

# Sicher arbeiten mit Kränen durch Simulation und Visualisierung

---

## 1 Ausgangssituation

Der Einsatz von CAD-Applikationen hat die Planungsarbeit im Bauwesen entscheidend verändert. Seit der Anwendung von dreidimensionalen Planungswerkzeugen kann der Bauherr das Bauwerk in seiner virtuellen Gesamtheit am Computer betrachten und bewerten. Diese Planungsarbeit bietet viele Vorteile. So ist der Planer gezwungen, alle wesentlichen Details a priori exakt zu überdenken. Es können viele Gefahrenquellen in der Planungsphase erkannt und vermieden werden. Viel weiter gehen andere Industriezweige. In Entwicklungsprojekten ist hier der Computer als virtuelles Planungswerkzeug für die Planung und Gestaltung von Arbeitsplätzen nicht mehr wegzudenken, wobei die reine Präsentation des Planungsentwurfs als Realmodell immer mehr an Bedeutung verliert. Vielmehr stehen heute das technologische Know-how und die wirtschaftliche Gestaltung der realen Arbeitsprozesse im primären Fokus der Planungsanalysen.

Auch im Bauwesen könnten CAD-Modelle noch effizienter für die Entwicklung von Sicherheitsplänen nutzbar gemacht werden. Im Weiteren wird ein Lösungsansatz für die Kraneinsatzplanung vorgestellt.

## 2 Bestimmungen und Anforderungen an den Entwurf von Baustelleneinrichtungen

### 2.1 Begriffsbestimmung

„Als Baustelleneinrichtung (BE) bezeichnet man die Gesamtheit der zur Herstellung eines Bauwerks erforderlichen, zeitlich begrenzten Produktions- bzw. Arbeitstätten mit den meist provisorischen sowie oft witterungsgeschützt bzw. winterfest zu gestaltenden produktionstechnischen und sozialen Ausrüstungen unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Verteilung und Zuordnung aller Teilelemente des Baugeländes“ [ROSENHEINRICH, 1993]. Sie bildet die Voraussetzung für einen reibungslosen und sicheren Bauablauf und spiegelt das technische Niveau der jeweiligen Bauproduktion wider. Sie umfasst die Bereitstellung und den Aufbau aller für eine Bauausführung benötigten Einrichtungsteile und deren genaue räumliche Zuordnung auf der Baustelle. Zusätzlich hat die Effizienz der Baustelleneinrichtung einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Bauwerks, den sicheren Arbeitsablauf und damit auf die Kosten des Bauvorhabens.

### 2.2 Vorschriften für die Planung von Baustelleneinrichtung

Für die Planung der Baustelleneinrichtung gibt es keine umfassenden technischen Vorschriften [TÖPFER, 2000]. Jedoch sind viele gesetzliche Bestimmungen zu beachten, die dem Schutz des öffentlichen Interesses dienen und den Belangen der arbeitenden Menschen auf der Baustelle Rechnung tragen sollen. Durch die Anwendung der gesetzlichen Bestimmungen sollen Gefahren durch die Baustelleneinrichtung vermieden werden. Für die praktische Umsetzung einer Baumaßnahme ist das Ziel der gesetzlichen Vorschriften die Vermeidung von Gefahren für die auf der Baustelle arbeitenden Menschen durch unsachgemäße Einrichtung und Verwendung von Bau- und Bauhilfsgeräten. Weiterhin sollen die Vorgaben die Beeinflussung des Umfeldes der Baustelle so gering wie möglich halten und Schaden von Mensch und Umwelt abwenden.



### 2.3 Sicherheitsrelevante Anforderungen an die Elemente der Baustelleneinrichtung

In Tabelle 1 sind die sicherheitsrelevanten Anforderungen an die Elemente der Baustelleneinrichtung dargestellt. Weiterhin sind in Tabelle 2 die von Baustellen ausgehenden Gefährdungen auf die verschiedenen Schutzgüter abgebildet.

Tabelle 1 Sicherheitsrelevante Anforderungen an die Elemente der Baustelleneinrichtung

Element der Baustelleneinrichtung	Sicherheitsrelevante Anforderungen
Baumaschinen und Geräte, mobile und stationäre Baukrane	Sicherheitsabstände nach DIN 4124, BGV C22 sowie D6 zu elektrischen Freileitungen, Böschungsoberkanten, Böschungsfuß, zwischen beweglichen Geräteteilen und festen Teilen der Umgebung
Baustraßen und -wege	Arbeitsstätten-Richtlinie, Bereiche für Fußgänger- und Fahrzeugverkehr, Mindestbreiten und -radien von Straßen und Wegen, Einbindung in den öffentlichen Verkehrsraum
Lager- und Bearbeitungsplätze	Sicherheitsabstände nach DIN 4124, Zugänglichkeit, Ebenheitsanforderungen zur Vermeidung der Gefahr durch Umkippen, Vorschriften zur Lagerung von Baustoffen [BauB97]
Sozial- und Prüfeinrichtungen	Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR)

### 2.4 Die Baustelleneinrichtungsplanung und ihre zeichnerische Darstellung

Die Baustelleneinrichtungsplanung ist als fester Bestandteil in den Gesamtkomplex der Arbeitsvorbereitung integriert, folgt der Verfahrens-, Ablauf sowie der Bereitstellungsplanung und baut auf der Grundlage der Ergebnisse der genannten Bereiche konsequent auf. Die Planung umfasst nach [ROSENHEINRICH, 1993] die sachlichen, menschlichen und zeitlichen Beziehungen. Die Einrichtungsgegenstände können mit Symbolen und Abkürzungen nach REFA [REFA, 1976] in einer Zeichnung wiedergegeben werden. Jedoch werden die Plansymbole in der Praxis meist individuell durch den Fachplaner definiert.

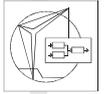
### 2.5 Kraneinsatzplan als Teil des Baustelleneinrichtungsplans

Die bedeutendsten Fördermittel des Rohbaus im Stahlbeton, Fertigteile- und Mauerwerksbau sind die Hebezeuge, insbesondere der Kran. Für die Baustelleneinrichtung kommen von den nach DIN 15 001 [DIN 15 001, 1973] erfassten Gruppen in erster Linie die Turmdreh-, Fahrzeug-, Portal-, Derrick- und Kabelkrane in Betracht. Eine optimale Handhabung der Baustoffe wird durch die richtige Wahl der Lastaufnahmemittel erreicht. Sie sind in der DIN 15 002 [DIN, 1980] definiert.

### 2.6 Planungstechnische Aspekte des Kraneinsatzplans

Die Auswahl der Krangröße geschieht in der Praxis anhand der maximal erforderlichen Tragfähigkeit (Angabe in Tonnen, t) und der Aufstellmöglichkeiten der Kräne. Neben der Ermittlung der Kranparameter ist die räumliche Einordnung des Krans in die Baustelle ein hauptsächliches Kriterium für die Planung der Krankonfiguration. Hierbei sind Mindestabstände gemäß Tabelle 1 zu berücksichtigen. Aus den Forderungen der existierenden Vorschriften für die Planung von Kraneinsätzen kann festgestellt werden, dass die Entscheidung für einen sicheren Kranbetrieb nur durch den Fachplaner unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten getroffen werden kann.

### 3 Untersuchung von CAD-Anwendungen für die Planung von Baustelleneinrichtungen



Es wurden unterschiedliche CAD-Applikationen in der baubetrieblichen Anwendung untersucht, mit denen die Planung eines Kraneinsatzplans realisierbar ist. Es zeigte sich, dass unabhängig vom verwendeten CAD-System die Bearbeitung immer nach einem ähnlichen Prinzip erfolgt.

Zuerst werden die Pläne der entsprechenden Planungsfirmen, wenn möglich, digital angefordert. Für den Fall, dass nur analoge Pläne vorhanden sind, wird durch den Fachplaner ein digitaler Baustellenplan am Computer erstellt. Das erfolgt in der Praxis häufig mit Hilfe von Linien, Flächen, Schraffuren als 2D Plan. Anschließend wird ein Konzept für die Verfahrenstechnologie und die technische Anforderung an die Baustelleneinrichtung erstellt. Es werden die erforderlichen Flächen, Grenzen, Leitungen, Einrichtungsgegenstände usw. in die Pläne eingezeichnet. Die Flächen werden mit Hilfe von Polylinien oder Linien erstellt und durch Schraffuren besser sichtbar gemacht. Die Grenzen, Leitungen usw. werden als Liniengrafik eingezeichnet. Zur Verbesserung des Arbeitsablaufs werden die Einrichtungsgegenstände, wie z. B. Krane, mit Hilfe von vorgefertigten Zeichnungselementen in die Zeichnung eingefügt.

Das wesentliche Problem bei dieser Herangehensweise ist die eindeutige räumliche Zuordnung der Einrichtungsgegenstände, insbesondere der Kräne. Nach [STEINMETZGER, 2001] müssen Arbeitsabläufe in ihren kausalen, räumlichen und zeitlichen Abhängigkeiten betrachtet und gestaltet werden. Diese Forderung ist mit den in der Praxis angewandten Verfahrensweisen nicht erfüllbar.

### 4 Entwicklung eines Kraneinsatzplaners

Bei der Untersuchung der CAD-Applikationen zeigte sich, dass eine dreidimensionale Planung von Baugruben und Baugeräten nur mit einem sehr hohen Planungs- und Zeitaufwand realisiert werden kann und deswegen in der Praxis kaum Anwendung findet. Daher soll eine Möglichkeit untersucht werden, diese Arbeitsabläufe zu automatisieren.

Moderne CAD-Programme zeichnen sich nicht nur durch eine einfache, dem Nutzer angepasste Menüführung aus, sondern verfügen zusätzlich über interne Schnittstellen, um das CAD-Programm mit selbst definierbaren Funktionalitäten zu erweitern. Mit Hilfe dieser Schnittstellen soll der Kraneinsatzplaner als Erweiterung einer CAD-Applikation entwickelt werden.

Bezugnehmend auf die in Tabelle 1 aufgezeigten Forderungen an die sicherheitsrelevanten Planungsanforderungen wird das Programm in drei Funktionsbereiche unterteilt:

- **Kranimport:** Erzeugen eines 3D-Krans,
- **Krananimation:** Darstellung der Kranbewegung,
- **Krankontrolle:** Überprüfen des kürzesten Abstandes zwischen zwei Kränen.

Bei der Arbeit mit CAD-Applikation sind besondere Anforderungen an die Definition der CAD-Objekte zu beachten. So müssen der Name und wesentliche Objekteigenschaften eindeutig festgelegt werden, um eine spätere eindeutige Zuordnung zu ermöglichen. Für den Kraneinsatzplaner wurde eine entsprechende Struktur entwickelt. Mit ihr ist eine redundanzfreie und eindeutige Abbildung der virtuellen Kräne in der CAD-Applikation realisierbar.

Für die Erstellung der Kräne gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten, das Programmmodul „Kranimport“ zu realisieren. In der ersten Entwicklungsstufe des Programms wurden die Kräne mit dem CAD-Programm gezeichnet und als Bauteilkatalog auf der Festplatte abgelegt. Das Programm setzt dann den Kran entsprechend dem gewählten Aufbau zusammen. Diese Herangehensweise hat Vor- und Nachteile. Ein wesentlicher Vorteil ist die Möglichkeit, dass spätere Modifikationen an den Kranbauteilen ohne eine



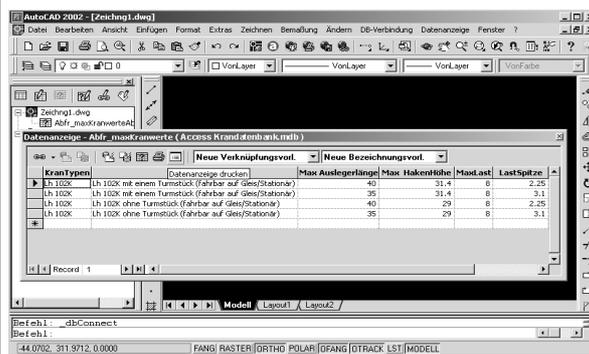
Veränderung des Quelltextes durchgeführt werden können. Jedoch steht dem der hohe Arbeitsaufwand bei der Erstellung der Kranelemente und die bedingte Erweiterbarkeit des Programms gegenüber. Aus diesem Grund wurden in der zweiten Entwicklungsstufe die Kranbauteile mit Hilfe des Programms erstellt. Hierfür ist ein beträchtlicher Programmieraufwand, gepaart mit nicht unerheblichen Fehlerquellen, zu berücksichtigen. Es bietet jedoch die Chance, die geometrischen Daten und Attribute in einer Datenbank abzulegen. So können neue Krane bequem über eine Menüführung erzeugt und verwaltet werden.

Die Programmmodule „Krananimation“ und „Krankontrolle“ bauen auf dem Modul „Kranimport“ auf. Durch die eindeutige Definition der Krane während der Erstellung kann das Programm die entsprechenden Zeichnungselemente auffinden und die gewünschten Operationen ausführen.

Nach der Einbindung der Krاندatenbank kann der Programmablauf nach dem in Bild 1 dargestellten Schema erfolgen.

Definieren der Krananforderung unter Beachtung operativer und strategischer Planungsziele  
 ⇒ Beginn Planungsphase CAD

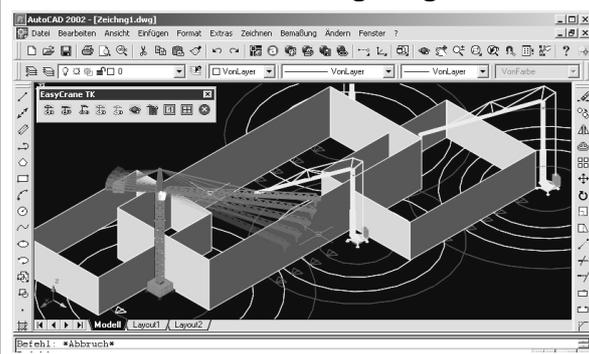
1. Technische Kranauswahl möglicher Krantypen mit Hilfe der Krاندatenbank



2. Einfügen des gewählten Krans mit „EasyCrane TK“



3. Erkennen kritischer Krankonstellationen zwischen Kränen und Umgebung



4. Überprüfung der kritischen Auslegerstellung zweier Krane

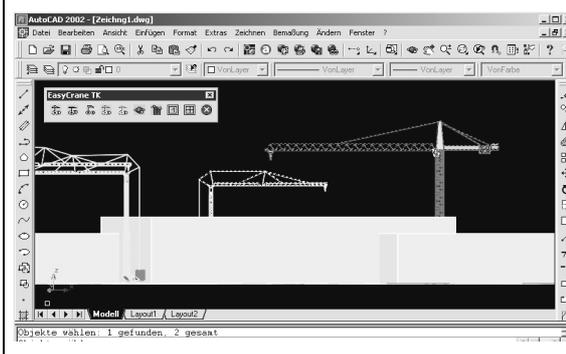
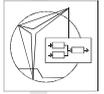


Bild 1 Bearbeitungsablauf von „EasyCrane TK“ in Verbindung mit einer Krاندatenbank

## 5 Weiterführende Sicherheitsaspekte für die Planung von Baukränen



Bei der Planung von Kranstandorten sind vielfältige Bedingungen zu beachten. Dabei spielt bei größeren Bauvorhaben die Wechselwirkung der Kräne eine bedeutende Rolle. Mit dem entwickelten Programm wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, kritische Kranstellungen am Computer zu untersuchen. Hierbei fehlt jedoch die einschließende Betrachtung der Lastaufnahmemittel und der Lasten.

Es werden im Weiteren Probleme und mögliche Lösungsansätze für eine weiterführende Planung von Kraneinsätzen vorgestellt.

Ein Ansatz bezieht sich auf Sicherheitskonzepte bei der **Behandlung von teil- und instationären Objekten**. Zur Behandlung von beweglichen Objekten finden insbesondere in der Verkehrsplanung Lichtraumprofile Anwendung. Wie in Bild 2 zu sehen, ist damit ein Bereich gekennzeichnet, in dem sich keine anderen Elemente befinden dürfen.

Würde man dieses Konzept auf die Planung von Kranstandorten übertragen, so dürften sich die Ausleger von zwei Kränen nie überschneiden, was in der täglichen Praxis aber ständig angewandt wird. Aufgrund der besonderen Anforderungen auf der Baustelle ist es daher erforderlich, einen dynamischen Sicherheitsbereich für die virtuellen Kräne zu definieren. In der Praxis wird dieser Sicherheitsbereich durch den Kranfahrer überwacht.

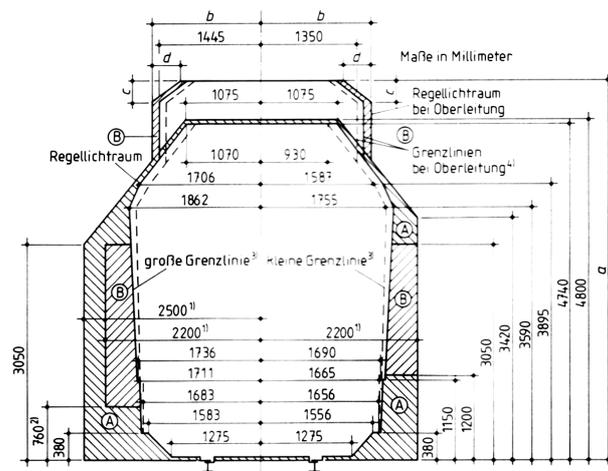


Bild 2 Lichtraumprofil der Bahn

In Bild 3 sind verschiedene Situationen eines arbeitenden Kranes abgebildet. Will man diese Situation in einer CAD-Applikation abbilden, versagen herkömmliche CAD-Objekte. Als Ursachen lassen sich die statischen Eigenschaften der Objekte benennen. Im Konzept der CAD-Applikationen ist es nicht vorgesehen, dass ein Objekt eigenständig seine geometrischen Eigenschaften verändern kann. Für die Beschreibung des Sicherheitsbereiches eines Kranes ist es jedoch erforderlich, diesen stetig an die Arbeitssituation des Kranes anzupassen. Dabei kann der Sicherheitsbereich zur Vereinfachung in einen statischen und in einen veränderlichen Bereich aufgeteilt werden. Es bedarf aber eines erheblichen Programmier- und vor allem Rechenaufwands, um alle Situationen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird eine weitere Möglichkeit aufgezeigt, wie dieses Problem gelöst werden könnte.

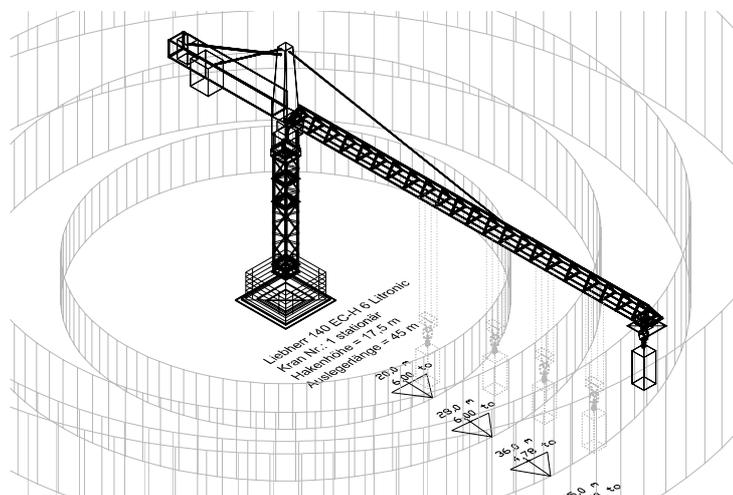


Bild 3 Arbeitszustände eines Turmdrehkrans



Einen möglichen Ansatz können die neuen Schnittstellen für die Simulation von Prozessabläufen in CAD-Applikationen darstellen. Im Rahmen der Weiterentwicklung von Schnittstellen für CAD-Applikationen wurde ein neues Austauschformat SDX (Simulation Data Exchange) für CAD-Objekte definiert. Mit Hilfe dieser Schnittstellen können neben den regulären geometrischen Informationen simulationsrelevante Daten mit einem CAD-Objekt assoziiert und ausgetauscht werden.

Die SDX-Schnittstelle wurde vordergründig für die Materialflussplanung von Produktionsabläufen entwickelt. Darüber hinaus lassen sich viele weitere Einsatzgebiete gerade für die Betrachtung von Sicherheitsaspekten auf Baustellen aufzeigen. Mit der Möglichkeit, einen losen Verbund zwischen CAD-Elementen zu erzeugen, wie er beim Transport von Lasten realisiert wird, können Fragestellungen, wie z. B. die Wahl geeigneter Lastmitteln, der Simulation von gemeinsam arbeitenden Kränen in Zukunft zielsicher vorausgeplant werden.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Programm „EasyCrane TK“ wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, die Erstellung von Kraneinsatzplänen effizienter und für die Umsetzung auf der Baustelle sicherer zu gestalten. Es zeigte sich, dass gerade die Forderung der Betrachtung kausaler und räumlicher Abhängigkeiten mit den in der Praxis angewandten Planungswerkzeugen nicht oder nur eingeschränkt realisierbar ist.

Mit der Weiterentwicklung der CAD-Applikationen und deren Schnittstellen lassen sich Wege aufzeigen, mit denen viele wichtige Sicherheitsaspekte der Baustelle bereits im Vorfeld geklärt werden können.

## 7 Literaturverzeichnis

- [BauB97, 1997] Arbeitsgemeinschaft der Bau- Berufsgenossenschaften. – Frankfurt/M.: Bausteine, Ausgabe 1997
- [BauGB, 2002] Baugesetzbuch, Fassung 23. Juli 2002
- [BaustellV, 2000] Kollmer, N.: Baustellenverordnung (BaustellV). – München: Beck Verlag, 2000
- [REFA, 1976] REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation, Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen: Arbeitstechnische Merkplättchen für den Baubetrieb (atm). – Leonberg: IFA- Verlag, 1976
- [ROSENHEINRICH, 1993] Rosenheinrich, G.: Baustelleneinrichtungsplanung. – Köln-Braunsfeld: Verlagsgesellschaft Rudolph Müller, 1993
- [STEINMETZGER, 2001] Steinmetzger, R.: REFA im Baubetrieb (Lehrunterlage für die Vertiefungsrichtung Baubetriebswesen). – Weimar: Bauhaus-Universität, 2001
- [TÖPFER, 2000] Töpfer, R.: Baustelleneinrichtungsplanung, Grundlagen für die manuelle und rechnergestützte Bearbeitung. – Ehningen bei Böblingen: Expert Verlag, 2000
- [DIN 4124, 2002] DIN 4124 „Baugruben und Gräben; Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau“. – Berlin: Beuth Verlag, 2002
- [DIN 15001, 1973] DIN 15001-1 „Krane, Begriffe Einteilung nach Bauart“. – Berlin: Beuth Verlag 1973
- [DIN 15002, 1980] DIN 15002 „Lastaufnahmeeinrichtungen, Benennungen“. – Berlin: Beuth Verlag, 1980
- [BGV A1, 2004] Unfallverhütungsvorschrift BGV A1 „Grundsätze der Prävention“, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fassung 2004
- [BGV C22, 1997] Unfallverhütungsvorschrift BGV C22 „Bauarbeiten“, Bau-Berufsgenossenschaft Bayern und Sachsen, Fassung 2000
- [BGV D6, 2001] Unfallverhütungsvorschrift BGV D6 „Krane“, Bau-Berufsgenossenschaft Bayern und Sachsen, Fassung 2001