

Die Verwendung von virtuellen 3D-Modellen bei der SiGeKo-Planung auf Baustellen

Aktuelle Forschungsbeiträge in der Bauinformatik legen dem Planungs- und Kommunikationsprozess im Bauwesen ein virtuelles, dreidimensionales Modell zu Grunde [1], [2]. Verteilte, objektorientierte CAD-Modelle, die über Netzwerke den verschiedenen Baubeteiligten zur Verfügung gestellt werden, sorgen für simultanes Bearbeiten von jederzeit konsistenten Informationen [3], [4]. Die Entwicklung weg von starren Modellen mit festgeschriebenen Objektstrukturen hin zu flexiblen, dynamischen CAD-Modellen mit dynamischen Objektstrukturen [5], [6] sowie die Entwicklung neuer Schnittstellen wie z. B. den Industry Foundation Classes (IFC) weisen die Richtung in eine auf 3D-CAD-Modellen begründete Baupraxis der Zukunft über alle Leistungsphasen und über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes hinweg.

In einigen Teilbereichen der Bauproduktionstechnik werden heute bereits durch die teilautomatisierte Vorfertigung einzelner Bauteile (z. B. Beton-Fertigteile, Dachstühle, Mauerwerkswände, [7]) bauteilorientierte Methoden bei der Fertigung und Montage angewandt. Ebenso besteht in der Planungsphase anhand virtueller 3D-Standard-Bauteile die Möglichkeit, diese Standard-Produkte ohne weiteren Konstruktionsaufwand im CAD-System in das entsprechende virtuelle Bauwerksmodell einzubauen [8].

In vorliegender Arbeit wird beispielhaft die Möglichkeit der Integration der Arbeitssicherheit in das 4D-Modell (virtueller Ablaufplan des 3D-Modells) eines Bauwerkes analysiert und visualisiert. Dabei wurde die Sicherung eines Treppenaufgangs als Arbeitsposition des SiGeKo-Planes in den virtuellen Ablaufplan des 3D-Modells übernommen. Zur Erleichterung des Visualisierungsaufwandes werden ebenso Technologien untersucht, die den Zugriff auf 3D-Bibliotheken ermöglichen, die entsprechende Werkzeuge des Arbeitsschutzes für den SiGeKo-Planer vorhalten.

1 Einleitung

Als Veranlasser eines Bauvorhabens trägt der Bauherr die Verantwortung für das Bauvorhaben. Deshalb ist er zur Einleitung und Umsetzung der in der Baustellenverordnung verankerten baustellenspezifischen Arbeitsschutzmaßnahmen sowohl bei der Planung der Ausführung eines Bauvorhabens als auch bei der Koordinierung der Bauausführung verpflichtet.

Die Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Fassung vom 15. Januar 1999) [9] ergänzt das deutsche Arbeitsschutzrecht um folgende Pflichten für den Bauherren:

- Berücksichtigung der allgemeinen Grundsätze nach § 4 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) bei der Planung der Ausführung des Bauvorhabens,
- Ankündigung des Vorhabens bei der Behörde bei größeren Baustellen,
- Bestellung eines Koordinators, wenn mehrere Arbeitgeber auf der Baustelle tätig werden,
- Erarbeiten eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzplanes bei größeren Baustellen und/oder bei besonders gefährlichen Arbeiten,
- Zusammenstellung einer Unterlage für spätere Arbeiten an der baulichen Anlage.



In vorliegender Arbeit wird davon ausgegangen, dass ein Koordinator bestellt, ein SiGeKo-Plan angefertigt und eine Unterlage für spätere Arbeiten erstellt werden müssen. Aufgrund des Aufwandes für die Einarbeitung von Maßnahmen zur Steigerung der Arbeitssicherheit in ein 3D-Modell des Bauwerkes sind unten stehende Analysen nur für Bauleistungen größeren Ausmaßes sinnvoll.

2 Der SiGeKo-Koordinator im Planungsprozess

Ebenso wie der Bauzeit- bzw. Ablaufplan des Bauunternehmers ist die Qualität des SiGeKo-Plans auf der Baustelle stark abhängig vom Informationsstand des zuständigen Sachbearbeiters. Wurde er über die einzusetzenden Arbeitstechniken frühzeitig informiert, kann er seine Überlegungen und Sicherheitsmaßnahmen auf diese anpassen. Heute analysiert der SiGeKo in den meisten Fällen das Bauwerk anhand der Ausführungspläne. Dieser Vorgang kann bei großen Bauwerken zeitaufwändig sein, wenn Grundrisse aus mehreren Planeinheiten bestehen und z. B. die Schnitte wiederum auf anderen Plänen dargestellt sind. Einen zusammenhängenden Aufbau des Gebäudes „im Kopf“ zu visualisieren stellt hohe Anforderungen an die Konzentration und an das räumliche Vorstellungsvermögen des Bearbeiters und verursacht ein zeitaufwändiges Planstudium.

Die Betrachtung eines 3D-Modells erfolgt im Zusammenhang mit der Arbeit des SiGeKo´s unter den folgenden zwei Gesichtspunkten:

1. Virtuelle Begehung des Modells zum Zweck der Sicherheitsanalyse
2. Einarbeitung der Sicherheitsmassnahmen in das 4D-Modell des Bauwerks

zu Punkt 1:

§ 2, Abs. 3 der Baustellenverordnung regelt die Voraussetzungen zur Erstellung eines SiGeKo-Plans. Darin heißt es unter anderem:

„Ist für eine Baustelle, auf der Beschäftigte mehrerer Arbeitgeber tätig werden, eine Vorankündigung zu übermitteln, oder werden auf einer Baustelle, auf der Beschäftigte mehrerer Arbeitgeber tätig werden, besonders gefährliche Arbeiten nach Anhang II ausgeführt, so ist dafür zu sorgen, dass vor Einrichtung der Baustelle ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan erstellt wird.“

Weiter unten wird definiert, was unter besonders gefährlichen Arbeiten zu verstehen ist:

„Besonders gefährliche Arbeiten im Sinne der Baustellenverordnung sind:

1. Arbeiten, bei denen die Beschäftigten der Gefahr des Versinkens, des verschüttet Werdens in Baugruben oder in Gräben mit einer Tiefe von mehr als 5 m oder des Absturzes aus einer Höhe von mehr als 7 m ausgesetzt sind, ...“

Betrachtet man nun beispielhaft oben stehende Regel (Absturzhöhe > 7m), so wird klar, dass eine Recherche aller Stellen mit einer Absturzhöhe größer als 7 Meter für die Ausarbeitung eines SiGeKo-Plans notwendig wird. Anstatt nun die Planunterlagen zu sichten, kann der Koordinator das CAD-Modell des Bauwerkes begehen und durch Freischneiden beliebiger Stellen des Modells die Absturzhöhen überprüfen. Als Beispiel für die Überprüfung der Absturzhöhe dient hier der Rohbau des Theaters Erfurt. Anhand des freigeschnittenen Modells kann geprüft werden, wo eine Absturzsicherung zum Boden des Bühnenturms notwendig wird. Die Abfrage der Höhen kann einfach durch Überfahren der relevanten Punkte mit der Maus erfolgen. Die dazugehörige Höhenkote zum Projekt-Nullpegel wird dann vom System angezeigt. Bild 1 zeigt einen Schnitt durch den Bühnenbereich des Theaters in Erfurt.

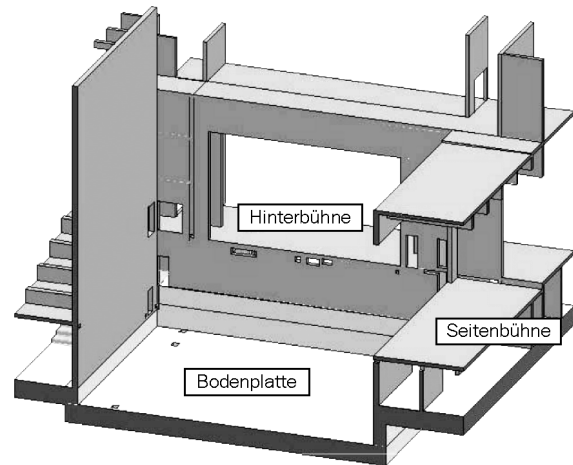
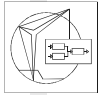


Bild 1 Ausschnitt aus dem Rohbau des Theaters in Erfurt

Sichtbar ist die Bodenplatte des Bühnenturms sowie die Tore zur hinten liegenden „Hinterbühne“ (Mitte des Bildes) und der seitlich angegliederten „Seitenbühne“ (rechter Bildrand). Die Herstellung des freigeschnittenen Zustands im Modell wäre bei einer Sicherheitsanalyse über das 3D-Modell die Aufgabe des SiGeKo. Nach der Auswahl des zu analysierenden Ausschnittes kann nun der Koordinator die Höhen der freigeschnittenen Kanten durch Überfahren mit der Maus abrufen. So konnte z. B. leicht und schnell festgestellt werden, wie viel die Absturzhöhe zwischen Oberkante des Fußbodens in der Hinterbühne und Oberkante der Bodenplatte des Bühnenturms beträgt. In diesem Fall waren es $0.00 - (-8.00) = 8,00$ m. Damit ist zum Beispiel nach der Baustellenverordnung ein SiGeKo-Plan für das Theater notwendig, da die Absturzhöhe größer als 7 Meter war. Diese Vorgehensweise lässt sich ebenso auf wesentlich komplexere Orte des Bauwerkes anwenden, z. B. Aufzugsschächte, Treppenhäuser etc. Selbstverständlich ist bei einem Bauwerk der Größe und Komplexität des Theaters von vornherein klar, dass ein SiGeKo-Plan zu erstellen ist. Die oben beschriebene Methode soll an dieser Stelle lediglich das Prinzip der Vorgehensweise verdeutlichen. Abbildung 2 verdeutlicht im Detail die Methode zum Abgreifen der Höhen aus dem 3D-Modell. Wird die Maus an die Position der Pfeilspitzen bewegt, zeigt sie die Höhenkote der Kanten oder Punkte an.

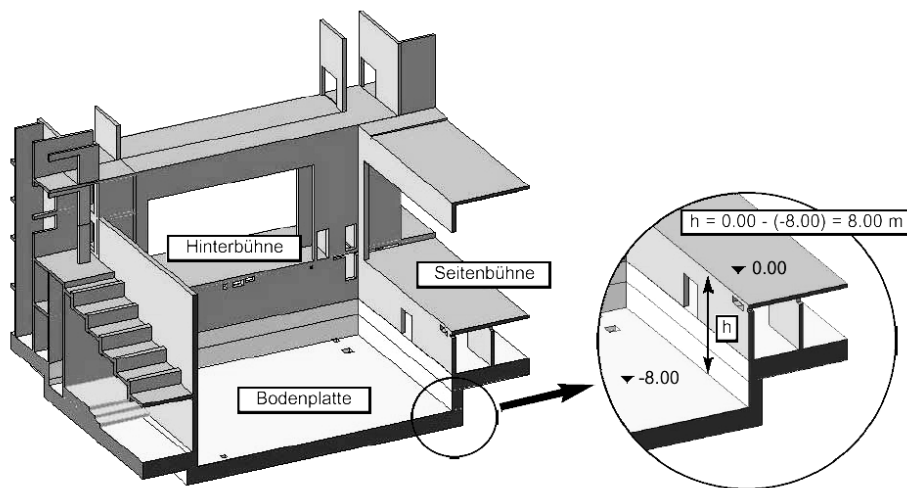


Bild 2 Abgreifen der Höhen aus dem Modell

Das alleinige Abgreifen der kritischen Höhen aus dem 3D-Modell ist jedoch erst die Vorarbeit zur eigentlichen Arbeit des SiGeKo. Die Erstellung des Planes ist die eigentliche Hauptaufgabe. Dies lässt sich entweder mit einem Balken- oder Netzplan erledigen oder im 3D-Modell selbst. Letztere Methode soll in folgenden Ausführungen zu Punkt 2 untersucht werden.



zu Punkt 2:

§ 3, Abs. 3 der Baustellenverordnung beschreibt die Form des SiGeKo-Plans wie folgt:

„Im Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan sind die notwendigen Einrichtungen und Maßnahmen zur Erfüllung der Arbeitsschutzbestimmungen zeitlich und in ihrer Ausführung darzustellen. Der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan muss bei der Planung der Ausführung des Bauvorhabens erstellt und bei der Ausführung des Bauvorhabens dem Arbeitsfortschritt und den eingetretenen Änderungen angepasst werden.“

Darin wird explizit verlangt, dass die „notwendigen Einrichtungen (..) zeitlich und in ihrer Ausführung darzustellen sind.“ Ein textbasierter Balken- oder Netzplan verfügt nicht über Möglichkeiten, die Arbeitsschutzmaßnahmen „in ihrer Ausführung“ darzustellen, sondern er kann lediglich mit Worten beschreiben, wie diese Maßnahmen auszusehen haben. Die Anforderungen an die Darstellungsweise lassen sich dahingegen mit einem visuellen 3D-Modell sehr gut erfüllen. Um die Vorgehensweise zu demonstrieren, soll anhand eines Schutzgeländers für einen Treppenlauf eine Sicherungsmaßnahme und deren Einbau in das 4D-Modell beschrieben werden.

Dazu wurde ein System der Firma Combisafe® als Bibliothek visualisiert und anschließend in den Bauablauf integriert. Bild 3 zeigt eine praktische Anwendung des Systems bei einer Treppe sowie das dazugehörige visualisierte Bauteil.

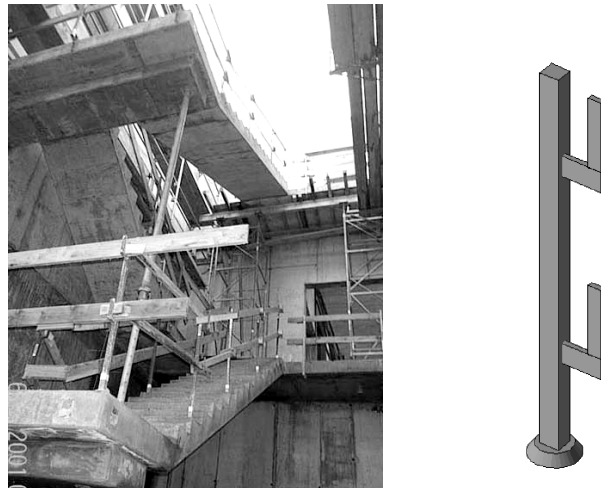


Bild 3 Produkt in der Realität und als virtuelles Bauteil im CAD

Im Idealfall kann man als SiGeKo sämtliche Werkzeuge zur Darstellung von Sicherheitsmaßnahmen über das Internet in sein CAD-System herunterladen. Das bedeutet, dass man selbst keinen Aufwand mit der Erstellung von Bauteilen hat und somit erheblich an Zeit spart. In obigem Fall wurde das Bauteil nicht über das Internet bezogen, da diese Leistung vom Hersteller nicht angeboten wird. Es ist jedoch zu erwarten, dass sämtliche Hersteller von real existierenden Objekten bzw. Produkten diese in einem 3D-Produktkatalog zum Herunterladen in ein CAD-System vorhalten werden. Solche Produktkataloge sind z. B. im Möbelbau bereits realisiert und seit mehreren Jahren im Einsatz (z. B. bei der Küchenplanung).

Nachfolgende Bildreihe ist ein Auszug von Einzelbildern eines Filmes, der im Rahmen einer 4D-Ablaufplanung für ein Doppelwohnhaus gemacht wurde. Dabei wurde der Detailgrad der Ablaufplanung sehr hoch gewählt. Jeder einzelne Stab der Abstützung wurde als einzelner Arbeitsschritt definiert. Nach dem Aufbau der einzelnen Stäbe werden die Bretter erst im Treppenlauf unten, dann im Treppenlauf oben eingesetzt. Danach werden die Bretter entlang der langen Öffnungskante in der Decke erst unten, dann oben eingesetzt. Zum Schluss werden an der kurzen Querseite die Bretter oben und unten verlegt. Es wurde also jedes einzelne Bauteil als Arbeitsschritt definiert. Dies wäre in der Praxis zu zeitaufwändig und auch wenig sinnvoll, es sei denn, die Arbeitsschritte wären technologisch bedingt,

z. B. wenn eine Sicherungsmaßnahme durch eine andere zwingend notwendige Maßnahme unterbrochen werden müsste. Die Einteilung der Arbeitsschritte ist jedoch frei wählbar und bleibt dem Koordinator überlassen. Bild 4 zeigt die Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte.

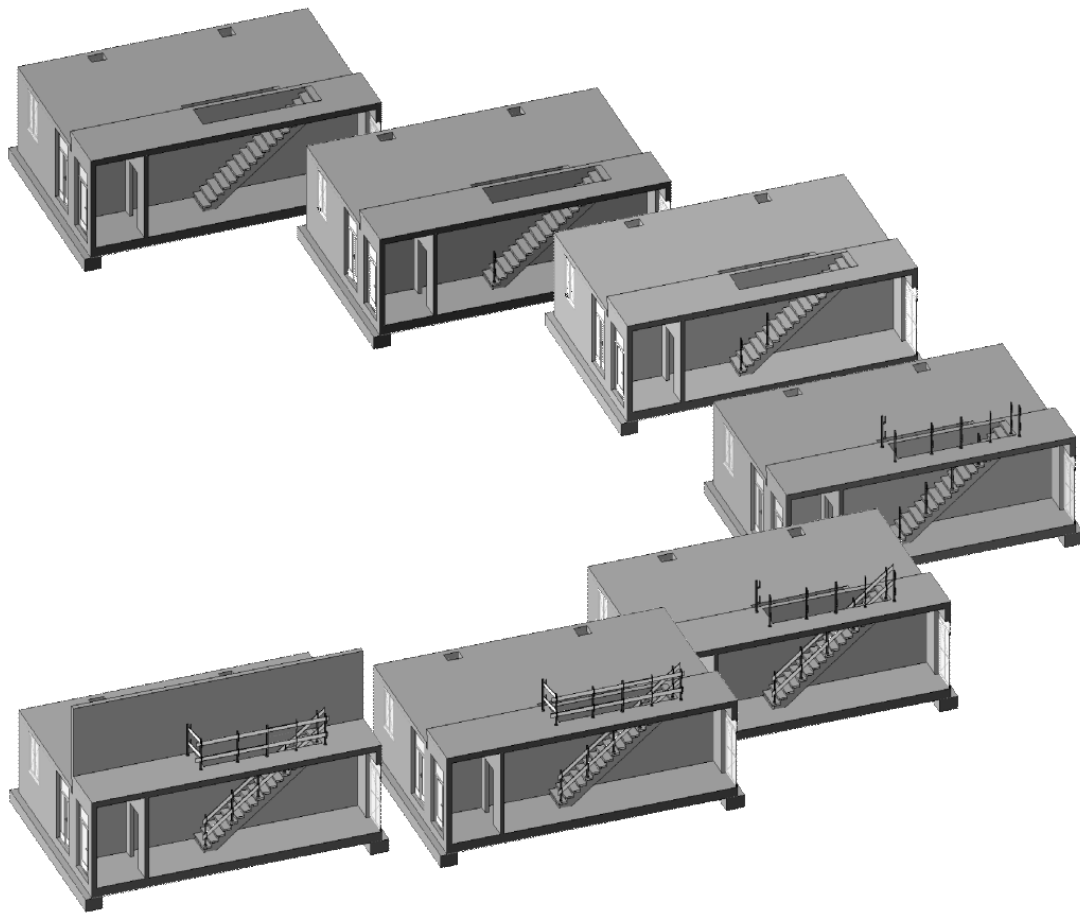
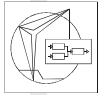


Bild 4 Ablauf des Aufbaus der Schutzgeländer bei einer Treppe

Als Ergebnis der obigen Bildreihe kann der Koordinator Schlussfolgerungen für gefährliche Situationen im Bauablauf ziehen. So wird z. B. ersichtlich, dass vor der Herstellung der Mittelwand im OG (unterstes Bild der Bildreihe) eine Längskante der Öffnung in der Decke offen ist. Da die Mittelwand jedoch unmittelbar nach der Fertigstellung der Absturzsicherung hergestellt wird, macht es keinen Sinn, dort eine Absturzsicherung herzustellen. Wäre dies nicht der Fall, so müsste auch diese Seite mit einer Sicherung versehen werden. Die kritische Situation beginnt somit mit dem Zeitpunkt der Herstellung der Treppe (Aufstieg ins OG möglich) bzw. dem Weglassen der Absturzsicherung auf der einen Längsseite und endet mit dem Ausschalen bzw. Hochmauern der Wand. Hier ist unter anderem entscheidend, in welchem Baustoff die Wand ausgeführt wird. Beim Hochmauern kann innerhalb einer Stunde eine Brüstung hergestellt werden, die einen Absturz in die Deckenöffnung verhindern würde. Bei der Ausführung in Beton muss beim Einschalen und Bewehren auf der Seite der Deckenöffnung mit Vorsicht gearbeitet werden. Hier wäre also zu empfehlen, die Schalung so zu stellen, dass beim Bewehren und Zuschalen nicht in oder über der Öffnung gearbeitet werden muss. Es wird ersichtlich, dass selbst das Aufstellen der Schalung darüber entscheiden kann, wie hoch das Unfallrisiko bei der Arbeit ist. Eine Simulation der Schalarbeiten im 4D-Modell mit der Darstellung der Arbeitsschritte „Schalung einseitig stellen/Bewehren/Schalung schließen/Betonieren“ wäre empfehlenswert, um die Entstehung einer gefährlichen Situation zu vermeiden.



3 Nutzen durch die Integration des SiGeKo-Plans in das Modell

An dieser Stelle sei lediglich auf den Nutzen verwiesen, der über den in der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen beschriebenen Nutzen hinausgeht und der vorrangig durch die Verwendung von dreidimensionalen Technologien bzw. 4D-Modellen entsteht. Dazu gehört:

- schnellere Analyse des Bauwerks im Hinblick auf Gefährdungspotenziale durch Gesamtüberblick im 3D-Modell,
- transparente Chronologie der Schutzmaßnahmen im Bauablauf für alle Beteiligten durch Integration der Schutzmaßnahmen im Bauablauf,
- schnellere Prüfung der geleisteten Schutzmaßnahmen im Modell,
- Dokumentation sämtlicher Schutzmaßnahmen im Modell.

4 Fazit und Ausblick

Die Integration und Visualisierung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes in einem virtuellen 4-D-Modell birgt mehrere Vorteile im Vergleich zu der konventionellen Arbeitsweise mit zweidimensionalen Balken- oder Netzplänen. Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass zahlreiche Technologien zum dreidimensionalen Bauen entwickelt werden, ist es sinnvoll, auch das Regelwerk in diese 4-D-Modelle einfließen zu lassen. Als Vision ist hier zu erwarten, dass intelligente 4-D-Modelle selbständig den Anwender bei der Analyse von Schwachstellen in der Arbeitssicherheit unterstützen. Die Einarbeitung einer Schnittstelle zwischen den Regeln in Gesetzen oder den DIN-Normen und einem virtuellen Modell setzt jedoch die Existenz eines ausgereiften Expertensystems für das Bauwesen voraus. Zum heutigen Zeitpunkt ist ein solches System noch nicht praxistauglich.

Der Einsatz von 4-D-Modellen, der als Voraussetzung die Erstellung eines detaillierten 3D-Modells verlangt, birgt jedoch gegenüber dem Einsatz von zweidimensionalen Technologien bereits wesentliche Vorteile. Diese Vorteile lassen sich potenzieren, wenn im gesamten Lebenszyklus des Bauwerks an einem durchgängigen dreidimensionalen Modell gearbeitet wird. Die Werkzeuge für eine durchgängige Bearbeitung von Bauwerken in virtuellen 4-D-Modellen sind bereits heute anerkannter Stand der Technik.

5 Literatur

- [1] Hauschild, Th.; Hübler, R.: Projekt GroupPlan in Weimar am WIM, ASIM, Beitrag IKM '97, <http://www.uni-weimar.de/Bauing/iww/forschung/forschgrouppl.html> (Stand: 15. 11. 2002)
- [2] Schneider, Ulrich: Standardisierung der Kommunikation als Integrationsansatz für das Bauwesen. – Weimar: Bauhaus-Universität, 2000 (Dissertation)
- [3] Berghammer, F.; W. Kirchmann: Objektorientierte Methoden in Großprojekten. – In: Informatik-Spektrum (1992)15, S.287–292. Berlin/Heidelberg: Springer, 1992
- [4] Büttner, Hans-Georg: Unterstützung objektorientierter Modellierung im Bauwesen. – In: Bauen mit Computern. VDI Fortschritt-Berichte Nr. 116. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1992
- [5] Wehner, R., Steinmann, F., Hübler, R. FLEXOB-Entwicklungstool für dynamische modellbasierte CAD-Systeme, IKM '97: Berichte. – Weimar: Bauhaus Universität, 1997
- [6] Ranglack, D.; Kolbe, P.; Steinmann, F. Eine Schnittstelle für dynamische Objektstrukturen für Entwurfsanwendungen. – Beitrag beim Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM), Februar 1997 in Weimar
- [7] N.N.: Mauerwerk vom Fließband. – In: bd-baumaschinendienst, 7–8/2001, S. 36–38
- [8] www.archimedia.de/GDL_was.html (Stand 22. 03. 02)
- [9] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Fassung vom 15. Januar 1999)