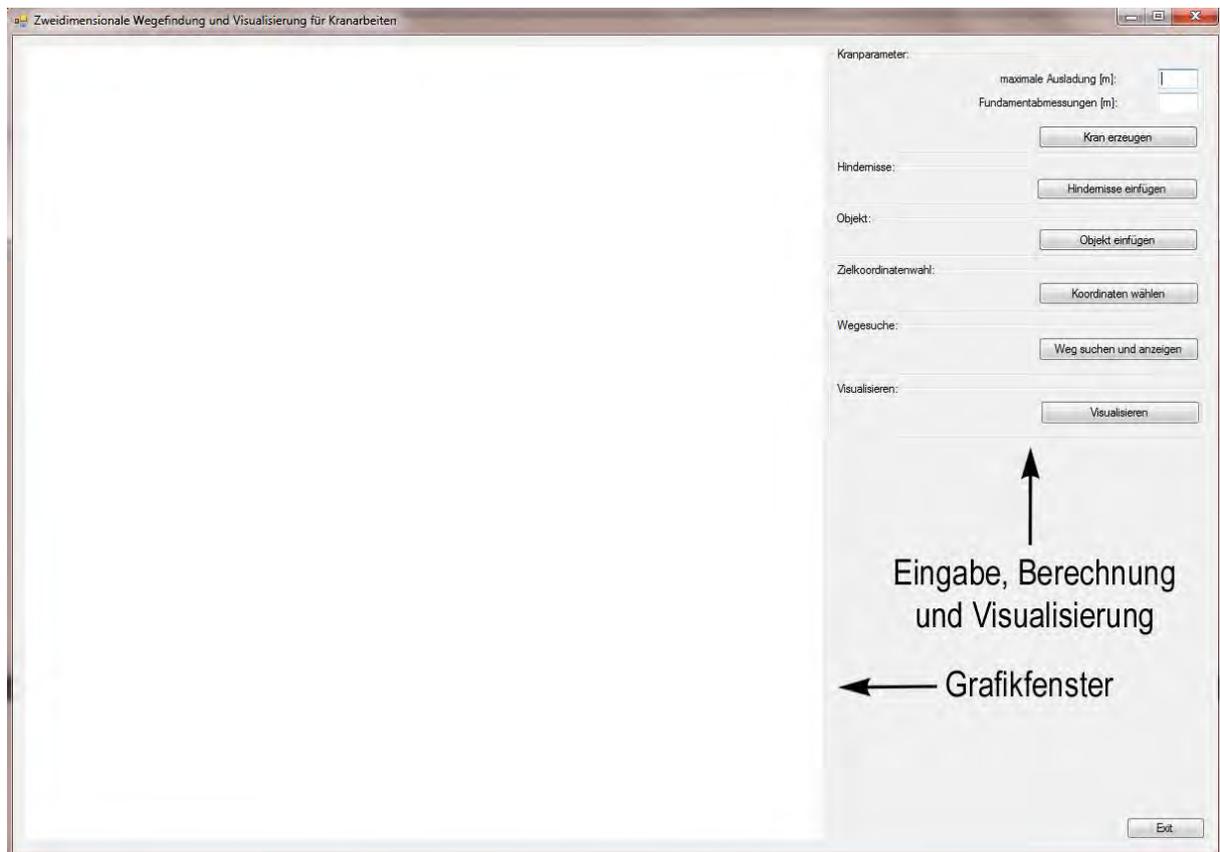


ABBILDUNG 20: GRAFISCHE BENUTZEROBERFLÄCHE DES PROGRAMMS

Die Kranparameter Ausladung und Fundamentabmessungen werden zuerst in die Textfenster eingegeben (Abbildung 21).



ABBILDUNG 21: EINGABE DER KRANPARAMETER

Durch Bestätigen der Eingabe werden sie im Grafikfenster durch ein Rechteck im Zentrum des Fensters als Kranfundament sowie eine Linie und einen rot-gestrichelten Kreis welche den

Kran ausleger bzw. den Arbeitsbereich des Krans symbolisieren automatisch dargestellt (Abbildung 22).

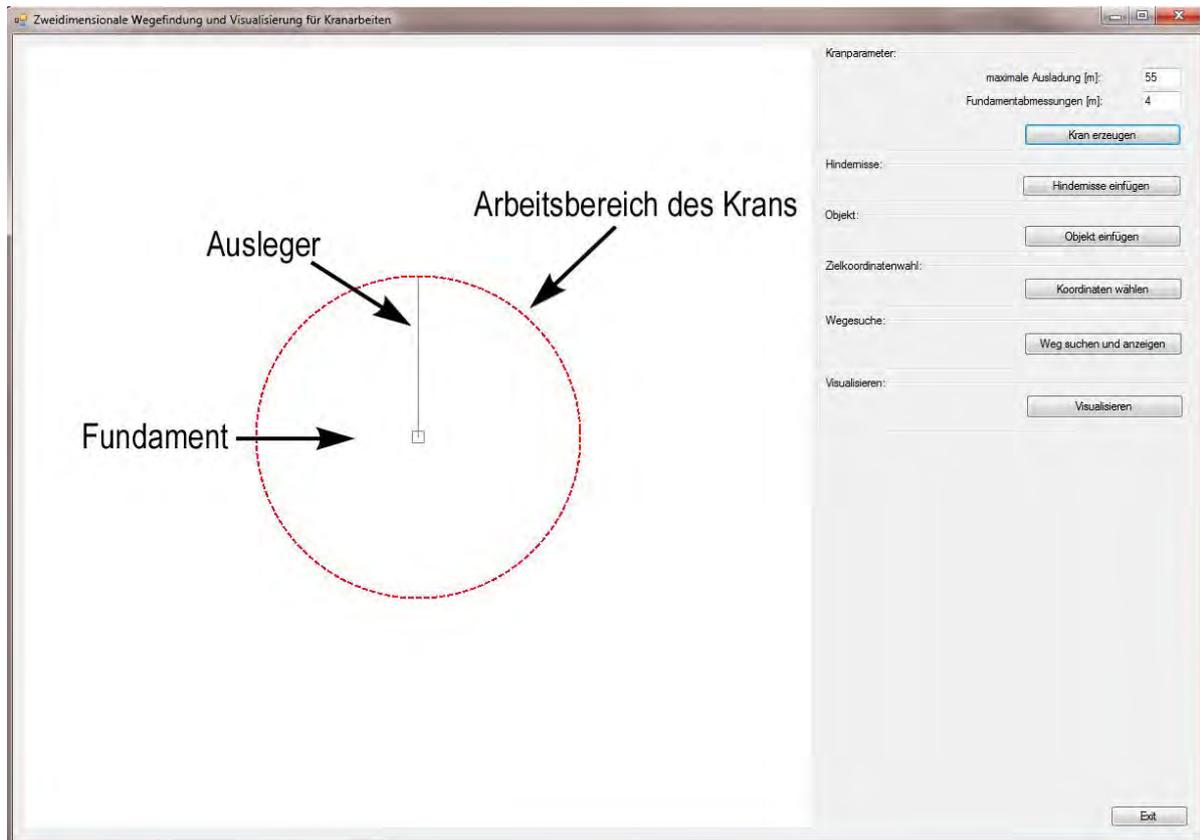


ABBILDUNG 22: ABBILDUNG DER KRANPARAMETER IM PROGRAMM

Anschließend an die Ermittlung und Darstellung der Krangrößen können durch Aktivieren der Funktion Hindernisse einfügen, diese erzeugt werden. Durch Linksklick ins Grafikfenster an Stelle der gewünschten Position der einzelnen Knoten entsteht durch Wiederholen des Vorganges ein Polygon. Mit Rechtsklick kann man das als Polygon abstrahierte Hindernis schließen. Das Vorgehen kann beliebig oft wiederholt werden.

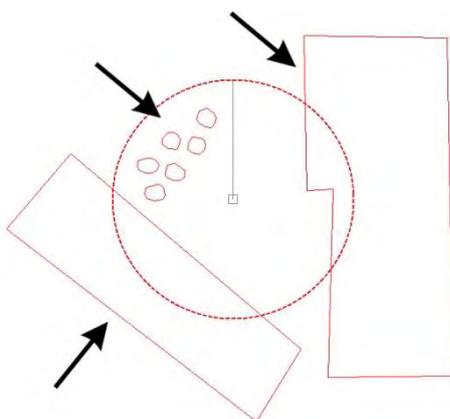


ABBILDUNG 23: DARSTELLUNG DER HINDERNISSE

Sind schließlich alle Hindernisse, welche im Programm betrachtet werden möchten eingefügt (Abbildung 23), so fährt man mit dem Einlesen des Transportguts fort. Der Vorgang ist analog dem, zum Erzeugen eines einzelnen Hindernisses. Automatisch berechnet das Programm nach Schließen des Objektes den Schwerpunkt (Abbildung 24).

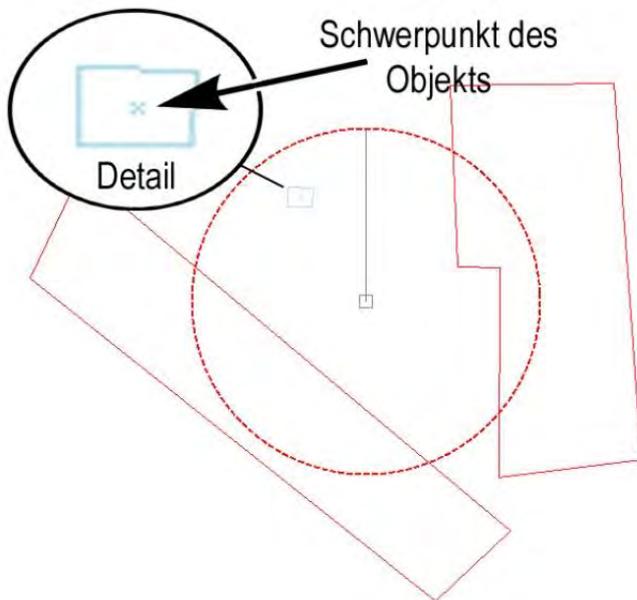


ABBILDUNG 24: OBJEKT MIT ZUGEHÖRIGEM SCHWERPUNKT

Dieser ist wichtig da er die Grundlage einer Kontrollstruktur ist. Diese liefert eine Fehlermeldung, falls sich der Schwerpunkt des Objektes außerhalb des Arbeitsbereichs des Krans befindet und fordert den Benutzer auf neue Schwerpunktkoordinaten mittels Klicken in das Grafikfenster zu wählen. Das Objekt wird an den neuen Koordinaten eingefügt.



ABBILDUNG 25: FEHLERMELDUNG - SCHWERPUNKT NICHT IM ARBEITSBEREICH DES KRANS

Das Ergebnis ist dementsprechend ein mit dem Schwerpunkt innerhalb des Arbeitsbereichs des Krans platziertes Objekt. Des Weiteren stellen die Koordinaten des Schwerpunktes auch den Startpunkt des Materialtransports dar und sind für spätere Berechnungen wichtig. Der letzte Parameter welcher dem Programm übergeben werden muss, ist der Zielpunkt des Materialtransports. Dieser wird durch Klicken ins Grafikfenster gewählt. Auch hier ist ähnlich wie bereits beim Objekt eine Kontrollstruktur vorhanden, welche eine Meldung liefert falls der Zielpunkt nicht in Reichweite des Krans liegt (Abbildung 26). Es muss gegebenenfalls ein neuer Punkt gewählt werden.

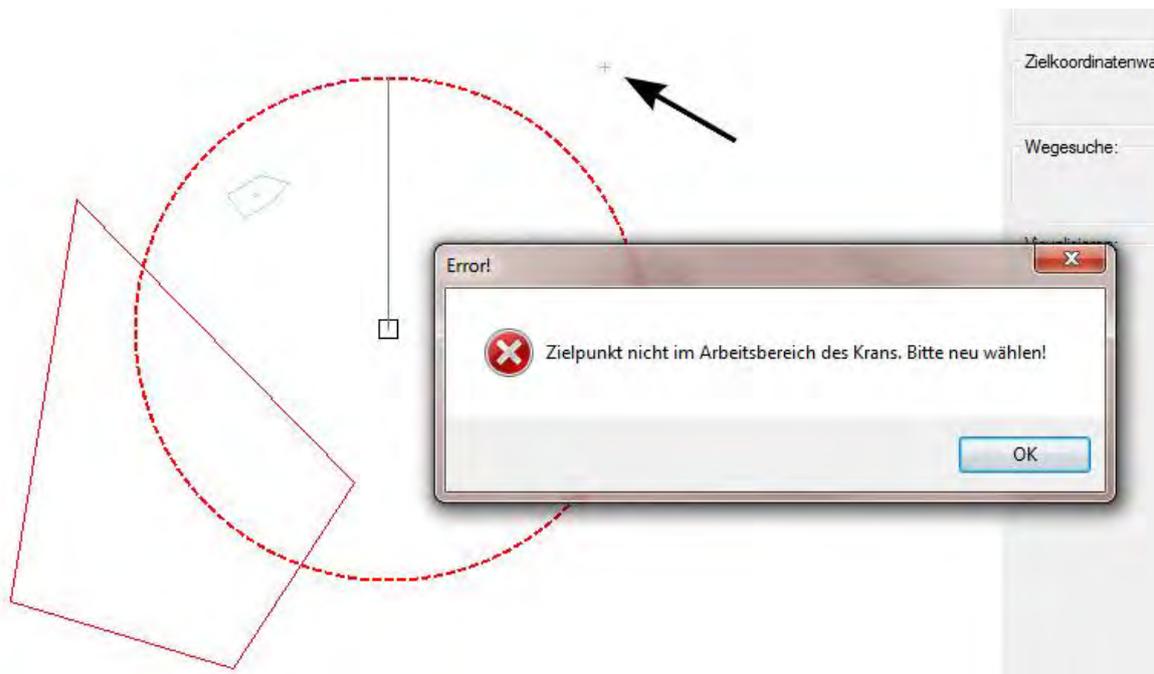


ABBILDUNG 26: FEHLERMELDUNG - ZIELPUNKT NICHT IM ARBEITSBEREICH DES KRANS

Mit der Eingabe des gültigen Zielpunktes sind nun alle Größen dem Programm übergeben, welche zur nachfolgenden Berechnung erforderlich sind.

Die Berechnung des Weges des Materialtransportes startet mit der Aufforderung des Benutzers. Das Programm führt dann bis zur Anzeige des Weges alle nötigen Berechnungen automatisch durch. Zunächst wird der Bereich bestimmt in welchem eine potenzielle Kollision zu Beginn geprüft wird. Beim Materialtransport mittels Turmdrehkran ist der gesamte Bereich, welchen das Objekt beim Schwenken und Katzfahren überstreicht zu testen. Im Folgenden werden diese Bereiche als Abtastbereich bezeichnet. Der Abtastbereich der Drehbewegung ist definiert als Bereich zwischen minimalen und maximalen Abstand des Transportguts vom Kranstandort (Abbildung 27). Beim Katzfahren wird das gesamte Gebiet welches das Objekt mitsamt seiner Abmessungen überfliegt getestet.

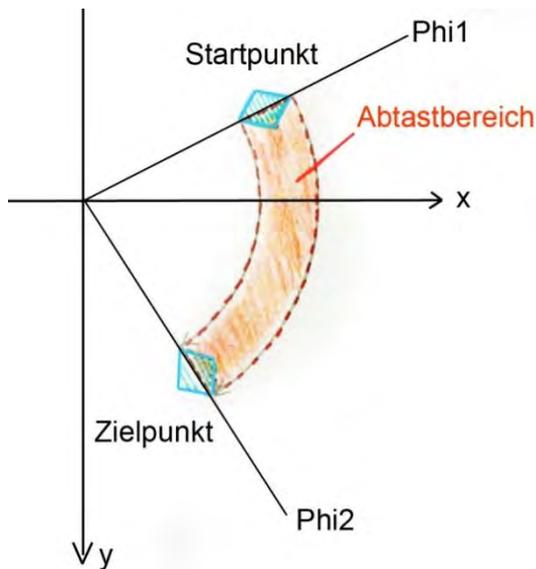


ABBILDUNG 27: DEFINITION DES ABTASTBEREICHS

Betrachtet man die Drehbewegung, so sind φ_1 und φ_2 die Winkel zwischen Start- bzw. Zielpunkt und der positiven x-Achse, der Zwischenwinkel der beiden ist jeweils der Winkel $\leq 180^\circ$ im Uhrzeigersinn. Der minimale bzw. der maximale Abstand des Transportguts vom Kranstandort ist abhängig von den Entfernungen zwischen Start- bzw. Zielpunkt und dem Kranstandort. Bei einem Transport mittels Turmdrehkran wird stets ein möglichst kleiner Schwenkradius bezüglich des Start- und Zielpunktes gewählt, da bei kleinem Radius geringere Lasten auf den Kran wirken. Aufgrund dessen wird also der kleinere Abstand als Schwenkradius zu Beginn der Berechnungen verwendet (Abbildung 28). Eine Bewegung radial zum Kran wird durch Katzfahren realisiert.

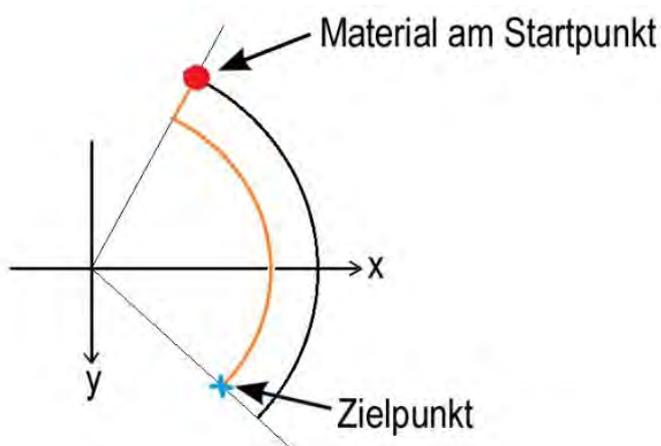


ABBILDUNG 28: WAHL VOM SCHWENKRADIUS

Nun muss der gesamte Abtastbereich um den Schwenkradius auf eine mögliche Kollision getestet werden. Dabei werden alle Bogenstücke, welche sich im Abtastbereich befinden auf einen Schnitt mit allen Kanten aller Hindernisse untersucht. Liegt keine Kollision vor, so ist

schon der optimale Schwenkradius gefunden. Liegt eine Kollision vor, so wird der Abtastbereich Stück für Stück weiter in Richtung Kranstandort verschoben und immer wieder getestet. Dies geschieht solange bis ein kollisionsfreier Weg gefunden ist oder die minimale Ausladung, welche durch die Fundamentabmessung begrenzt ist, erreicht wurde. Ist letzteres der Fall, so werden noch die Wege geprüft, welche weiter vom Kranstandort entfernt sind als der Schwenkradius zu Beginn. Im Normalfall liefert eines dieser zwei Verfahren einen optimalen Schwenkradius, dieser wird angezeigt (Abbildung 29).

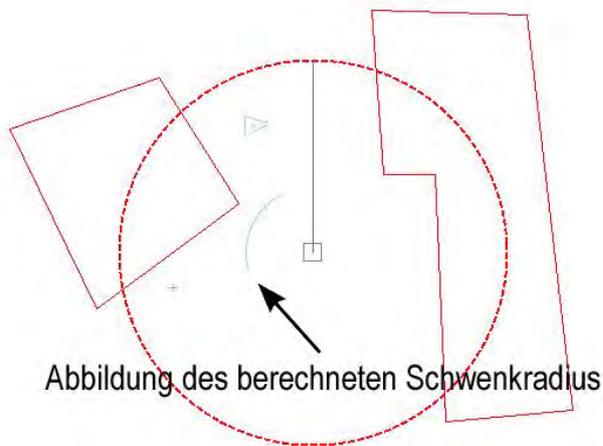


ABBILDUNG 29: VISUALISIERUNG DES SCHWENKRADIUS

Ist es jedoch in seltenen Ausnahmefällen nicht der Fall, so wird der größere Schwenkwinkel gewählt. Das Vorgehen zur Prüfung verläuft analog. Der Abtastbereich muss gegebenenfalls wieder verschoben werden. Der optimale Radius wird angezeigt. Sind in seltenen Ausnahmen sowohl der kleinere als auch der größere Schwenkwinkel durch Hindernisse oder gesperrte Bereiche komplett blockiert, so wird dem Benutzer eine Fehlermeldung ausgegeben (Abbildung 30), welche dies mitteilt. Das Programm wird automatisch geschlossen wenn der Fehler auftritt.

Ergänzend zum Testen der Schwenkradien wird auch das Gebiet, welches bei einem Katztransport hin bzw. weg vom jeweiligen Schwenkradius überstrichen wird überprüft. Dies geschieht nach einem ähnlichen Schema wie die Kollisionsberechnung der Drehbewegung.

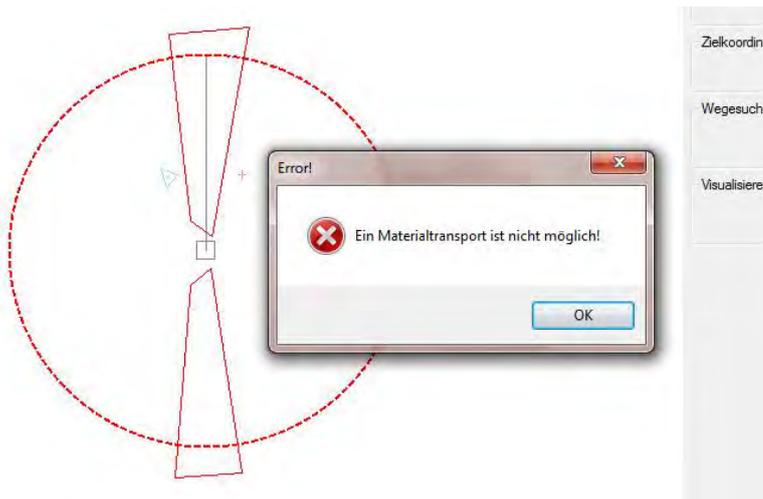


ABBILDUNG 30: FEHLERMELDUNG - KEIN MATERIALTRANSPORT MÖGLICH

Anschließend an die Berechnung des kollisionsfreien Weges, kann dieser visualisiert werden. Dabei wird der Weg in acht Stationen eingeteilt, an denen jeweils das Objekt abgebildet wird. Beim Springen zu Station 1 wird der Ausleger zum Objekt geschwenkt. Von Station 1 zu Station 2 wird ein eventuell nötiges Katzfahren vom Startpunkt zum Schwenkradius durchgeführt. Station 2 bis 7 visualisieren das Schwenken. In diesem Bereich wird das Objekt jeweils an jedem 5. Teil des Schwenkwinkels angezeigt. Der Sprung von Station 7 zur Station 8 zeigt erneut ein gegebenenfalls nötiges Katzfahren, diesmal vom Schwenkradius zum Zielpunkt (Abbildung 31).

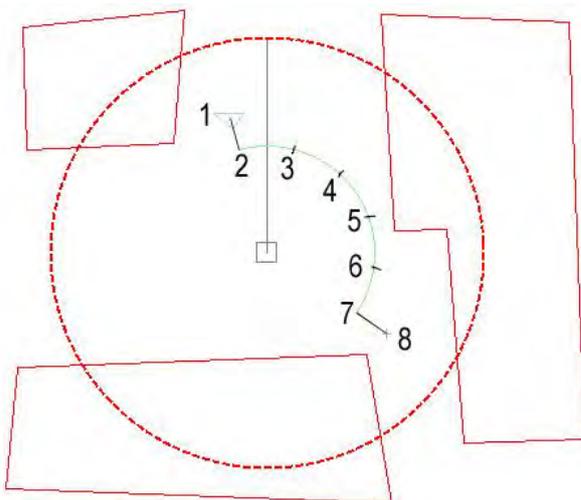


ABBILDUNG 31: STATIONEN DER VISUALISIERUNG

Durch erneute Aufforderung zur Visualisierung, erscheint eine Informationsmeldung, welche dem Benutzer sagt, dass der Materialtransport nun ausgeführt ist und das Programm somit beendet wird (Abbildung 32).

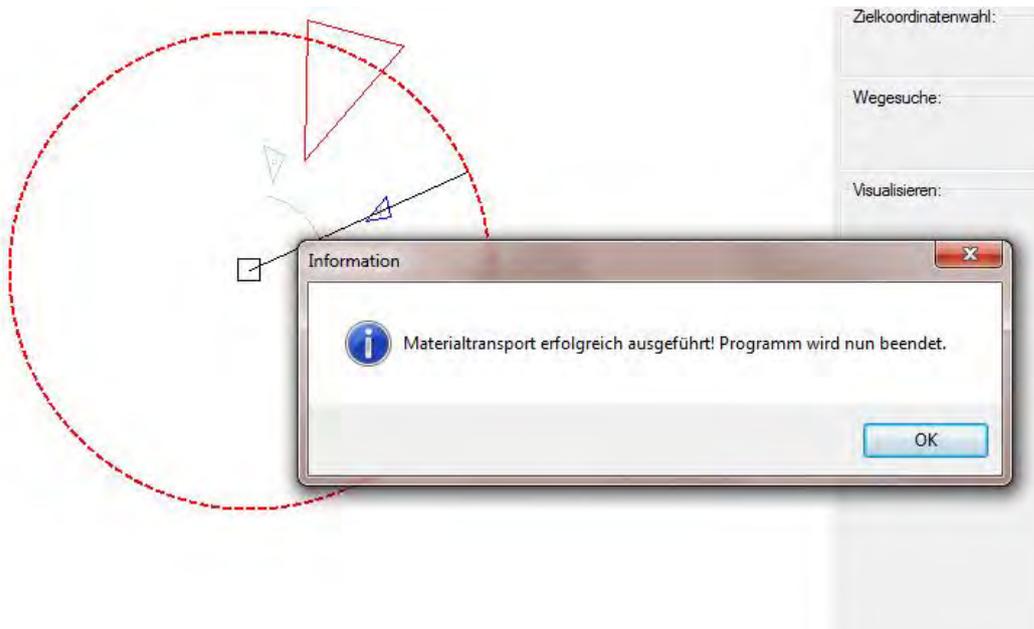


ABBILDUNG 32: INFORMATION BEI ERFOLGREICHER AUSFÜHRUNG DES MATERIALTRANSPORTS

Das Programm hat rückblickend durch die Eingabe einiger einfacher Variablen durch rein mathematische Hilfsmittel ein kompliziertes Problem gelöst. Es hat automatisch eine umfassende Kollisionsprüfung vorgenommen, da stets die gesamten Abtastbereiche zu betrachten waren. Ergebnis ist ein kollisionsfreier Weg sowie seine Visualisierung, welche das Resultat in einfacher aber aussagekräftiger Weise veranschaulicht.

6 FAZIT

Digitale Anwendungen haben sich mittlerweile in allen Bereichen des Lebens immer mehr durchgesetzt. Seit langem sind rechnergestützte Methoden aus unserem Alltag kaum mehr wegzudenken. Die Fertigungsindustrie wurde durch diese Methoden schon längst revolutioniert. Man denke nur an die robotergestützte Fertigung, simulierte Crashtests und automatisierte Mustererkennung beispielsweise bei Fahrassistenzsystemen.

Doch was ist mit der Bauindustrie? Da ein Bauwerk meist Unikatcharakter besitzt ist eine vollkommene Automatisierung der Vorgänge, welche Planen und Bauen betreffen, schwer zu verwirklichen. Immer kompliziertere Bauwerke, höhere Anforderungen sowie ein wachsender Zeit- und Kostendruck fordern aber eben diese. Deshalb ist es für die Bauindustrie sehr wichtig zeitgemäße Instrumente zu entwickeln um effizient ihr Produkt sowie Image zu verbessern.

Ein solches Instrument ist die im Rahmen dieser Bachelorarbeit beschrieben und auf Basis von grundlegenden Informationen bezüglich Kranen, Baustellen und Materialtransport mittels Kranen, entwickelt worden. Das Resultat ist ein Programm zur „Zweidimensionale Wegfindung und Visualisierung für Kranarbeiten“. Durch die Eingabe von Parametern des Kranes, der Hindernisse/ gesperrten Bereiche, des Transportguts sowie Start- und Zielkoordinaten wird eine umfassende Prüfung der Kollisionsfreiheit des Weges durchgeführt, welcher gegebenenfalls wenn eine Kollision vorliegt angepasst werden muss. Ergebnis ist ein Weg, auf dem ein Objekt sicher vom Standort zum Ziel transportiert werden kann ohne in den Konflikt mit seiner Umgebung zu geraten. Die zweidimensionale Berechnung des Weges ist eine Vereinfachung eines weitaus komplexeren Problems. Deshalb ist sie auch nur in sehr seltenen Fällen direkt auf ein Bauprojekt übertragbar, z.B. wenn alle Hindernisse eine Höhe aufweisen die vom Kran mit angehängter Last nicht überquert werden können und der Rest des Baufeldes eben ist. Sie bietet jedoch eine fundierte Grundlage zu Berechnungen im dreidimensionalen Raum. Eine Erweiterung des Programmes ist potenziell denkbar, wenn man zusätzlich eine Höhendimension einführt. Somit könnte man auch Hindernisse, die in einer bestimmten Höhe überstrichen werden, berücksichtigen. Hierfür wäre dann jedoch nochmal eigens ein Algorithmus zu implementieren, der für den bereits berechneten horizontalen Weg einen kollisionsfreien vertikalen Weg des Kranes bestimmt. Auch die Abbildung der Kranspielzeiten könnte auf Basis des Programmes ohne größere Probleme realisiert werden, hierfür müssten nur die Geschwindigkeiten des Kranes für die jeweiligen Bewegungen mit den Wegen verrechnet werden.

Letztendlich ist zu sagen, dass eine weitere Digitalisierung und Automatisierung von Baustellenprozessen möglich ist und einen enormen Fortschritt bringen wird. Schon bei dem

Programm zur automatisierten Wegefindung im Zweidimensionalen sowie der Visualisierung ist ersichtlich geworden, dass ein relativ einfaches Programm einen komplexen Vorgang gut berechnen und abbilden kann. Nur wenige Klicks ermöglichen eine Wegefindung und Veranschaulichung. Jedoch ist bei einer solchen Entwicklung zu beachten, dass beim Bauen, stets das Gesamtbild und eine Vielzahl von Einflussgrößen zu betrachten ist. Nur wenn all diese berücksichtigt, Abhängigkeiten beachtet und Unerwartetes ausgeschlossen werden kann, ist die „Digitale Baustelle“ perfekt. Bis dahin ist noch ein langer Weg, jedoch liefert ein noch so kleiner Fortschritt einen Beitrag zum Erreichen dieses Ziels.

QUELLENVERZEICHNIS

Bargstädt, Blickling und Kath, 2004. *Optimierung der Planung von Baustelleneinrichtungen mit 3-D-Technologien.*

URL: http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2005/576/pdf/HUT_1_2_04_S24bis27.pdf

Stand: 11.09.2011

Böttcher, 1997. *Baustelleneinrichtung: betriebliche Organisation, Geräte, Kosten, Checklisten.*

Wiesbaden, Berlin: Bauverlag

Borrmann, Günthner, 2011. *Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen:*

Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. 1. Aufl., Berlin: Springer Berlin

DIN 15001 Teil 1, 1973. *Krane, Begriffe, Einteilung nach Bauart.* Berlin: Beuth Verlag

Doberenz, 2002. *Visual Basic.NET: Grundlagen und Profiwissen.* München, Wien: Hanser

Dori , Borrmann, 2011. *Automatic generation of Complex Bridge Construction Animation Sections by coupling Constraint-based Discrete-Event Simulation with Game Engines.*

In: CONVR 2011, International Conference of Construction Applications of Virtual Reality

Drees, Sommer und Eckert, 1980. *Zweckmäßiger Einsatz von Turmdrehkränen auf Hochbaustellen.*

In: Baumaschinenteknik 9/80

Eckhardt, 2004. *Arbeitsbereichsbegrenzung und Antikollision.*

URL: <http://www.azr9000.de/produkte-abb-anwendung.html>

Stand: 12.09.2011

Fraport AG, 2011. *Frankfurt Airport City.*

URL: http://www.fraport.de/content/fraport-ag/de/presse_center/bilddatenbank/frankfurt_airportcity_r22433.html

Stand: 21.09.2011

Gerd Wedekind Baumaschinen GmbH, 2009. *Baukrane.*

URL: <http://www.wedekind-baumaschinen.de/index.php?pid=22>.

Stand: 10.09.2011

Haucke, 2010. *Erst der Neubau – dann die Neu-Fahrzeuge | Initiative Pro Immobilie.*

URL: <http://initiative-pro-immobilie.com/erst-der-neubau-dann-die-neu-fahrzeuge/>

Stand: 13.09.2011

König, 2008. *Maschinen im Baubetrieb: Grundlagen und Anwendung.* 2. Aufl.. Wiesbaden: Vieweg Teubner

Krämmmer, 1978. *Anforderungen an Arbeitsstätten: Textausgabe mit Einführung und ausführl. Erl. für d. Praxis.* Kissing (u.a.): WEKA-Verlag

Kranprofis, 2006. *Untendreher*.

URL: http://www.kranprofis.de/mietkrane/con_mi_da_un.html

Stand: 11.09.2011

Kunze, 2007. *Transport und Baumaschinen*.

URL: http://www.baumaschine.de/Portal/Material/transport/p31/transport_3_1.pdf

Stand: 12.09.2011

Metz, 2009. *Turmdrehkrane*.

URL: <http://www.lehrerfreund.de/in/technik/1s/turmkrane>

Stand: 10.09.2011

Meyran, 1973. *Berechnung der Kranspielzeiten von Turmdrehkranen*.

In: fördern und heben 23

Schach, 2008. *Baustelleneinrichtung: Grundlagen - Planung - Praxishinweise - Vorschriften und Regeln*. 1. Aufl.. Wiesbaden: Teubner

Weinhold, 2011. *Turmdrehkran*.

URL: <http://www.ferienhaus-bauen.de/planung/bau/baumaschinen/kran/turmdrehkran>

Stand: 12.09.2011

Wormuth, 2000. *Baulexikon: Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen*.

Berlin : Bauwerk.

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig angefertigt habe.

Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt.

Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift