Zeitschrift: IABSE journal = Journal AIPC = IVBH Journal

Band: 12 (1988)

Heft: J-37: Computer simulation and artificial intelligence: application to earth moving

Artikel: Computersimulation und künstliche Intelligenz für Erdbauprojekte

Autor: Bernold, Leonard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-30186

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Computersimulation und künstliche Intelligenz für Erdbauprojekte

Computer Simulation and Artificial Intelligence – Application to Earth Moving

Simulation à l'aide de l'ordinateur et intelligence artificielle – Exemple d'application dans les travaux de terrassement

Leonard BERNOLD
Assist. Professor
Univ. of Maryland
College Park, MD, USA

Leonard Bernold gained his Ph.D. at Georgia Tech in 1985. He graduated as a civil engineer from the ETH in Zurich, Switzerland, and holds an MBA from Saint Gall Graduate School of Economics and Business Administration. Dr Bernold is a faculty member within the Construction Engineering and Management Program at the University of Maryland, USA.

ZUSAMMENFASSUNG

Computergestützte Simulation und künstliche Intelligenz eignen sich für den Einsatz im Baumanagement. Geplagt durch viele Unsicherheiten und komplex zusammenhängende Einflussfaktoren trifft ein Bauführer viele seiner Entscheidungen aufgrund von Erfahrungswerten. Dieser Artikel präsentiert eine Methode, die es ihm erlaubt, verschiedene Szenarien «intelligent» zu simulieren, um eine gute Lösung für den Maschineneinsatz im Erdbau zu finden.

SUMMARY

Computer-supported simulation and Artificial Intelligence are useful for construction management. The manager of the construction operations on site is making many decisions on the basis of his experience. Uncertainties and influence factors that are interrelated in a complex way may be one reason for this type of procedure. This paper presents a method for simulating various scenarios to find out a good solution to exploit equipment in earth moving operations.

RÉSUMÉ

La simulation à l'aide de l'ordinateur et de l'intelligence artificielle est utile dans la direction des travaux. Le chef de chantier prend de nombreuses décisions empiriques car il n'est pas en mesure de prendre en compte de façon scientifique les incertitudes et les facteurs influençant sa décision. Cet article présente une méthode pour simuler des variantes et scénarios afin de trouver une bonne solution à l'utilisation des machines dans les travaux de terrassement.

Einleitung

Bei Strassenbauprojekten stellen sich bereits in der Planungsphase grundlegende Managementaufgaben. Probleme wie "Wieviel Erde soll bewegt werden?" und "Wo wieviel ausheben, wohin transportieren und wo auffüllen?" stehen an vorderster Stelle. Während der Ausführungsphase ergeben sich zusätzliche Aufgaben: "Wie kann eine optimale Produktivität erreicht und gehalten werden?" oder "Wie sind die gegebenen Ressourcen (z.B. Lastwagen) effizient einzusetzen?"

Planung und Kontrolle von Bauaufgaben verlangen die andauernde Lösung neuer entstehender Probleme. Weil DIE optimale Lösung mit traditionellen Methoden nur sehr schwer (wenn überhaupt) zu finden ist, begnügt man sich bei der Planung solcher Projekte öfters mit "gefühlsmässigen" Entscheidungen.

Technologische Fortschritte eröffnen neue Wege für die Planung und Kontrolle von Bauprozessen. So ermöglichen zum Beispiel Microcomputer sowohl den effizienten und flexiblen Einsatz von EDV als auch Wege zur automatisierten Datenerfassung auf Baustellen (3,10). Die automatisierte Datenerfassung könnte die Bauausführungs- und Qualitätskontrolle vereinfachen, den präventiven Unterhalt von Geräten automatisieren und selbständig Datenbanken für Projekt aufbauen. In der Planungsphase steht dagegen der Einsatz von Computern zur Lösung quantitativer Probleme im Vordergrund.

Dieser Artikel präsentiert Resultate einer Forschungsarbeit im Bereich Baubetrieb und Bauplanung. Vorgestellt wird ein Computer-System für die Planung linearer Erdbauprojekte, welches künstliche Intelligenz zur Optimierung des Maschineneinsatzes einsetzt. Am Ende werden potentielle Weiterentwicklungen aufgezeigt.

Computerisierte Erdmassenerfassung

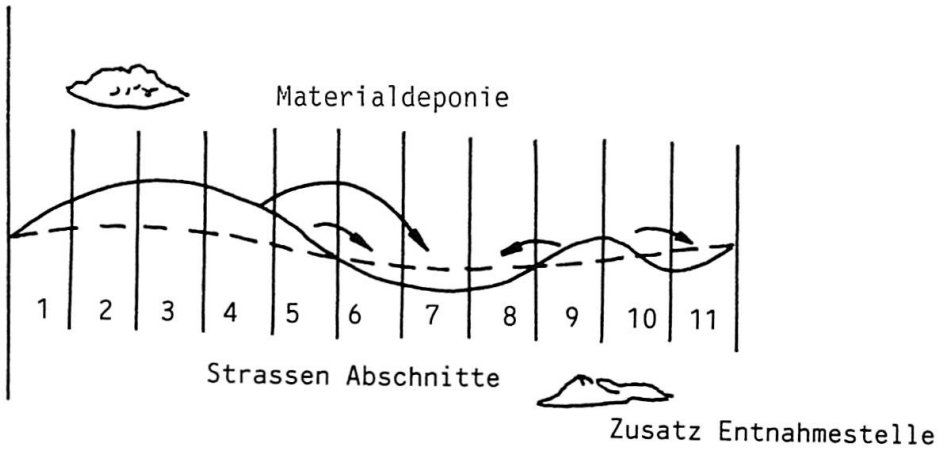
Die Berechnung von Erdmassen ist heute ziemlich standardisiert, und verschiedene spezialisierte Computerprogramme sind dafür auf dem Markt erhältlich. Die Daten für die Quantitätsberechnungen erhält man einerseits durch traditionelle Methoden (z.B. topographische Vermessung) oder andererseits durch speziell entwickelte Techniken (z.B. satellitenunterstützte Vermessung). Bodenoberfläche und die geplante Strassenlage bilden die Grundlage für die Kalkulation von Aushub- und Auffüllungsmengen, welche mittels verschiedener mathematischer Verfahren bestimmt werden können. Um jedoch die effektiv zu transportierenden Mengen zu bestimmen, sind zusätzliche Informationen über die Beschaffenheit des Aushub- und Verdichtungsmaterials einzubeziehen (so beispielsweise der Auflockerungsfaktor).

Optimierung der Massenverteilung

Das Massendiagramm ist die primäre Methode zur Bestimmung der Massenverteilung. Obwohl das Massendiagramm eine effiziente Methode darstellen kann, ergeben sich verschiedene Probleme. Erstens werden die gemittelten Transportdistanzen aufgrund der Abstände zwischen den Massenmittelpunkten berechnet. Bei ungleichen Aushub- und Auffüllmassen entstehen Ungenauigkeiten bei der Berechnung des Maschinenaufwandes. Zweitens wird die Handrechnung beim Vorhandensein von mehreren Entnahme- und Deponieplätzen noch sehr viel komplizierter, obwohl die Existenz von Materialentnahmestellen berücksichtigt werden kann. Drittens ist das Massendiagramm nicht fähig, zusätzliche Variablen, wie z.B. die Aenderung des Erdmaterials entlang der Strassenachse zu berücksichtigen.

Die lineare Programmierung offeriert eine mathematisch elegante Optimierung (13). Die Verteilung von Aushub- und Auffüllmassen geschieht aufgrund eines Transport-Algorythmus, welcher darauf ausgerichtet ist, die Transportdistanzen und damit die Transportkosten zu minimieren. Unglücklicherweise verlangen bereits kleinere Projekte grosse Computer-Kapazitäten, was den sinnvollen Einsatz von Microcomputern von vornherein verunmöglicht.

Der im nachstehenden Text beschriebene Ansatz benützt eine neuartige Methode, welche heuristische und mathematische Prinzipien vereint. Die zentrale Idee liegt in der Reduktion der Komplexität des Problemes auf eine Ebene, in der eine mathematische Lösung möglich ist. Figur 1 zeigt schematisch die zwei Phasen des Problemlösungsprozesses in einem typischen Profil.



Figur 1. Massenverteilung in einem typischen Profil

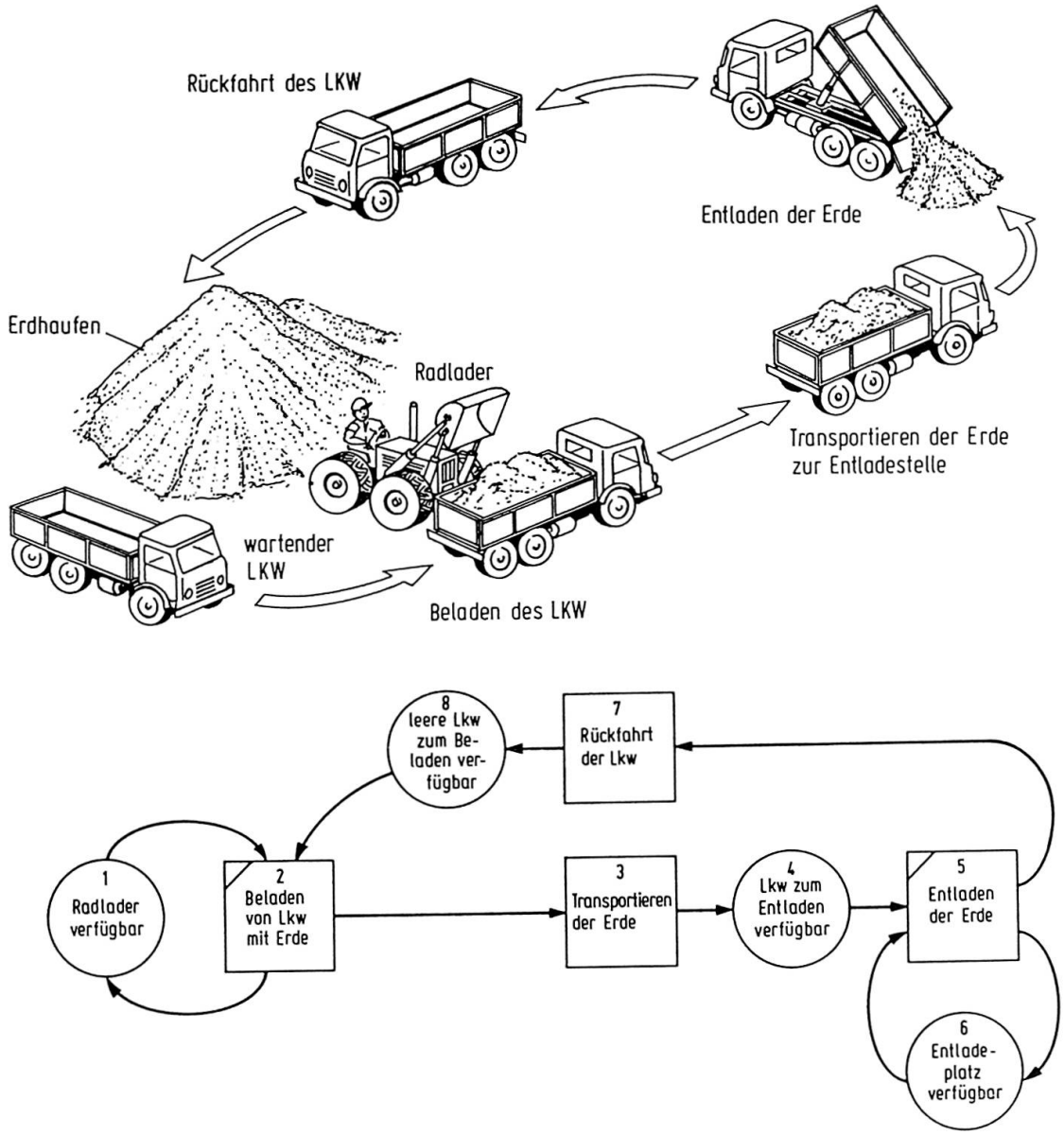
Der erste Lösungsschritt macht sich praxisspezifische oder heuristische Bauregeln zunutze. Als erste Erfahrungsregel kann angenommen werden, dass der Aushub an einer Schnittstelle zwischen einem Aushub- und einem Auffüllabschnitt stattfindet, was einen minimalen Materialtransport in der Startphase erlaubt. In einem zweiten Schritt werden dann möglichst alle anliegenden Auffüllsegmente "bedient", um das restliche Erdmaterial mit minimalstem Maschineneinsatz zu bewegen. Ein für einen Bauunternehmer idealer Bauablauf bewegt sich von einem Ende des Projektes linear zum anderen Ende. Wie Figur 1 anzudeuten versucht, bleiben nach der Anwendung der ersten Grundregel einige Aushub- und/oder Auffüllsegmente unberührt. Da sich die Anzahl auszugleichender Massenabschnitte jedoch drastisch reduziert hat, kann der verbleibende Rest mit Hilfe der linearen Programmierung gelöst werden. Die optimale Verteilung in dieser zweiten Phase geschieht aufgrund minimaler Transportdistanzen unter Berücksichtigung gegebener Kapazitätsgrenzen. Durch die Berücksichtigung von Entnahme und Deponieplätzen ausserhalb der linearen Baustelle resultiert eine interessante Optimierungsaufgabe.

Modellierung von Erdbewegungen

Der Gebrauch von Modellen ist weit verbreitet, sowohl in den technischen als auch in anderen wissenschaftlichen Bereichen. Modelle unterstützen den Denkprozess, dienen zum Experimentieren oder helfen Entscheidungen zu treffen. Durch das Modellieren von Bauabläufen kann man von allen drei Einsatzmöglichkeiten profitieren. Wesentlich ist natürlich, dass Modell und reale Wirklichkeit möglichst übereinstimmen und der Modellbenützer einen kritischen Abstand zu seinem Modell beibehält (1).

Der Massenverteilungsplan lässt zwei für den Bauunternehmer wichtig Fragen unbeantwortet. Welche Technologie soll eingesetzt werden, und welches ist die beste organisatorische Alternative, welche es erlaubt, bei niedrigsten Kosten den Zeitplan einzuhalten.

Die primäre Erdbewegungsoperation, dargestellt ind Figur 2, repräsentiert ein repetitives Arbeiten. Die zentralen Vorgänge, Laden und Transport, können als zwei zusammenhängende repetitive Zyklen für den Lader einerseits (mit den Bewegungen: Füllen der Schaufel, Manövrieren zum Beladen, Leeren der Schaufel, zurück zur Ausgangsposition) und für die Lastwagen andererseits (mit den Bewegungen: Beladen, Fahrt zur Deponie, Entladen, Rückfahrt) aufgefasst werden. Die computergestützte digitale Simulation erweist sich als hervorragendes Instrument zur Analyse von Modellen solcher repetitiven Operationen (9, 12).



Figur 2. Die Erdbewegungsoperationen als Skizze und Modell

Die Skizze zeigt schematisch einen Aushub mittels eines Radbaggers und fünf Lastwagen. Das Modell repräsentiert einen Ablaufnetzplan, dargestellt mittels Quadraten, Kreisen und Richtungspfeilen. Die Kästchen stellen Einzelaufgaben dar (z.B. Beladen), die Kreise bilden die einzusetzenden Ressourcen und potentielle Warteschlangen ab, während die Pfeile den logischen Vorgang modellieren. Um die Produktivität dieser so modellierten einfachen Operation zu bestimmen, können Computer eingesetzt werden. Sogenannte Simulationsprogramme benötigen nur noch zusätzliche Information bezüglich der Anzahl von Ressourcen (z.B. Lastwagen) und deterministische oder probabilistische (wahrscheinlichkeitsbehaftete) Zeitwerte für die Einzelaufgaben (z.B. Transport zur Deponie). Das Experimentieren mit unterschiedlichen Kombinationen erlaubt das Erstellen von Sensitivitätsanalysen.

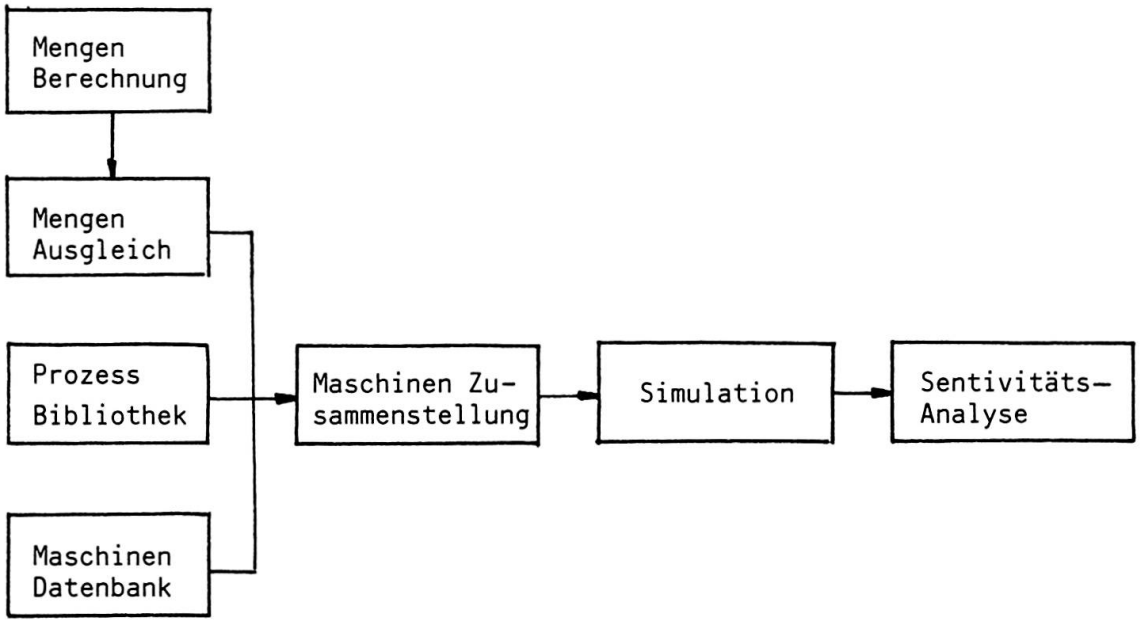
Natürlich können eine Vielzahl von Baugeräten und eine Vielzahl von Flottenkombinationen eingesetzt werden. Generell sind beim Modellieren technologische und organisatorische Alternativen zu unterscheiden.

Jede Technologie resultiert in einem speziellen Ablaufplan und basiert auf einem dafür typischen Mix von Ressourcen. Innerhalb jeder technologischen Alternative sind mehrere organisatorische Optionen betreffend Quantität und Qualität vorhanden. Resultierende Faktoren wie Einheitskosten für die einzusetzenden Ressourcen, Kapazitäten und in unserem Fall Fahrgeschwindigkeiten sind wichtige Elemente, welche im Modell einzubeziehen sind, da sie die totalen Kosten und die Projektdauer beeinflussen.

Ein Beispiel für einen modellierten Geräteeinsatzplan könnte folgendermassen aussehen:

1 Raupenlader Typ Komatsu W 170-2
2 Lastwagen MACK 200
3 Lastwagen Saurer
1 Verdichtungsmaschine Komatsu WF22T-2

Die in der Forschungsarbeit entwickelten Programmodule basieren auf den oben diskutierten Methoden. Um jedoch eine einfache Benützung des Programms zu garantieren, werden die komplexen Modellierungs- und Kompilationsaufgaben vom Computer automatisch übernommen. Das folgende Schema zeigt, wie die verschiedenen Elemente in einem System integriert sind.



Figur 3. Schema der integrierten Module

Wie oben dargelegt, ermöglicht das Modellieren von realen Operationen das Experimentieren bevor das System effektiv gebaut wird. Der experimentierende Modellbauer hat die Möglichkeit "was wenn ...."-Fragen zu stellen, um zu testen, wie das System reagiert, insbesondere wie sensitiv die Produktivität auf Faktorenänderungen reagiert.

Digitale Simulation von Bauprozessen

Die computerunterstützte digitale Simulation imitiert das Verhalten des modellierten Systems als eine Kette von Ereignissen, welches auch die Zufallsgrössen von realen Prozessen einzubeziehen vermag. Da ganz besonders Bauabläufe unstabil und "gestört" sind, ganz im Gegensatz zu stabilen chemischen Prozessen, eignet sich hierfür die Simulation ganz besonders. Wechselnde Bedingungen in der Umwelt, Unterbrüche, Versagen von Maschinen etc. passieren öfter und verunmöglichen die Benützung von Funktionen (2).

Der hier vorgestellte Simulator lässt jede vom Benützer zusammengestellte Geräteflotte an dem Projekt arbeiten. Unter der Berücksichtigung der festgelegten Arbeitszeiten, Annahmen für Schlechtwetter etc. wird die Erde gemäss Verteilungsplan Abschnitt für Abschnitt bewegt. Für jeden Abschnitt werden 5 Schritte benötigt:

Schritt 1: Definition der Distanz und des Gefälles zwischen Aushub und Auffüllung

Schritt 2: Berechnung der Fahrzeiten für die Transportgeräte

Schritt 3: Simulation der täglichen Produktion von losem Material unter Berücksichtigung von Arbeitsfaktoren und Unterbrüchen, z.B. Pausen

Schritt 4: Berechnung der notwendigen Arbeitszeiten für diesen Abschnitt, unter Berücksichtigung der quantitativen Berschränkungen im Aushub- und Deponiebereich

Schritt 5: Festlegung des nächsten Abschnittes entweder im Aushub- oder im Deponieabschnitt oder beiden.

Die für die Berechnungen notwendigen Daten werden automatisch von der Geräte-Data-Base eingeholt.

"Künstliche Intelligenz"

Wie bereits in der Einleitung dargestellt, ist das Ziel von Ablaufplanung und -kontrolle der effiziente Gebrauch von Ressourcen unter der Voraussetzung, dass eine genügende Produktivität zur Einhaltung des gegebenen Zeitrahmens erreicht wird. Zu viele Ressourcen steigern die Kosten, resultieren aber nicht unbedingt in einer Produktivitätssteigerung, andererseits verhindern zu wenig Ressourcen das Erreichen des Zeitziels. Ein intelligenter Simulator ist fähig, einen Baumanager bei dieser Optimierungsaufgabe zu unterstützen.

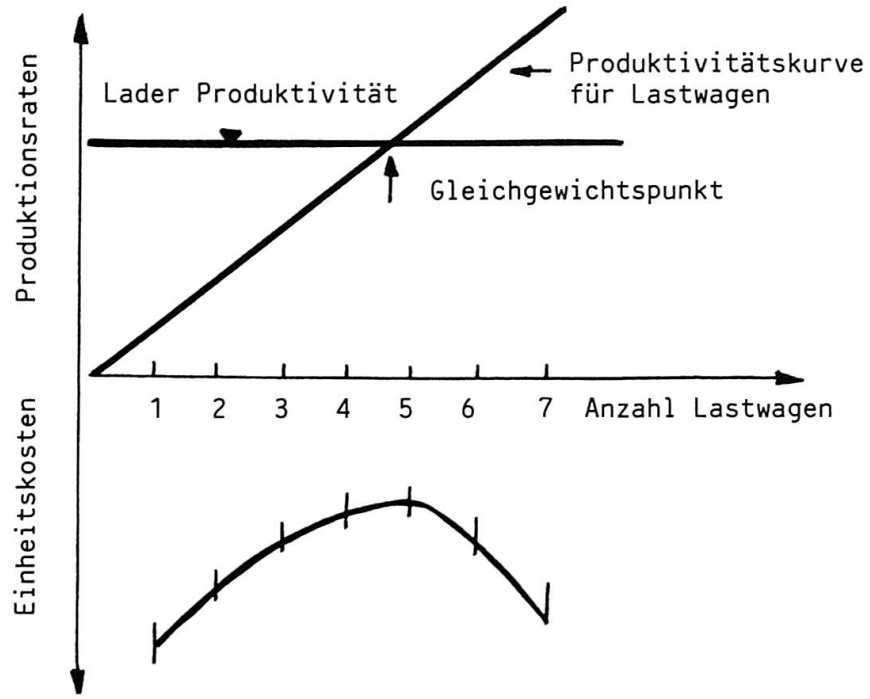
Das zentrale Problem kann sowohl heuristisch deskriptiv als auch mathematisch formuliert werden. Da die Effizienz der Beladung der Lastwagen als der kritische Faktor für die ganze Operation zeichnet, wird mit dem Versagen des Laders die ganze Operation lahmgelegt, obwohl genügend Lastwagen zur Verfügung stehen. Die "kontrollierende" Ressource, hier der Lader, ist daher der Herzschlag des ganzen Systems. Darauf basierend kann eine erste heuristische Regel definiert werden:

"Um eine optimale Produktivität zu erreichen, ist es notwendig, die kontrollierende Ressource immer aktiv zu haben."

Das zweite Ziel, Minimierung der Kosten, sollte ebenfalls berücksichtigt werden. Die zweite Regel zielt daher auf die Eliminierung von überzähligen Kostenfaktoren:

"Um die Kosten möglichst tief zu halten, muss das untätige Warten von Ressourcen vermieden werden."

Verschiedene Autoren beschreiben dasselbe Problem mathematisch (6). Die angewandte Methode lässt sich anhand eines deterministischen und zyklischen Systems erklären. Figur 4 zeigt Produktivitäts- und Kostenentwicklungen für einen Lader/Lastwagen/Aushub-Prozess mit einer variablen Anzahl von Lastwagen.



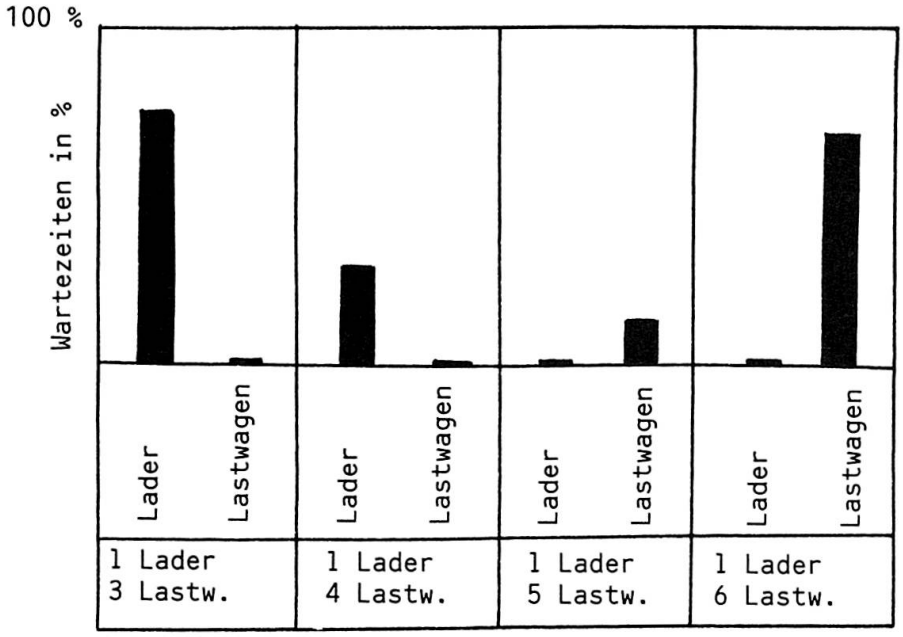
Figur 4. Produktivitäts- und Kostenkurven für ein deterministisches System

Durch zusätzliche Lastwagen kann die Produktivität des Systems erhöht werden, bis ein Gleichgewichtspunkt erreicht ist. Die Laderproduktivität entspricht an diesem Punkt derjenigen der Lastwagen. Die Kostenkurve erreicht hier ebenfalls ihr Minimum. Komplexere nicht-deterministische Systeme verhalten sich prinzipiell ähnlich.

Computerunterstützte Simulation repräsentiert eine quantitative analytische Methode. Die benutzte CYCLONE (CYCLic Operations NEtwork) Methode (4) liefert verschiedene quantitative Ergebnisse, wobei die prozentmässige oder totale Wartezeit für jede Ressource eine zentrale Grösse darstellt. Ein integrierter intelligenter Simulator ist daher in der Lage, heuristisch definierte Ziele unter Zuhilfenahme von quantitativen Simulationsresultaten selbständig zu erreichen.

Wie oben angetönt, entstehen Wartezeiten, wenn die Ressourcen nicht ausbalanciert sind. Die Resultate bei der Simulation mit drei und vier Lastwagen reflektieren die Unterbelastung des Laders im Bereich links des Gleichgewichtspunktes, dargestellt in Figur 4. Die Wartezeiten verkleinern sich mit einer Steigerung der Anzahl eingesetzter Lastwagen. Auf der anderen Seite des Gleichgewichtspunktes vergrössert sich die Wartezeit der Lastwagen. Da es unmöglich ist, 4.6 Transporteinheiten einzusetzen, ist die "optimale" Flottengrösse für diese spezielle Ausgangslage mit 5 Lastwagen erreicht. Diese Kombination zeigt 0 % Wartezeit für den Lader und eine akzeptable Wartezeit für die Lastwagen.

Figur 5 zeigt vier Wartezeit-Ergebnisse für eine simulierte Erdbewegungsoperation mit den Produktivitäten von Figur 4.



Figur 5. Lader-und Lastwagen-Wartezeiten

Intelligente Optimierung des Maschineneinsatzes

Intelligenz stützt sich unter anderem auf die Fähigkeiten Suchen und Vergleichen. Beides ist eingesetzt in dem folgenden einfachen Verfahren zur Bestimmung der besten Flottenkombination einer zu simulierenden hypothetischen Aufgabe.

Schritt 1:
VERWENDE 3 LASTWAGEN UND 1 LADER ZUR SIMULATION
Resultat: Wartezeit des Laders >> 0 %
Wartezeit der Lastwagen = 0 %
Folgerung: Verdopple die Anzahl Lastwagen

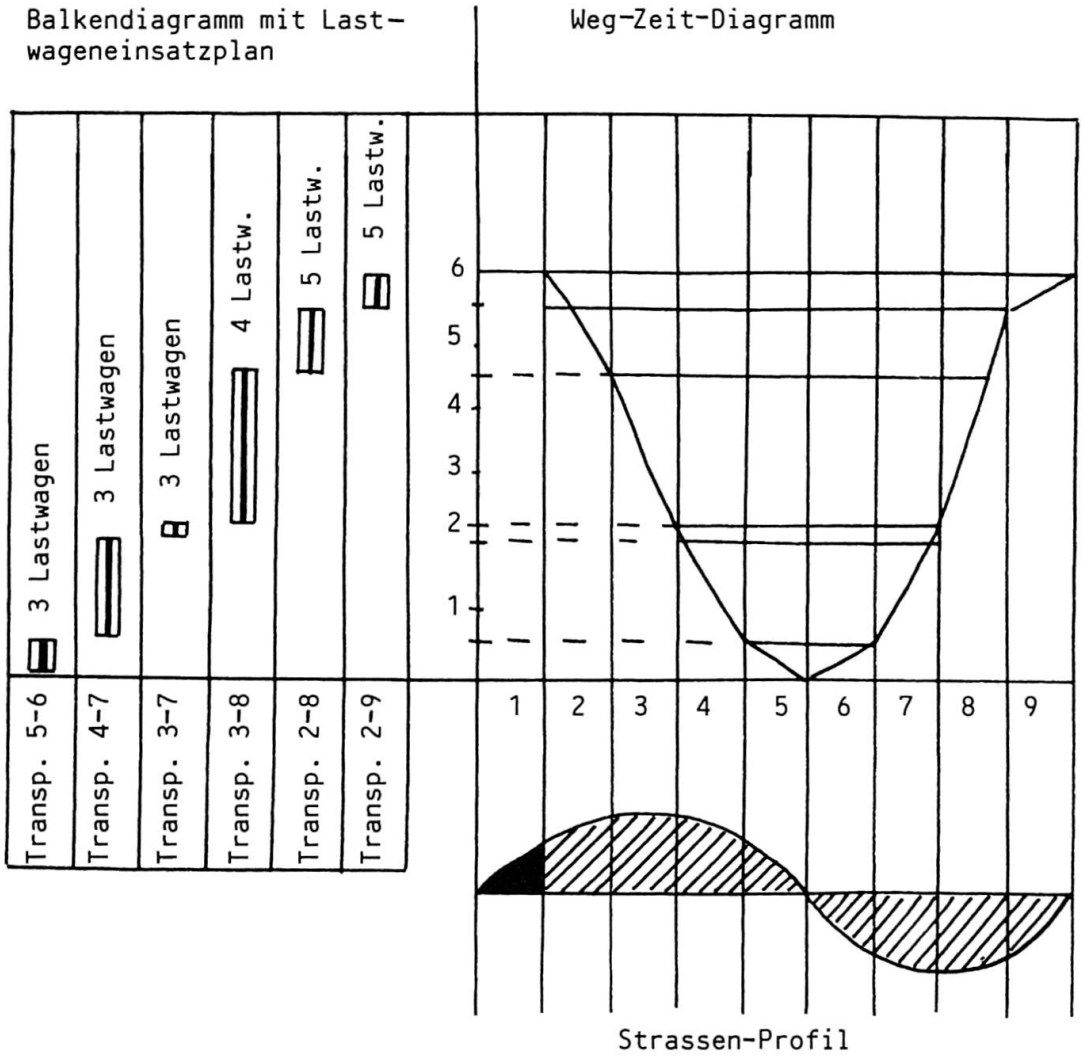
Schritt 2:
VERWENDE 6 LASTWAGEN UND 1 LADER ZUR SIMULATION
Resultat: Wartezeit des Laders = 0 %
Wartezeit der Lastwagen > akzeptable Grösse
Folgerung: Reduziere um einen Lastwagen

Schritt 3:
VERWENDE 5 LASTWAGEN UND 1 LADER ZUR SIMULATION
Resultat: Wartezeit des Laders = 0 %
Wartezeit der Lastwagen < akzeptable Grösse
Folgerung: Suche mit einer guten Lösung beendet.

Gemäss einer angenommenen Problemlösungshierarchie ist das Verfahren zuerst bestrebt, durch die Eliminierung der Laderwartezeit, die erste heuristische Regel zu erfüllen. Das zweite Ziel, eine möglichst kleine Wartezeit für Lastwagen, ist im Schritt 3 erreicht.

Es liegt auf der Hand, dass solch ein Suchverfahren nur notwendig ist, wenn ein neues Segment begonnen wird. Wenn dagegen die neue Distanz sich nur um einen Abschnitt vergrössert, kann die Suche mit der zuletzt bestehenden Flottengrösse beginnen.

Die nächste Figur zeigt das simulierte Ergebnis für ein hypothetisches Projektsegment bestehend aus 9 Abschnitten. Die Beladung beginnt in Abschnitt 5, bevor sie nach links in den Abschnitt 4 etc. vorstösst. Das Erdmaterial von Abschnitt 5 wird in den Abschnitt 6 etc. transportiert.



Figur 6. Zeitpläne und Ressourcen-Verteilung

Das Resultat der Simulation einer Lader/Lastwagen-Kombination ist in Form eines Weg-Zeit-Diagramms und eines Balkendiagramms wieder gegeben, welches zusätzliche Informationen bezüglich der benötigten Lastwagen beinhaltet.

Wie zu erwarten, entsprechen die Zeiten in jedem Abschnitt der Menge Material, welches auszuheben oder aufzufüllen ist. Die längsten Zeitn benötigen Abschnitt 3, resp. Abschnitt 8.

Längere Transportdistanzen resultieren in längeren Fahrzeiten und kürzeren Wartezeiten der Lastwagen beim Lader. Eventuell kommt es zu einem Punkt, an dem der Lader unterbeschäftigt ist, da alle Lastwagen "unterwegs" sind. Wenn diese Situation erreicht ist, vergrössert der intelligente Simulator offenbar korrekt auf die wechselnden Distanzen. Beginnend mit 3 Lastautos erkennt das System, dass 4 Einheiten gebraucht werden, um Material vom Abschnitt 3 in den Abschnitt 8 zu transportieren.

Jeder Flottentyp resultiert in einem spezifischen Zeitplan, einer Ressourcenverteilung und schliesslich dem totalen Zeitbedarf und den Projektkosten. Eine detailliertere Sensitivitätsanalyse könnte notwendig sein, so zum Beispiel zum Testen verschiedener Wetterszenarien, bevor ein definitiver Plan erstellt wird.

Der letzte Abschnitt zeigt, wie der diskutierte Ansatz für die Kontrolle von Bauabläufen im Felde eingesetzt werden könnte.

"On-Line" Kontrolle von Bauabläufen

Expertensysteme sind Hilfsmittel für die Ueberwachung und Kontrolle von Bauabläufen (5, 7, 8). Sie hängen jedoch von einer kontinuierlichen Datenerfassung während des Betriebes ab. Obwohl bei anderen Industrien bereits eingeführt, hinkt die Bauwirtschaft in der Anwendung dieser Technologie zurück. Die nachfolgende Diskussion demonstriert Einsatzmöglichkeiten für eine effiziente Einsatzkontrolle.

Die Datenerfassung bei einer Erdbewegungsoperation würde sich auf die Lade-, Transport- und Wartezeiten für jede Ressourceneinheit konzentrieren. Zusätzliche Informationen bezüglich Pannen, Zustand der Motoren mit Diagnose von Störungen etc. könnten gleichzeitig erfasst werden. Unter Anwendung einfacher Sender und Empfängeranlagen integriert in einem computerisierten Kontroll-System ist es möglich, die automatische Ueberwachung und sogar die Steuerung von ganzen Maschinenflotten zu übernehmen (11).

Neben der Anwendung zur Optimierung von Transportrouten können die Daten auch einem "intelligenten" System zur Analyse zugeführt werden. Anhand einer gespeicherten Hierarchie von Regeln lassen sich die statistisch zusammengefassten Daten untersuchen. Sollten Probleme auftauchen, würde das System selbständig unter Zuhilfenahme von heuristischen Regeln und mathematischen Methoden Lösungen ausarbeiten und dem Manager vorschlagen. Folgende drei Beispiele sollen solche Situation-Reaktion Zusammenhänge demonstrieren.

WENN: Die Transportzeit konstant > geplant
DANN: Untersuche den Grund und/oder optimalisiere mit neuen Daten

WENN: Der Lader regelmässig lange Wartezeiten zeigt
DANN: Vergrössere die Anzahl der Transporteinheiten

WENN: Der Lader regelmässig lange Wartezeiten zeigt
und die Lastwagen dauernd warten müssen
und der Lader in dieser Zeit keine Panne hat
DANN: Die Lastwagen halten sich nicht an die Fahrdisziplin

Die Formulierung der dem Manager vorgeschlagenen Problemlösung oder Reaktion verrät, dass der eigentliche Schwerpunkt dieses Verfahrens in der Warnung des Managers vor unerwarteten Zuständen liegt. Zusammenfassend gesagt, ist solch ein "on-line" Kontroll-System fähig, eine Warnlampe aufleuchten zu lassen, eine Lösung des erfassten Problems vorzuschlagen und die Lösung zu begründen. Dem Menschen bleibt die Macht der Wahl und die Entscheidung aufgrund von gesammelten Fakten und mathematisch aufgearbeiteten Argumenten.

Zusammenfassung

Modellieren und Simulieren von Bauabläufen eröffnen weitere Möglichkeiten für den sinnvollen Gebrauch von quantitativen Methoden für die Analyse und Optimierung von Bauabläufen und Ressourcen. Dieser Artikel bespricht eine Anwendung im Strassenbau im Zusammenhang mit einer neuen Methode zur Optimierung von Erdbauarbeiten. Es wurde dargelegt, wie sich digitale Simulation und künstliche Intelligenz ergänzen. Vollautomatisierte Datenerfassung in Kombination mit einem "intelligenten" Kontrollmechanismus erlaubt sogar die Steuerung von komplexen Bauabläufen. Ohne Zweifel wird dieser Schritt jedoch zuerst grössere Forschungsanstrengungen erfordern, um die komplexen Zusammenhänge zu studieren.

Forschungsergebnisse in anderen Bereichen des Bauingenieurwesens (z.B. Projektplanung oder Baugrunduntersuchungen) zeigen, wie vielseitig diese Methode eingesetzt werden kann. Mediziner in den Vereinigten Staaten benützen und verbessern bereits seit einiger Zeit ein speziell für sie entwickeltes System zur Diagnose von Krankheiten. Es ist zu hoffen, dass die Bauindustrie diese vielfältigen Techniken studiert und nutzbar macht.

Literatur

1. Bernold, Leonhard E., Productivity Transients in Construction Processes, Thesis presented at Georgia Institute of Technology in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, August 1985.

2. Bernold, L., and Halpin D.W., "Microcomputer Cost Optimization of Earthmoving Operations", CIB W-65. Proceedings of the 4th International Symposium on Organization and Management of Construction, Volume II, Waterloo, Ontario, Canada, 1984, pp. 333-341.

3. Bernold, Leonhard E., Automated Sensing for Control and Guidance in Construction, A Work Paper, University of Maryland, 1987

4. Halpin, Daniel and Woodhead R.W., Design of Construction and Process Operation, John Wiley and Sons, 1976

5. Ibbs, W., Proceedings of a Workshop for the Development of New Research Directions in Computerized Application to Constrcution Engineering and Management Studies, the University of Illinois at Urbana - Champaign, July 1985.

6. Mayer, R.H. and Robert M. Stark, "Earthmoving Logistics", Journal of the Construction Division, ASCE No. CO2, June 1981, pp. 297-312.

7. McCartland, M.R. and Cris T. Hendrickson, "Expert Systems for Construction Project Monitoring", Journal of the Construction Division, ASCE, Vol. 111, No. 3, September, 1985, pp. 293-307.

8. Paulson, Boyd C., "Automation and Robotics for Construction", Journal of the Construction Division, ASCE, Vol. 111, No. 3, September, 1985.

9. Paulson, Boyd, C., Weng Tat Chan, Chorlie C.L. Koo, "Simulating Construction Operations by Microcomputers; ASCE Proceedings, Construction Research Applied to Practice, Detroit, Michigan 1985.

10. Paulson, Boyd C., "Exploring the Potential for Automated Real-Time Date Acquisition on Construction", Proceedings CIB W-65 1984, Volume 2, Unviersity of Waterloo, Canada, 1984.

11. Sassos, Michael P., "Reserve's Mine Management System" Engineering and Mining Journal, September 1984, pp. 42-49.

12. Teicholz, Paul, A Simulation Approach to the Selection of Construction Equipment, Technical Report 26, The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Stanford Unviersity, Stanford, California, 1963.

13. Toomy, Robert S., "The Development of an Earth Distribution Analysis Program for Microcomputers", A Special Research Problem presented to the Faculty of the School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, May 1984.