

Transportlogistikplanung im Erdbau

Prof. Dr. Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing Günthner, W. A.

Akad. Dir. Kessler, S.

Dipl. Ing. Frenz, T.

Dipl. Ing. Wimmer, J.

Ausgangssituation und Problemstellung

Durch die Vielzahl an Einflussfaktoren, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen, stellt die Transportlogistik im Erdbau einen komplexen Prozess dar, der manuell nur sehr schwer zu beherrschen ist. Die Qualität der Ablaufplanung und insbesondere die Planung des Maschineneinsatzes basieren derzeit größtenteils immer noch auf den subjektiven Erfahrungswerten und Schätzungen des Bauleiters. Infolge eines fehlenden Instruments zur objektiven Ablaufplanung können Erdbauunternehmen bisher ihren Maschineneinsatz nicht gesichert für die gesamte Bauzeit planen. Wird der Gerätebedarf zu gering veranschlagt, besteht die Gefahr von Konventionalstrafen aufgrund Terminverzugs. Plant der Bauleiter hingegen Überkapazitäten als Sicherheit ein, kann es zu teuren Leerlaufzeiten kommen und die Baumaßnahme erzielt keinen wirtschaftlichen Erfolg mehr. Bild 1 zeigt wesentliche auf die Transportlogistik im Erdbau Einfluss nehmende Randbedingungen und demonstriert die Komplexität einer entsprechenden Ablaufplanung.

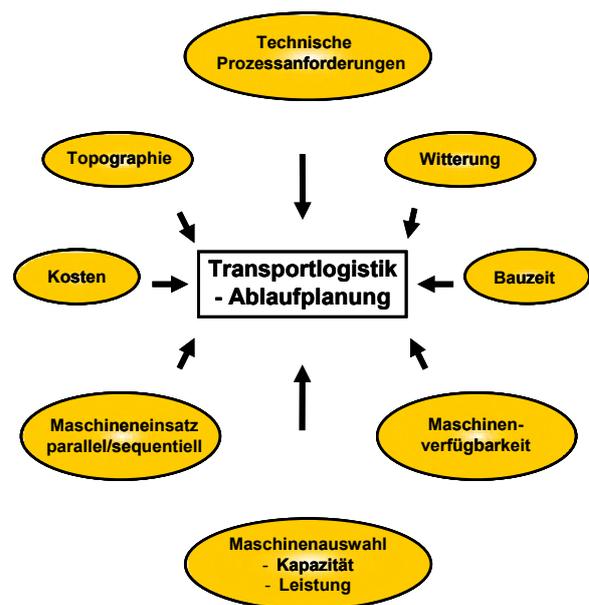


Bild1: Einflüsse auf die Transportlogistik im Erdbau

In der Planungsphase nicht absehbare Fremdeinflüsse erfordern häufig kurzfristige Um- bzw. Neuplanungen bei laufendem Baubetrieb (z.B. plötzlicher Witterungswechsel bzw. Maschinenausfall), die meist unter hohem Zeitdruck zu realisieren sind. Wird zum Beispiel festgestellt, dass die Güte des Abraumes entgegen den Annahmen aus den Probeuntersuchungen nicht die Qualität zum Wiedereinbau aufweist, muss das Material stattdessen auf einer Deponie entsorgt werden. In diesem Fall ist eine Umplanung sowohl hinsichtlich der baustelleninternen Transporte als auch bezüglich des anzuliefernden Materials zum Einbau in den betroffenen Bauabschnitten erforderlich. Plötzliche unerwartete Witterungswechsel führen zu längerem Projektstillstand und gefährden den Endtermin. Beispielsweise behindern Kälte- bzw. Frosteinbrüche das Ablösen bzw. den Abtrag des Abraumes und den Transport innerhalb der Baustelle. Starke und anhaltende

Regenfälle führen zu einer Erweichung des Untergrunds und bringen den Baubetrieb unter Umständen vollständig zum Erliegen. In beiden Fällen müsste die Zahl und/oder die Art der eingesetzten Maschinen auf die neue Situation angepasst werden. Eine detaillierte Ablaufplanung bezüglich des geplanten Maschinen- und Geräteeinsatzes innerhalb eines Bauvorhabens im Tiefbau ist somit bisher nur mit sehr großem Arbeits- und Zeitaufwand sowie dem entsprechendem Know-how möglich.

Ziel

Daher wurde vom Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München ein Forschungsprojekt ins Leben gerufen, welches im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Bundesvereinigung Logistik durchgeführt wird und aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert wird. Dieses soll dem Planer ein Werkzeug an die Hand geben, das ihn bereits in frühen Phasen des Planungsprozesses bei der Dimensionierung von Förder-, Lade- und Transportkapazitäten im Erdbau unterstützt. Durch eine frühzeitige ganzheitliche Planung lassen sich derartige Projekte in übersichtliche Teilschritte gliedern, lenken und gut kontrollieren. Die Simulationsergebnisse validieren die Ablaufplanung hinsichtlich Termintreue und Kosten. Anhand verschiedener Simulationsszenarien können unterschiedliche Maschinenkonfigurationen und Abläufe vorab getestet und objektiv bewertet werden. Treten während des Bauablaufs unvorhergesehene Störungen ein, so kann der Planer mit Hilfe des Tools hierauf schnell reagieren und den Ausfall durch eine angepasste Änderung der Maschinenkonfiguration kompensieren.

Änderungen gegenüber den bisherigen Verfahren

Um die Grundlagen für eine simulationsgestützte Planung zu schaffen, wurden die aus der Literatur bekannten Berechnungsverfahren untersucht. In diesen wird in einem ersten Schritt die Leistung des Ladegeräts ermittelt, um darauf basierend die Transportgeräte abzustimmen. Die Berechnung der Ladegerätleistung ist ausreichend bekannt und durch vielfältige Einflussfaktoren parametrierbar. Ein deutliches Optimierungspotential liegt hingegen in der Berechnung der Transportleistung, im Speziellen in der Berechnung der Umlaufzeiten der Fahrzeuge. In bisherigen Verfahren wurde die Fahrtzeit über die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge auf den unterschiedlichen Streckenabschnitten abgeschätzt oder mittels Richtwerten und Diagrammen gewonnen. In weiteren Methoden werden die Fahrwiderstände der Motorleistung gegenübergestellt und daraus die maximal mögliche Fahrgeschwindigkeit ermittelt. Diese ist dann durch einen Korrekturfaktor für die Länge auf eine Durchschnittsgeschwindigkeit für den jeweiligen Abschnitt zu reduzieren. Jedoch berücksichtigt auch dieses Verfahren nicht die dynamischen Bewegungen der Fahrzeuge. So können Bremszeiten und Zeiten für Beschleunigungen sowie Verringerungen der Geschwindigkeiten bei Kurvenfahrten nicht betrachtet werden. Dies

führt je nach Streckenprofil zu großen Abweichungen in den Fahrzeiten und somit zu Ungenauigkeiten bei der Planung der Transportkapazitäten. Dabei sind die Transporte oft für einen Großteil der Erdbaukosten verantwortlich.

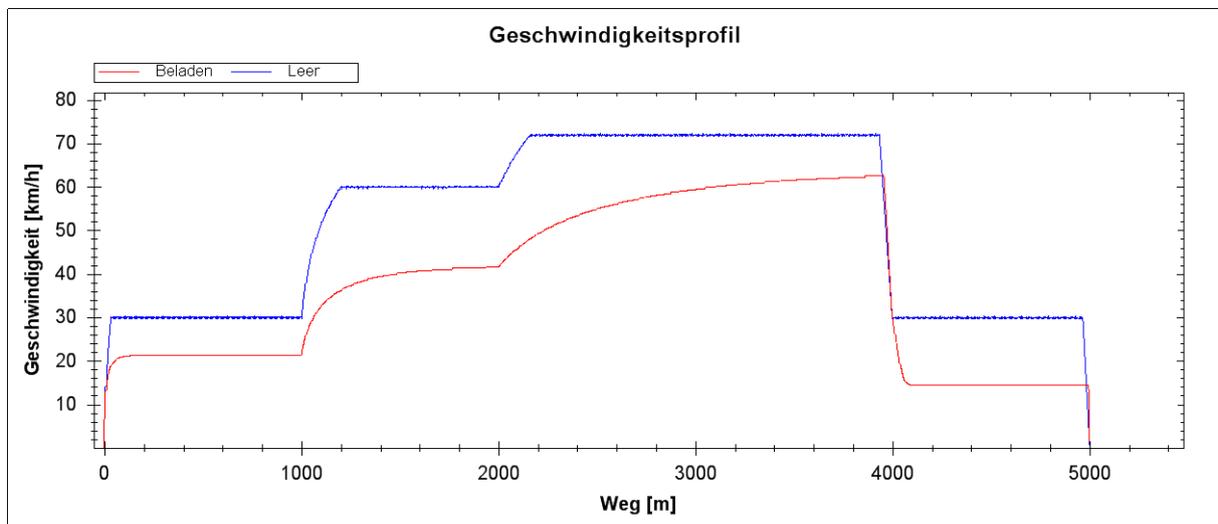


Bild 2: Beispiel für ein simuliertes Geschwindigkeitsprofil

Um die Berechnung der Fahrzeiten zu verbessern, kann die Technik der kinematischen Simulation verwendet werden. Diese bietet für jedes Fahrzeug die Möglichkeit, ein Geschwindigkeitsprofil je nach befahrener Strecke und aktuellem Beladungszustand zu erstellen. Dabei wird in sehr kleinen Zeitschritten die Beschleunigungsfähigkeit des Fahrzeugs in Abhängigkeit von der aktuellen Geschwindigkeit, den Fahrzeugeigenschaften und den Streckenparametern ermittelt. Ist die Antriebskraft im Vergleich zu den Fahrwiderständen zu klein, verringert sich die Geschwindigkeit in einem Zeitschritt, ansonsten wird sie erhöht. Grenzgeschwindigkeiten können sowohl für das Fahrzeug, als auch für die verschiedenen Streckenabschnitte angegeben werden, um z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen zu berücksichtigen. Ein Beispiel hierfür zeigt Bild 2. Im leeren Zustand erreicht das Fahrzeug die Grenzgeschwindigkeiten der Streckenabschnitte, im beladenen Zustand ist nur das Verhältnis von Fahrzeuleistung zu den Fahrwiderständen ausschlaggebend.

Um die Leistungsfähigkeit der neuen Methode zur Ermittlung der Fahrzeiten zu untersuchen, wurden auf einer Teststrecke eines Praxispartners in Berlin Tests mit zwei verschiedenen Dumpfern und zwei Traktoren mit Anhängern durchgeführt. Die ca. 6 km lange Teststrecke beinhaltet verschiedene Abschnitte mit schlecht befestigter, sandiger Fahrbahn, einer gut instand gehaltenen Baustraße und einer Teilstrecke mit hydraulisch gebundener Tragschicht (HGT). In Bild 3 sind die Abweichungen gemessener Zeiten der Gesamtfahrdauer gegenüber der kinematischen Simulation (1) und bisherigen Verfahren (2)+(3) aufgetragen. Hieraus ist zu erkennen, dass die Simulationsergebnisse (1) bei allen vier Fahrzeugen weniger als fünf Prozent von der Realität abweichen, wohingegen die anderen Berechnungsverfahren (2)+(3) zum Teil erheblich streuen.

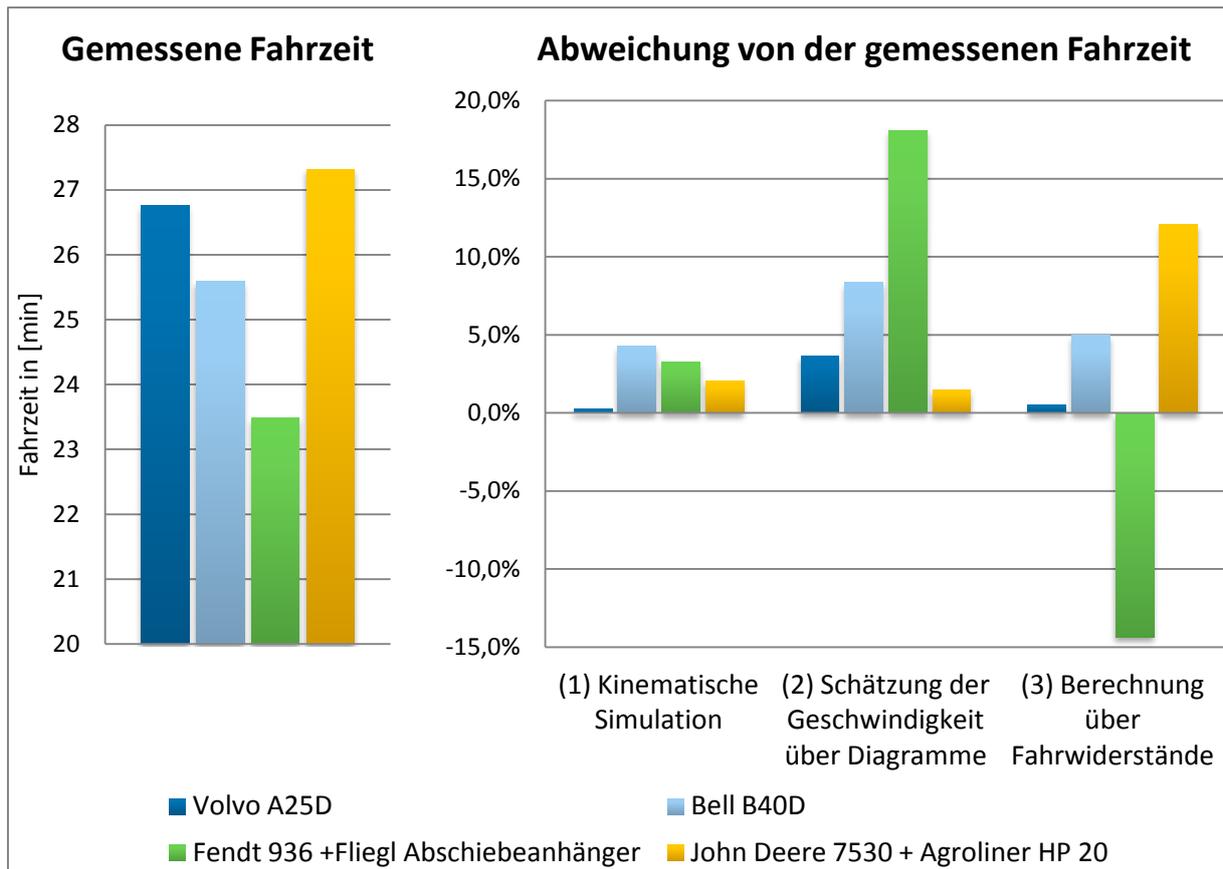


Bild 3: Abweichung gesamte Fahrzeit

Eine Schwäche in den herkömmlichen Berechnungsmethoden zur Ablaufplanung im Erdbau besteht in der getrennten Berechnung der verschiedenen am Abbauprozess beteiligten Geräte. Meist nimmt das Ladegerät die Funktion des Hauptgeräts ein. Auf dieses werden dann die Transportfahrzeuge angepasst, so dass das Ladegerät voll ausgelastet ist. Die Abhängigkeiten zwischen diesen werden nicht betrachtet. Wartezeiten, die in der Realität durch kleine Unterbrechungen, Pausen, unterschiedliche Fahrzeiten oder Maschinenausfälle entstehen, werden nur durch Schätzwerte abgebildet, unabhängig von der Maschinenkonstellation.

Ablaufsimulationen können diese Abhängigkeiten abbilden. Wie in der Realität wird jeder Arbeitsschritt der beteiligten Erdbaumaschinen durchgespielt und die Auswirkungen auf die beteiligten Geräte bestimmt. Dabei werden Schwankungen in den Prozesszeiten sowie Störungs- und Pausenzeiten durch statistische Verteilungen angenähert. Falls sich z. B. eine Störung bei einem Ladegerät ergibt, müssen alle Transportfahrzeuge warten, bis dieses wieder einsatzfähig ist. Im umgekehrten Fall steht auch das Ladegerät still, falls ein Fahrzeug ausfällt, oder für einen Umlauf länger braucht. Je nach Verhältnis der Ladegeräteleistung zur Gesamtleistung aller Transportfahrzeuge ergeben sich Wartezeiten bei den verschiedenen Maschinen.

Außerdem wird es durch die Ablaufsimulation möglich, gemeinsame Fahrzeugumläufe für mehrere Ladegeräte zu untersuchen, sowie unterschiedliche Ladegeräte oder Fahrzeuge in einem Umlauf abzubilden. Das bedeutet, dass z. B. beim Ausfall eines nicht ersetzbaren Fahrzeugs auch eine Lösung mit verschiedenartigen Fahrzeugen durchgespielt werden kann.

Umsetzung in einem Simulationstool

Die oben beschriebenen Methoden der Kinematischen Simulation und der ereignisorientierten Ablaufsimulation wurden im Rahmen des Forschungsprojekts in einem Demonstrator für die simulationsgestützte Leistungsberechnung im Erdbau zusammengefasst. Dabei sind die Geräteklasse Hydraulikbagger und die Transportfahrzeuge LKW, Dumper sowie Traktor + Anhänger im Simulationstool umgesetzt.

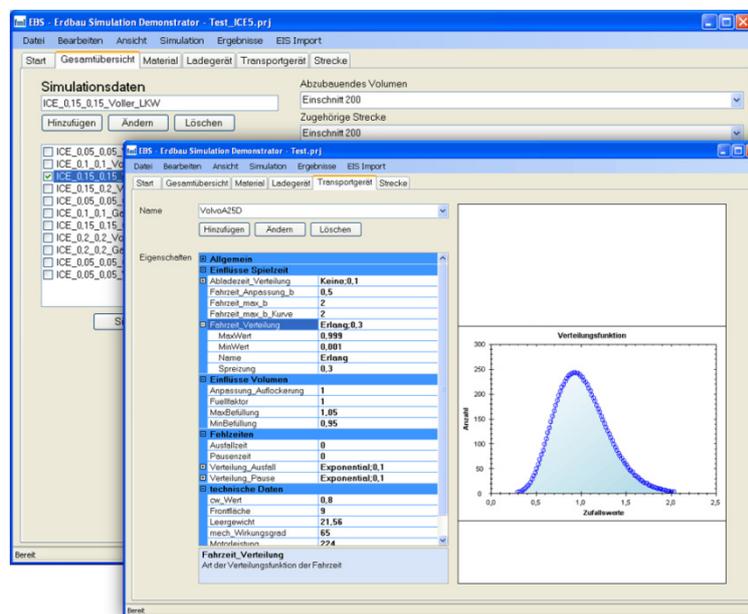


Bild 4: Simulationstool für den Erdbau

Da bisherige Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Leistung im Erdbau in der Regel sehr aufwändig sind und aus diesem Grund nicht angewendet werden, sind Vereinfachung und Benutzerfreundlichkeit wichtige Aspekte des erstellten Simulationstools. Durch eine übersichtliche Benutzeroberfläche, Minimierung der Dateneingaben und kurze Rechenzeiten wird der Einsatz auch auf der Baustelle möglich. Alle Geräte müssen nur einmal erfasst werden, um für die spätere Nutzung zur Verfügung zu stehen. Zur Vereinfachung der Dateneingabe ist eine Schnittstelle zum Equipment Information System (EIS) vorhanden, in der Maschinendaten von über 2000 Baugeräten mit ihren jeweiligen Eigenschaften abgelegt sind. Somit können beispielsweise auch Leihgeräte ohne großen Aufwand mit einbezogen werden. Zur Erstellung einer Simulation sind lediglich noch die Informationen der jeweiligen Baustelle zu spezifizieren. Diese beinhalten das zu befahrende Streckenprofil und die Abbauvolumina, die abgetragen werden sollen. Für diese Baustelleneigenschaften lassen sich dann verschiedene Kombinationen von Ladegeräten und Transportfahrzeugen in

Hinblick auf die Abbaudauer und die Kosten vergleichen. Bild 5 zeigt das Simulationsergebnis für die bereits durchgeführten Erdbautätigkeiten an einem Teilstück der ICE-Neubaustrecke von Nürnberg nach Ingolstadt. In diesem Abschnitt wurde der Abbaubetrieb mit einem Bagger und acht LKW durchgeführt. Dem leitenden Planer dieser Baustelle zu Folge decken sich die Ergebnisse des Simulationslaufes mit der Realität. Der Blick auf das Diagramm lässt erkennen, dass in der Simulation ein Abbaubetrieb mit sieben Fahrzeugen die kostengünstigste Variante gewesen wäre. Dafür hätte sich jedoch die Abbauleistung verringert.

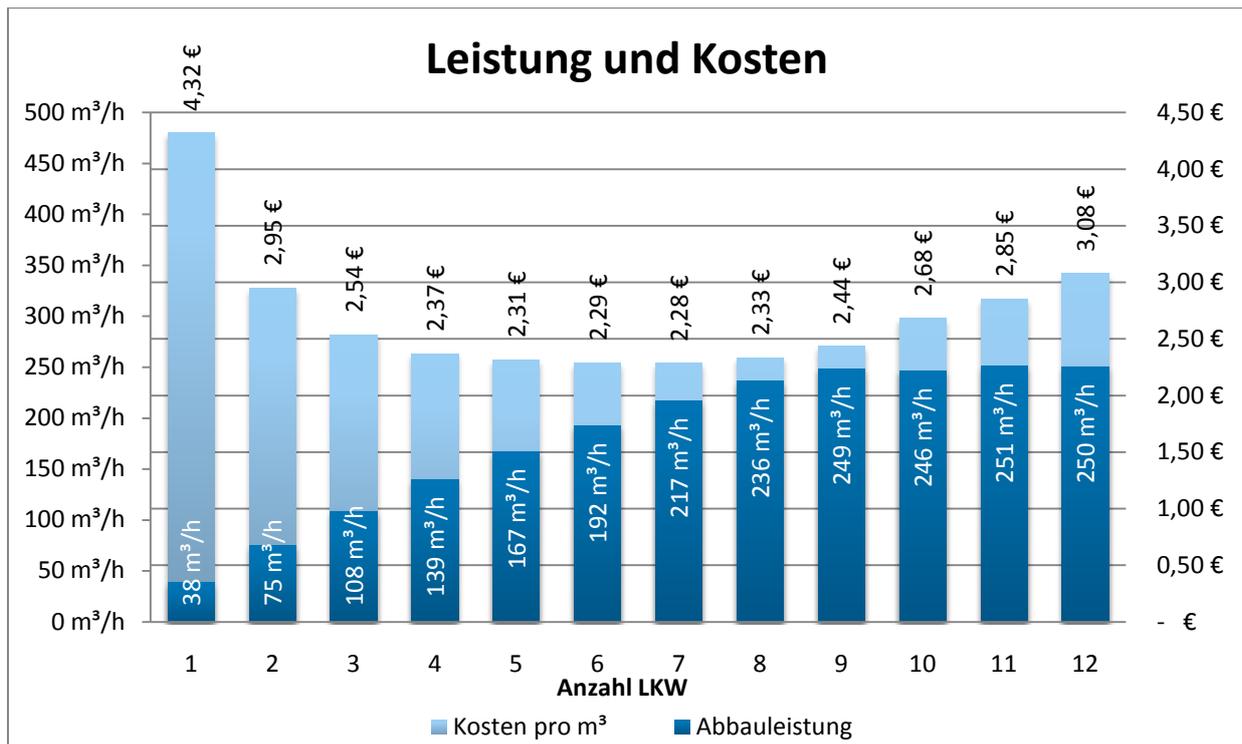


Bild 5: Ergebnisse der Berechnung des Simulationstools

Auf diese konkreten Fragen, bei wie vielen Transportfahrzeugen pro Ladegerät die wirtschaftlichste Variante vorliegt und ab wie vielen Fahrzeugen sich die Gesamtleistung nicht weiter erhöht, gibt das erstellte Simulationstool schnell und präzise Antworten. Somit erleichtert es die Planungsarbeit und erhöht die Planungssicherheit.

Zusammenfassung

Durch die neuartige Kombination der Kinematiksimulation zur Berechnung der Fahrzeiten mit der ereignisorientierten Simulation des Zusammenspiels von Ladegerät und Fahrzeugen kann die transportlogistische Ablaufplanung im Erdbau erheblich verbessert werden. Das im Rahmen des Forschungsprojekts erstellte Simulationstool erlaubt es, die Kosten und die Dauer von Erdbauprojekten genauer als mit den bisherigen Methoden vorherzusagen. Außerdem ist eine schnellere Reaktion auf unerwartete Verzögerungen im Bauablauf möglich, da verschiedene Planungsszenarien ohne großen Aufwand durchgespielt werden können. Durch die bessere Planbarkeit entsteht ein wirtschaftlicher Nutzen, da sowohl zu

hohe Kosten infolge einseitiger Überkapazitäten, als auch Konventionalstrafen aufgrund einer zu geringen Leistung der verwendeten Maschinenkombination vermieden werden.