

Neue Baumaschinen-Generationen mit Einsatz modernster Kommunikationstechnik

1 Stand und allgemeine Entwicklungstendenzen der Baumaschinentechnik

Bei dem Versuch, die in der Vergangenheit stattgefundenene Entwicklung der Baumaschinentechnik auf die Zukunft zu extrapolieren, ergibt sich die Schlussfolgerung, dass sich in den nächsten Jahrzehnten kaum etwas verändern wird. Bagger werden stets den Grabvorgang ausführen, dessen praxisrelevanten bodendynamischen Grundlagen weitestgehend abgeklärt sind, Krane heben Lasten und setzen sie am vorbestimmten Ort ab; Mischer mischen und Pumpen pumpen wie schon seit Jahrzehnten. Grundsätzlich neue Funktionsprinzipien sind gegenwärtig nicht absehbar. Auch die Antriebstechnik der Baumaschinen wird frei von Überraschungen sein. Die Träume der Hersteller über die Baumaschinen des Jahrganges 2000 aus den 50er Jahren [9], wie atomare Antriebe mit unbegrenztem Aktionsradius und windschnittige CAT-Scraper mit Gummihalbraupen für 60 km/h, haben sich als Schäume erwiesen. Heute sind die Firmen vorsichtiger mit langfristigen Prognosen, um sich der Blamage überschwänglicher Prognosen zu entziehen.

Der Fortschritt der Baumaschinentechnik ist dennoch groß. Er zeigt sich aber wenig spektakulär in Detailveränderungen, also in einer evolutionären Entwicklung, zum Beispiel durch:

- Verbesserung spezifischer technischer Nutzungsparameter, wie des Masse-Leistungs-Verhältnisses,
- Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit,
- Verringerung des Wartungs- und Instandsetzungsaufwandes,
- ständige Verbesserung der Umweltparameter (vor allem der Schadstoff-, Lärm- und Vibrationsmissionen),
- Entlastung des Personals bei der Maschinenbedienung durch Automatisierung von Routinevorgängen, Selbstüberwachung interner Maschinenparameter und wartungsfreien Betrieb,
- Optimierung der ergonomischen Bedingungen für das Bedienungspersonal¹ und Gewährleistung eines hohen Niveaus der technischen Sicherheit und der Arbeitssicherheit,
- Verschmelzung von Baumaschinenherstellung, -vertrieb, -finanzierung, -vermietung einschließlich weiterer Servicedienste unter den Randbedingungen globaler Märkte und weltweit agierender Komplettanbieter.

Intelligentes Bauen, d. h. Bauen unter Einsatz modernster Technik und unter fortschrittlichen Organisationsformen, verlangt **intelligente Baumaschinen**. Dabei spielt die Automatisierungstechnik eine wichtige Rolle. Viele Komponenten der automatischen Steuerung von Maschinenkomponenten sind zur Selbstverständlichkeit geworden, ja werden vom Nutzer oft gar nicht wahrgenommen. Die neuesten Errungenschaften der Mikroelektronik, wie Prozessrechner, speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) oder intelligente Bus- und Sensorsysteme, haben längst Einzug in Baumaschinen und Fahrzeuge gehalten. Die Baumaschinen werden tatsächlich immer intelligenter. Beispiele dafür sind „Power-Management-Systeme“ oder Antikollisions- und Schwenkbereichbegrenzungssysteme an Kranen.

¹ Hier findet mittlerweile bereits eine Diskussion darüber statt, dass die Bedingungen teilweise schon zu „gut“ und die Bediener physisch unterfordert sind (vgl. z. B. [9]).



Eine Revolution, also ein großer Entwicklungssprung, wird jedoch in der Baumaschinentechnik nach Meinung des Verfassers erst mit der konsequenten Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Vernetzung der Baumaschinen stattfinden. Hier findet gegenwärtig ein Entwicklungsprozess statt, der sich rasant in allen Bereichen der Wirtschaft und des privaten Lebens vollzieht und den Übergang von der Industrie- zur Informationsgesellschaft charakterisiert.

Bisher galt im Allgemeinen die Aufmerksamkeit der Hersteller und Anwender der einzelnen Maschine und teilweise auch deren Kombination zu Maschinenkomplexen nach entsprechender geometrischer und leistungsmäßiger Abstimmung. Die Folge waren stets Insellösungen. Das Neue in der Baumaschinenanwendung folgt aktuellen Trends, die Fertigungssysteme effizienter machen sollen, wie:

- **Systemdenken**

Insellösungen führen zu suboptimalen Ergebnissen. Die Wirtschaftlichkeit des Gesamtunternehmens besitzt höhere Priorität. Die weiter gefassten Grenzen des Suchraumes erfordern die Verknüpfung der bisherigen Insellösungen zu großen Systemen. Da vor allem in der Baupraxis auf langfristigen Planungen basierende Optimierungen schnell verworfen werden müssen, weil die Randbedingungen einem schnellen Wandel unterliegen, sind dynamische Ansätze erforderlich. Diese erfordern aktuelle und für alle Systemelemente synchrone Zustandsbeschreibungen, die nur mit modernen Mitteln der Kommunikation realisierbar sind.

- **Prozessorientierung**

Baumaschinen sind deutlich prozessorientiert. Stärker als in Fertigungsanlagen der stationären Industrie unterliegt ihr Arbeitsregime Schwankungen, die regelmäßige Anpassungen erfordern, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten. Das erfordert Schnittstellen zur Kommunikation der Maschine mit dem Arbeitsgegenstand und zur Erfassung aller relevanten Prozessparameter.

- **Kostentransparenz**

Während des Maschineneinsatzes sind solche Prozessdaten zu gewinnen und einem in kurzen Zyklen arbeitenden Auswertungs- und Berichtssystem zuzuführen, die Aussagen über dessen Effizienz sowie Planungsdaten liefern bzw. präzisieren und fortlaufende Kosten- und Leistungskontrolle gewährleisten.

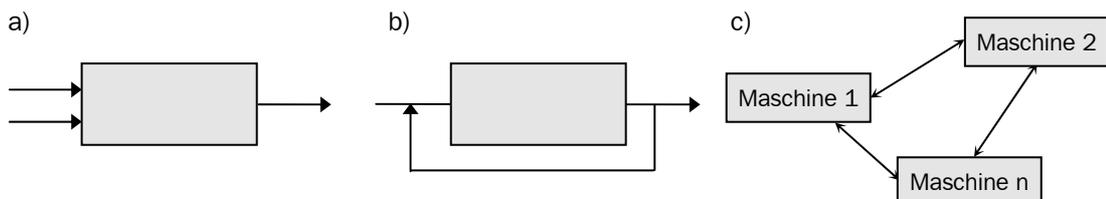
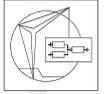


Bild 1 Entwicklungsetappen der Baumaschinensteuerung

a) einfache Steuerung, b) kybernetische Steuerung einzelner Aggregate (Regelkreis), c) vernetzte Steuerung mit Kommunikation zwischen einzelnen Baugruppen oder auch Baumaschinen

Das Thema dieses 2. Tages des Baubetriebs ist geprägt von der Überzeugung der Veranstalter, dass eine wesentliche Voraussetzung für den konjunkturellen Aufschwung der Baubranche in Innovationen liegt. Innovation bedeutet nicht nur „Vorsprung durch Technik“, Mittel um Kosten zu sparen, sondern auch Anreize und Begeisterung für das Bauen zu schaffen. In einem Beitrag zu internetbasierten Technologien für die Baubranche konstatieren die Verfasser: „Durch eine Öffnung gegenüber neuen Technologien würden Bauunternehmen das verstaubte Image verlieren und sich neu am Markt positionieren. Es ist damit zu rechnen, dass diejenigen Bauunternehmen das Tal durchschreiten werden, die sich neue Modelle der Auftragsabwicklung einfallen lassen und Wege der Kommunikation gehen. Das sind Modelle, bei denen der Bauherr die Augenbrauen vor Bewunderung ob dieser Innovationsbereitschaft hochzieht“ [2].

2 Automatisierung und Robotisierung



Automatisieren bedeutet, technische Einrichtungen so zu gestalten, dass sie selbsttätig funktionieren, ohne Zutun des Menschen. Automatisierung ist die konsequente Weiterführung der Mechanisierung. Während die Mechanisierung den Menschen von monotoner und schwerer körperlicher Arbeit befreit, indem sie ihn Maschinen und Apparate bedienen lässt, die diese Arbeiten verrichten, nimmt die Automatisierung ihm diese Bedienung auch noch teilweise oder vollständig ab und überlässt ihm nur noch die Überwachung der Prozesse. Allein die technischen Möglichkeiten bringen nicht den Nutzen. In einem iterativen Prozess sind auch die Gestaltungsansätze für die Erzeugnisse und Prozesse ihrer Herstellung und Nutzung, die Arbeitsbedingungen des Menschen und die gesellschaftliche Arbeitsteilung weiter entwickeln. Dazu sind schonungslos Schwächen in Technik und Organisation aufzudecken, denn Technik ist unbestechlich, macht keine faulen Kompromisse. Die Physik wirkt immer! Am Menschen liegt es, die Zielfunktionen zu setzen und Störgrößen zu beachten oder zu eliminieren. Wenn die Technik „nicht richtig“ funktioniert, so hat stets der Mensch etwas falsch gemacht.

In modernen Baumaschinen, vor allem leistungsfähigen Maschinen im Erdbau und Spezialtiefbau sowie Hebezeugen, werden Dieselmotor, Antriebsstrang, Hydraulik und Sicherheitseinrichtungen immer mehr in ganzheitliche Steuersysteme einbezogen. Die Systemkomponenten werden nicht mehr für sich allein optimiert, sondern für die Maschine in ihrem Zusammenwirken als Ganzes. Dieses Systemdenken führt zu intelligenten Maschinensteuerungen. Die Anforderungen hinsichtlich Funktionsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit an diese Systeme sind außerordentlich hoch, können doch sogar Menschenleben von deren richtigem Funktionieren abhängen. Also gehören zu solchen Systemen auch redundante Komponenten, Selbstüberwachung der Betriebszustände und Einrichtungen zur Plausibilitätsprüfung sowie permanenten Selbstdiagnose.

Beispiele automatisierter Baumaschinenkomponenten, die heute zum Stand der Technik gehören, sind:

- EDC (Electronic Drive Control), die rechnergestützte Fahrwerkssteuerung einschließlich Radschlupfkontrolle zur Gewährleistung optimaler Traktion und Richtungsstabilität,
- leitstrahlunabhängige Tiefensteuerung an Baggern,
- Arbeit mit gespeicherten Bedienoperationen und Betriebszuständen, wie z. B. Baggerautomaten, die nach einem Lerndurchgang (teach in) die vom Baggerführer vorgegebenen Zyklen wiederholen, sich aber wegen ihrer noch mangelhaften automatischen Anpassung an veränderte Umgebungsbedingungen, nicht am Markt behaupten konnten, vgl. z. B. [8],
- automatische Anpassung der Arbeitsparameter von Walzen an den erreichten Verdichtungsgrad, z. B. VARIOCONTROL von BOMAG [16], [30, S. 77],
- Fuzzy Control Expansion (FCE) zur automatischen Steuerung des Vortriebsprozesses an Microtunnelmaschinen unter Nutzung eines Expertensystems (HERRENKNECHT) [26],
- Selbstüberwachungsroutinen von Maschinenzuständen und verschleißabhängige Baugruppeninstandsetzung.

Während die Automatisierung einzelner Maschinenkomponenten heute schon Stand der Technik ist, gestaltet sich im Bauwesen die **Automatisierung komplexer Arbeitsabläufe** schwierig. Bislang sind nur Einzelfälle automatisierten Bauens bekannt. Das SMART-System (**S**himizu **M**anufacturing System by **A**dvanced **R**obotics **T**echnologie [29]) beinhaltet eine automatisierungsgerechte Hochhauskonstruktion und ein darauf abgestimmtes robotisiertes Fertigungssystem mit automatisierten Transport- und Hebemechanismen, Verbindungs- und Schweißrobotern sowie ein computerisiertes Baumanagementsystem. Das japanische Modell züchtete übertriebene Erwartungen. Dieses System setzt man jedoch nur dort ein, wo mindestens 20 Stockwerke sofort gebaut werden, und das bei einer Vielzahl von Bauwerken. Aber solche Baustellen machen auch in Japan nur 1 % des dortigen Bauvolumens aus [19]. Solche Hochbauautomaten wird es in Deutschland nicht geben – so der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie. Dazu fehlt ein wirtschaftlicher Anwendungsumfang. Dennoch gehört dem Roboter die



Zukunft auf der Baustelle, so WIM LENFERT, Vorsitzender des Geräteausschusses des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie auf der Bautec '96 [4].

In der Bauwirtschaft darf kein technischer Rückstand auftreten, er würde sowohl die Bauindustrie als auch deren Beschäftigte treffen. Mittelfristig gehören alle „traditionellen Bauverfahren“ auf den Prüfstand. Die Ansätze gehen bis hin zur Integration der Baumaschinen in intelligente Systeme in Gestalt flächendeckender und Gewerke übergreifender Netzwerke [4].

Roboter sind universell einsetzbare Handhabungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Bewegungsbahn frei programmierbar und sensorgeführt sind, so dass ein mechanischer Eingriff nicht mehr erforderlich ist.

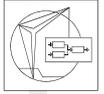
Die Bauindustrie tut sich mit der Anwendung der Robotertechnik besonders schwer. So ist zum Beispiel der Einsatz von Mauerwerksrobotern, die bereits einen hohen Entwicklungsstand erreicht haben, umstritten. Diese messen sich sensorgesteuert auf der Baustelle ein und erstellen vor Ort das vorgegebene Mauerwerk. Dennoch ist es sehr aufwändig, die Roboter den jeweiligen Baustellenbedingungen und Bauwerksanforderungen anzupassen [4]. Im schwäbischen Geislingen/Steige erfolgte im Frühjahr 1998 ihr erster Baustelleneinsatz. Ein Prototyp versetzte massive Poroton-Planziegel mit Vakuum-Greifer (ca. 1,4 min/Stück).

Erhebliche Schwierigkeiten bei der Entwicklung und Anwendung von Mauerwerksrobotern ergeben sich aus Maßtoleranzen sowie der laufenden Umsetzungen des Roboters – Problemstellungen, die Sensortechnik und Kommunikation mit der Umgebung verlagern. 80 % aller Bauunternehmen in Deutschland beschäftigen weniger als 20 Mitarbeiter! Ein Bauroboter wird ca. 200000 ... 250000 Euro kosten. Nur 1 % der Firmen mit mehr als 200 Beschäftigten könnte sich solch eine Maschine leisten. Sie werden aber dazu kaum bereit sein, da Subunternehmer billiger und flexibler sind. Zudem befürchten Vertreter kleiner und mittlerer Bauunternehmen, dass mit der weitergehenden Automatisierung ihre bislang herrschende Unabhängigkeit von den Steineherstellern und der Ziegelindustrie verloren geht [4].

Ein hoffnungsvoller Ansatz ist der ROADROBOT, ein von VÖGELE unter Beteiligung von fünf europäischen Ländern entwickelter vollautomatischer Straßenfertiger. Er navigiert selbst, verteilt, nivelliert, profiliert und verdichtet automatisch das Material und ist mit einem ausgeklügelten Sensorsystem ausgestattet. Er wird über Touchscreen des Bordcomputers oder per Funk vom Baubüro aus programmiert.

Automatisierte Technik ist High-tech, setzt verantwortungsbewusstes und sachkundiges Arbeiten voraus. Auf dem Bau werden nur wenige Baumaschinen von ein und derselben Person, geschweige denn immer vom eigenen Personal eines Unternehmers, bedient. Die Maschinen sind aufgrund von Konjunktur und Auftragsschwankungen nur zu 60 % ausgelastet. Der Gerätezustand ist auch nicht immer der beste, die Maschinen im Durchschnitt älter als in der stationären Industrie [19]. Auf dem Bau arbeiten oft viele Menschen relativ eng nebeneinander. Was ist, wenn zwischen diesen plötzlich ein Roboter herumfuhrwerkelt? Neben der Beseitigung schwerer und monotoner Arbeiten ergeben sich neue Arbeitsschutzprobleme. Voraussetzung für modernes Bauen ist grundsätzliches Umdenken: nicht nur nach Mark und Bauvolumen, sondern nach Umweltverträglichkeit und Innovationsgrad. Reserven bestehen vor allem in der Prozesssteuerung bis hin zur Just-in-time-Produktion. Hoch entwickelte Maschinen verlangen auch nach neuen Konzepten der Baustellenorganisation und sogar neue Bauesysteme und -konstruktionen.

Die Praktiker fordern angesichts der Spezifik der Bauproduktion zu Zurückhaltung auf. So fordert G. KOTTE, dass die Bauwirtschaft zunächst einmal in Verbindung mit den entsprechenden Herstellern die verfügbaren Baumaschinen, zum Beispiel bezüglich Instandhaltungsaufwendungen oder bestimmter Kontroll- und Steuermechanismen, verbessern sollte, anstatt nach neuen Automatiksystemen zu rufen [21, S. 37]. Auf dem Weg zum Einsatz von Robotern auf deutschen Baustellen sieht er u. a. folgende Hindernisse [21, S. 40ff]:



- fehlende Qualifikationsstruktur im Baumaschinenbereich auf dem Installations-, Bedienungs- und Instandhaltungssektor,
- hohe Investitionskosten bei nicht abschätzbarer Wirtschaftlichkeit und daraus folgende traditionelle Zurückhaltung der Bauunternehmen in Bezug auf Anschaffung innovativer Baumaschinen und -geräte,
- Unsicherheiten aus der nur kurzfristig überschaubaren Auftragsituation,
- unveränderte Ablehnung teurer industrieller Fertigungstechnik, die einen hohen Wiederholgrad und Vereinheitlichung fordert, mit dem Argument der Notwendigkeit „individueller Bauweisen“,
- fehlende Kenntnisnahme neuer Technologien seitens der Entscheidungsträger und Arbeitsvorbereiter unter dem Druck des Tagesgeschäfts und drohender Risiken.

Einige dieser Argumente sind typisch für den Widerstand gegen jegliche neue technische Lösung und werden beharrlichem Streben nicht standhalten. Andere Fakten zeigen, dass Innovationen langfristige Vorgänge sind und Mut, Durchhaltevermögen und ausreichende Finanzkraft verlangen. Grundlagenforschungen für Bauroboter betreiben z.B. das Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und der Lehrstuhl für Baurealisierung und Bauinformatik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. T. Bock) an der TU München.

Es stimmt tatsächlich, dass sich Bauabläufe aufgrund der ständig wechselnden Umgebungsbedingungen schwer automatisieren lassen, weil es kaum möglich ist, einen Bauablauf hinreichend genau zu planen. Deshalb kann auch die Arbeit eines Baggers oder Kranes nicht programmiert werden, obwohl in wissenschaftlichen Publikationen zahlreiche theoretische Ansätze dafür vorliegen. Der Überwindung dieser Schwierigkeiten wird erst mit moderner Sensorik (für die Standortbestimmung, also Orientierung im Raum, und Prozessdatenbestimmung) und Kommunikationstechnik (zur allumfassenden Datenübertragung) möglich.

3 Effiziente Baumaschinennutzung

Wirtschaftlich mit Baumaschinen arbeiten bedeutet:

- Die Maschine arbeitet im optimalen Arbeitsregime ohne unnötige Unterbrechungen und damit auch bei optimalem Energieverbrauch und Verschleiß. Somit sind z.B. minimale spezifische Betriebs- und Reparaturkosten zu erwarten.
- Der Personalaufwand ist sowohl qualitativ als auch quantitativ optimal.
- Der bestehende Maschinenpark wird optimal ausgelastet.

Damit wird deutlich, dass für ein globales Optimum eine Vielzahl von Bedingungen zu erfüllen ist. Das ist praktisch kaum möglich. Deshalb wird stets eine suboptimale Lösung das Ergebnis aller Bemühungen sein.

Die günstigste Mechanisierungslösung für eine vorgegebene Fertigungsaufgabe gewährleistet unter Einhaltung aller gegebenen Restriktionen (Qualität, Arbeitsschutz) die Erfüllung der Bauaufgabe in der geforderten Qualität und Bauzeit (Termin!) bei größtmöglicher Annäherung an das Optimum der technisch-wirtschaftlichen Zielfunktion.

Die Gewährleistung der effizienten Baumaschinennutzung beinhaltet folgendes Aufgabenspektrum, das in großen Unternehmen die Maschinentechnischen Abteilungen (MTA) wahrnehmen:

- Einsatz und Betrieb (Beschaffung und Aussonderung, Parkbildung, Disposition),
- Maschinenschutz und -erhaltung (Instandhaltung, Zugangsberechtigung und Diebstahlschutz, Auffinden und Wiederbeschaffen gestohlener Baumaschinen),
- Abrechnung und Bewertung (Ortung, Betriebsdatenerfassung, Datenauswertung und Bildung von Kalkulationswerten bzw. -kennzahlen).



Die effiziente Baumaschinennutzung setzt Informationen, beginnend bei Projektdaten über Betriebsdaten bis hin zu Abrechnungsdaten voraus. Diese Daten müssen in der Regel allen Nutzern simultan und in der gleichen Fassung zur Verfügung stehen. Diese Forderungen sind nur mithilfe moderner Kommunikationstechnik erfüllbar.

4 Kommunikation in und um Baumaschinen

4.1 Überblick

Baumaschinen erfassen, verarbeiten und nutzen Daten intern und extern. Die internen Daten dienen vorwiegend der Steuerung der technischen Maschinenfunktionen, die externen Daten der Orientierung, der Steuerung der Arbeitseinrichtungen (einschl. Information des Bedieners) und der Einsatzabwicklung. Beide Problemfelder sollen nachfolgend, soweit dies möglich ist, getrennt dargestellt werden.

4.2 Datenmanagement in Baumaschinen

Dominierten bislang mechanische und hydraulische Baugruppen, so werden diese zunehmend durch elektronische Lösungen abgelöst. Nockenwellen werden durch computergesteuerte Aktoren ersetzt, deren Software die Synchronisation von Bewegungen und die einfache Anpassung an neue Anforderungen ermöglicht. Das Schalten von Gängen im Lastschaltgetriebe erfolgt ebenfalls computergesteuert. Synchronisatoren sind überflüssig geworden, da Getriebe und Dieselmotor miteinander Informationen austauschen und über EDC (Electronic Diesel Control) per Rechner der Gleichlauf der Wellen beim Schalten gesichert wird. Zunehmend finden „by wire“-Techniken Anwendung, also das Betätigen von Maschinenelementen computergesteuert über ein Bussystem (per „Draht“) unter Verwendung elektro-mechanischer Aktoren anstelle von Hebel- oder Hydrauliksystemen.

Das Neue an dieser Technik ist die Vielfalt von Informationen, die maschinenintern erfasst und ausgetauscht werden. Und diese Informationen werden nicht nur für die Realisierung technischer Steuerfunktionen genutzt, sondern stehen auch für andere Aufgaben, wie Diagnose, Fernwartung und Fernsteuerung, Abrechnung u. a. zur Verfügung. Dafür müssen sie nur noch abgegriffen und übertragen werden.

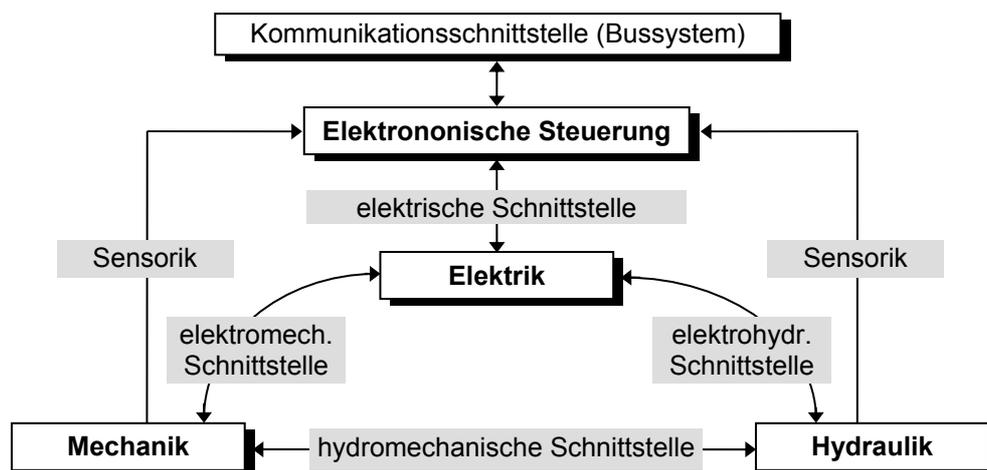
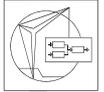


Bild 2 Baumaschinensteuerung der neuen Generation (nach [31])

Die Entwicklung auf diesem Gebiet hat erst begonnen. Die Vielzahl von Kabelbäumen wird durch ein einheitliches Kommunikationsnetz ersetzt: Datenbusse. Die Aggregatesteuerung erfolgt nicht mehr in speziellen Datenleitungen, sondern über einen einheitlichen Bus (ohne Kabelsalat). Noch gibt es keinen einheitlichen Standard für Datenbusse. Die vielen Daten müssen sehr schnell mit geringer Latenz-



zeit² übertragen und verarbeitet werden („Echtzeit“-Regime). Deshalb spielt, neben der Weiterentwicklung der Sensor- und Aktorentechnik, bei der Schaffung intelligenter Baumaschinen das interne Datenmanagement eine wichtige Rolle.

Die konsequente Einführung der by-wire-Technik, also ohne mechanische oder hydraulische Baugruppen, die im Falle des Versagens der Elektronik einspringen könnten, stellt noch höhere Anforderungen an die Datenübertragung, die von aktuellen Bussystemen, wie dem CAN (Controller Area Network) – vor mehr als 10 Jahren von Bosch für den Automobilbereich entwickelt, nicht erfüllt werden können. Neue Protokolle mit Verwandtschaft zum Internet werden Einzug halten, wie zum Beispiel das TTP (Time Triggered Protocol), das fehlertolerant und zeitgesteuert ist. Hier werden Daten nicht nur dann übertragen, wenn etwas passiert, sondern die Kommunikation findet permanent nach einem exakten Zeitplan statt. Ebenso wie im Internet werden die Daten in Paketen übertragen, verifiziert und im Fehlerfall durch Sendewiederholung automatisch korrigiert. Ein Zentralrechner allein kann die große Datenmenge aber nicht verarbeiten. Deshalb werden die einzelnen Maschinenbaugruppen (Dieselmotor, Einspritzanlage, Energiemanagement, Getriebe, Bremse mit Antriebs-Schlupf-Regelung usw.) selbst immer intelligenter und deshalb mit eigenen Prozessrechnern ausgestattet. Diese übernehmen die interne Steuerung und kommunizieren mit den anderen nach einem einheitlichen Protokoll – in modernen Oberklasse-Limousinen sollen z. B. künftig bis zu 100 „Netzteilnehmer“ an Bord sein. Das gesamte System wird also in Subsysteme überschaubarer Größe gegliedert, die oft auch eine eigene Intelligenz besitzen (Mikroprozessoren). Funktional eng gekoppelte Einheiten (mit hohem Datenaustausch untereinander) werden zu Teilnetzen zusammengefasst. Die Einzelrechner können sich im Fehlerfall auch „vertreten“, weil die Steueraufgaben auf zwei oder mehr „Master“ verteilt werden, die im Normalbetrieb Überwachungsrechner sind und bei Ausfall als „Second Source“ einspringen und die Steueraufgaben sofort übernehmen.

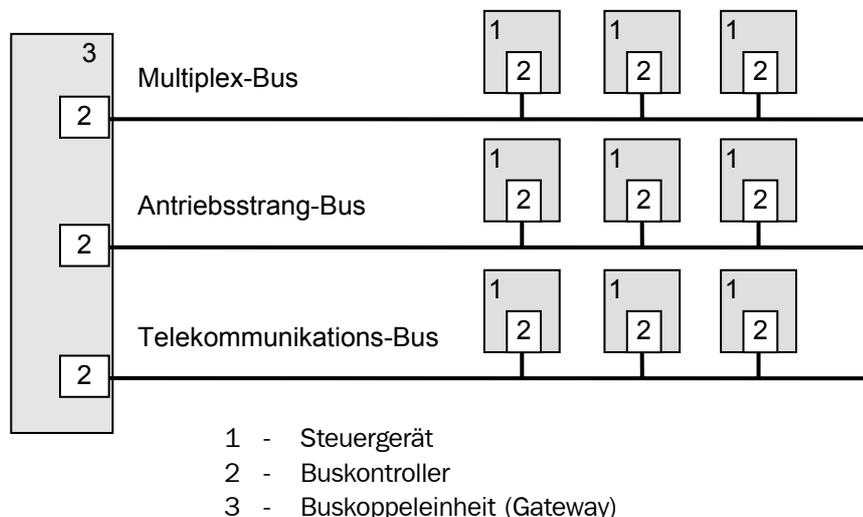


Bild 3 Kopplung von Bussystemen [7, S. 175]

Die Wirkungsweise des CAN-Datenbusses (CAN – Controller-Area-Network) ist zum Beispiel in [25, S. 84] für den LKW „ACTROS“ von MERCEDES-BENZ sehr gut erläutert. Ein bekanntes Beispiel intelligenter Baumaschinensteuerung ist das LITRONIC-System von LIEBHERR. Aufgaben dieser Steuerung sind für den Bereich des Antriebsmanagements:

- Ansteuerung der Hydraulikpumpen so, dass die gesamte Dieselmotorleistung sowie beliebige Teilbeträge davon in hydraulische Leistung umgesetzt werden können,

² Die Latenzzeit ist die Zeit zwischen der Übertragungsanforderung bei der sendenden Station und dem Empfang der fehlerfreien Botschaft durch die Zielstation.



- Ausschluss der Überlastung des Dieselmotors durch die Hydraulikpumpen,
- wahlweiser Betrieb des Dieselmotors in bestimmten optimalen Betriebsbereichen (geringer Kraftstoffverbrauch, geringe Geräuschemission ...).

4.3 Betriebsdatenerfassung (BDE)

Mit Hilfe der BDE sollen dem Hersteller, dem Serviceunternehmen und dem Betreiber der Maschinen Primärinformationen für die Planung und Steuerung sowie die technische und wirtschaftliche Nutzungsanalyse des Betriebsmitteleinsatzes zur Verfügung gestellt werden. BDE erfolgt heute vorwiegend maschinengebunden automatisch. Sie darf jedoch nicht zur Leistungskontrolle des Maschinenpersonals verwendet werden (vgl. Betriebsverfassungsgesetz). Die Anwendungsrichtungen zeigt das nachfolgende Bild.

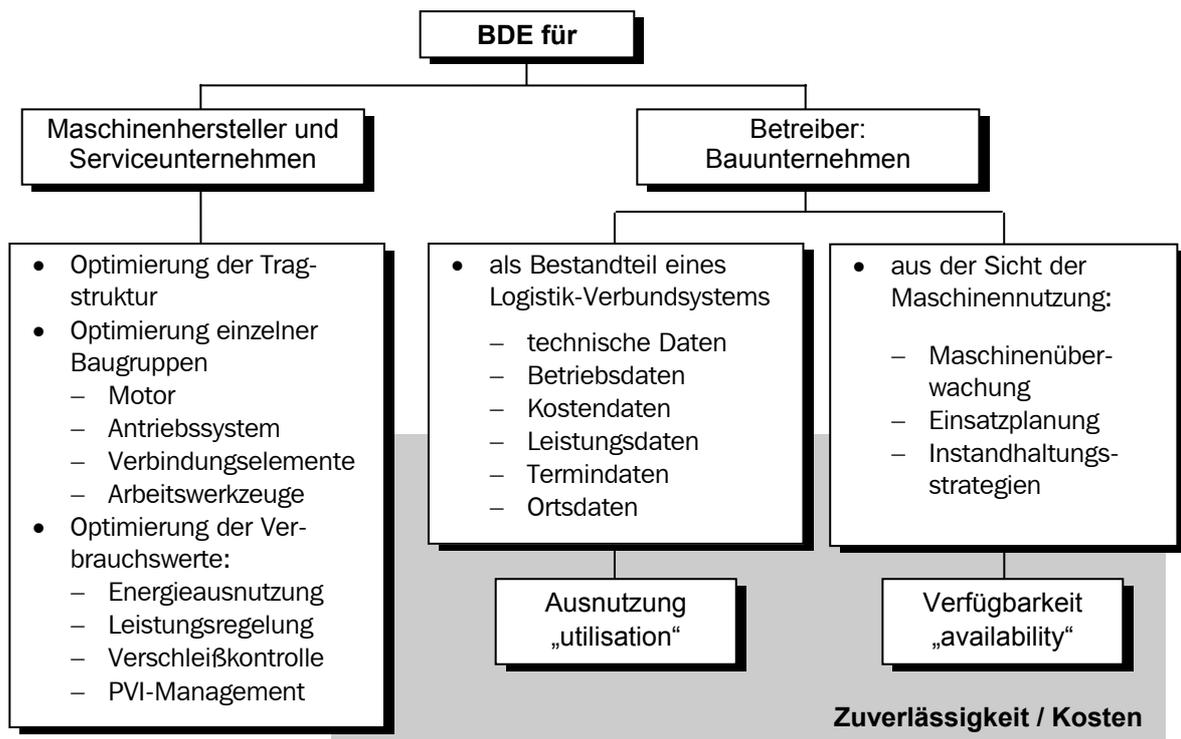


Bild 4 Anwendungsrichtungen von BDE (nach Informationen aus [15])

(PVI = Planmäßig vorbeugende Instandhaltung, jetzt: TPM = Total Preventive Maintenance)

Betriebsdatenerfassung ist die erste Voraussetzung für „sehende Baumaschinen“, Verlassen des Steuerns „im Blindflug“. Der Maschinenführer orientiert sich relativ einfach an Displays, die immer besser aufbereitete Daten bereithalten und ihm „sehendes Arbeiten“ ermöglichen, ein Beispiel ist das TRONIC-Kelly-Modul von BAUER [3]. Der Wartungstechniker kann die Daten über eine übliche Datenschnittstelle per Laptop direkt abrufen, nachdem er sich in das LAN der Maschine eingeloggt hat. Er hat nicht nur die Möglichkeit, die aktuellen Zustandsdaten abzurufen, sondern kann alle Betriebszustände der Vergangenheit nachvollziehen, also auch Fehlbedienungen und Überlastungen. Bereits damit lassen sich Diagnosen über den Verschleißzustand und fällige Instandsetzungsmaßnahmen erstellen (vgl. Beispiel Volvo Baumaschinen in [10]). Das System LICCON von Liebherr führt beim Starten der Spezialtiefbau- maschinen einen Selbsttest aus und gibt den jeweiligen Rüstzustand an, kann alle Prozessdaten erfassen, auswerten und dokumentieren. Die umfassende Dokumentation der Arbeitsprozesse dient der genauen Analyse der Arbeiten, lässt Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Bodens und die Tragfähigkeit der erstellten Pfähle zu. Die Daten der Frequenzanalyse können sogar zur Beweissicherung für Emissionen genutzt werden [13].

4.4 Telekommunikation an Baumaschinen

Wie bereits festgestellt, bestehen die wirklich neuen und revolutionierenden Elemente der Baumaschinenentwicklung in Komponenten zur Kommunikation der Baumaschinen mit ihrer Umwelt in vielfältiger Art und Weise. Im Gegensatz zu den Arbeitsmitteln der stationären Industrie arbeiten die meisten Baumaschinen autonom und mobil. Das verstärkt das Erfordernis ihrer Anbindung an die Umgebung und Verknüpfung untereinander durch moderne Datenübertragung.

Und tatsächlich kommunizieren die Baumaschinen mit ihrer Umwelt. Mittels Ultraschall, Laser- oder Infrarotstrahl erhalten sie Informationen über die vorgegebene Arbeitsrichtung oder zur Orientierung auf dem Baufeld. Die Steuerungsautomatik kann auf der Basis des Soll-Ist-Lagevergleiches wirksam werden. Komfortabler, genauer und umfassender erfolgt die Positionsbestimmung mittels Totalstationen (computergesteuerte zielverfolgende Tachymeter) oder GPS (Global Positioning System). Dank dieser Ortsbestimmung bei gleichzeitiger Erfassung der Betriebsdaten ist es endlich möglich, die Phase der blinden Baumaschinenbedienung anhand weniger Steuervorgaben zu überwinden und anhand exakter Führungsgrößen zu arbeiten.

Einfachste Anwendungen bestehen in der Fernsteuerung von Baumaschinen, z. B. von Grabenwalzen via Infrarot oder Turmdrehkränen mittels Funkfernsteuerung³.

Doch die Schlagworte der Gegenwart in der Baumaschinenbranche sind Telemetrie, Teleservice und Telesteuerung. Telekommunikation ist ein extremer Wachstumsmarkt. Das Wesen besteht in der **Fernübertragung von Daten** über

- **Festnetz** (Telefonleitungen)
- **Datenfunknetz**
 - für kleine Reichweiten (Betriebsfunk, CB-Funk⁴, LPD⁵, FreeNet⁶ auf UKW)
 - für mittlere Reichweiten (Bündelfunk)
 - für große Reichweiten (GSM-Mobiltelefon)
- **Internet, Intranet** (LAN⁷)
- **Satellitenfunkübertragung**
- **DSL-Technologie**⁸

Z. B. können über Modemverbindung in der Zentrale Maschinendaten abgerufen, Reparaturmaßnahmen entschieden und die erforderlichen Ersatzteile sofort der Reparaturkolonne mit auf den Weg gegeben werden. Bis hin zur optimalen Betankung einer Baumaschinenflotte sind viele Probleme kostengünstig lösbar. Aber auch unterwegs kann mittels Laptop und Modem zu jeder Baumaschine eine Verbindung aufgebaut werden. Entscheidend ist die maschineninterne Datenerfassung über Sensoren und deren Aufbereitung (Umformung, Umsetzung, Primärverarbeitung) – s. oben.

Per Maschinendatenübertragung werden Fernüberwachung, Reparatur und Instandhaltung sowie Steuerung der Maschinen, ohne vor Ort präsent zu sein, möglich. Die Entwicklung geht bis hin zu

³ Die Funkfernsteuerung von Kranen ist auf Grund fehlender Rückkopplung des Bewegungsverhaltens zum Bediener und daraus folgender Überlastung der Krane vor allem bei Maschinenfachleuten umstritten (vgl. z. B. [23, S. 81]).

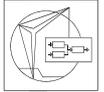
⁴ CB ist die Abkürzung für „Citizen' s Band“, der amerikanischen Bezeichnung für „Jedermann-Funk“.

⁵ LPD („Low Power Device“)-Geräte arbeiten im 70-cm-ISM-Band (433,05 bis 434,79 MHz) mit maximal 10 mW, oft auf 69 Kanälen, und sind gebührenfrei, Reichweite ca. 300 m, bei Sichtverbindung ca. 4 km.

⁶ FreeNet-Geräte arbeiten auf drei Kanälen im 2-m-FreeNet-Band (149 MHz) mit maximal 500 mW und sind gebührenfrei. Es lassen sich ca. 500 m bis 1 km überbrücken, bei direkter Sicht ca. 4 km. Sie arbeiten auf den ehemaligen B-Netz-Frequenzen.

⁷ LAN = Local Area Network (= örtl. Flächennetz)

⁸ DSL = Digital Subscriber Line (Übertragung großer Datenmengen über Telefonnetze 7 Mio. bit/s statt heute 28000 bit/s)





Videokonferenzen. Damit können erhebliche Reisekosten, Arbeitszeit und Material eingespart und in vielen Fällen auch Gefahren vom Bediener ferngehalten werden. Teleservice und Reparatur über die Kontinente hinweg bietet z. B. der Drahtziehmaschinenhersteller HERBORN + BREITENBACH an. Er kann sich per Internet in die Maschinen seiner Kunden einwählen (vgl. [27]). Bei ORENSTEIN & KOPPEL wurden bereits 1992 fünf in Südafrika eingesetzte Großbagger RH 200 E, die mit BCS (s. unten) ausgestattet sind, von der O&K-Zentrale in Deutschland aus fernüberwacht [22].

Viele Hersteller führen ihre **eigenen Bezeichnungen und Produkte**, z. B.:

- O&K: BCS (Board-Control-System)
- Hochtief AG: COM-LOG-BAU (Kommunikationseinheit – von TIMTEC GmbH) [20]

Neue technische Lösungen führen auch zu neuartigen technologischen Denkansätzen. Beispiel ist die Satellitennavigation GPS (Global Positioning System) [19], [28]. Durch die Nutzung von GPS werden alle Ereignisse und Daten mit hoher Genauigkeit lokal zuordenbar und dokumentierbar. GPS arbeitet in der Regel computergestützt. Die Anwendungen an Baumaschinen entfalten besonders dann ihre Vorteile, wenn sie telemetrisch rechnergestützt und somit in das betriebliche Datenmanagement eingebunden sind.

GPS-Anwendungen in der Bauindustrie (Auswahl):

- GPS-gesteuerte Automobil-Navigationssysteme zur Ortung von Baustoff-Lieferfahrzeugen (z. B. REDYMIX AG),
- Stapel von Gegenständen mittels Roboter,
- Baustellen-Monitoring (Ein die Baustelle befahrendes Fahrzeug bekommt einen GPS-Koffer, der sämtliche Bewegungen verfolgen lässt. Bei Ausfahrt wird der Koffer wieder abgegeben.),
- Radlader, der mit einer GPS-gekoppelten Wägeeinrichtung versehen ist; damit ist nachvollziehbar, wann und an welcher Stelle wie viel Material aufgenommen oder abgegeben wurde,
- GPS-gestützte Erdbewegung mit vollautomatischer Steuerung nach Höhe und Querneigung, bei der dem Fahrer auf einem Monitor exakt angezeigt wird, wo er sich befindet und wie viel Erdstoff auf- oder abzutragen ist (3-D-Steuerungen mit Genauigkeit ± 2 cm) – vgl. auch [17],
- dreidimensionale Positionsbestimmung von Baumaschinen mit dem CAES (Computer-Aided Earthmoving System) – eine Entwicklung von CATERPILLAR gemeinsam mit TRIMBLE NAVIGATION (s. auch [14]),
- Kombination von GPS mit der elektronischen Baggertiefensteuerung (automatischer oder geführter Aushub von vorgegebenen komplizierte Grabenprofilen),
- Bewegungssteuerung von Erdstoffverdichtungsmaschinen so, dass die geforderten Übergänge an allen Stellen erreicht werden \Rightarrow flächendeckendes Verdichtungskontrollsystem (FDVK) von BOMAG,
- GPS-gestütztes Rammen (Positionsbestimmung und Registrierung des Rammgutes),
- Überwachung der Vertikalität großer Hochbauten,
- GPS-gestütztes Einfügen von Brückensegmenten und Absenken von Schwimm-Caissons,
- Auffinden von Baumaschinen beim Service oder nach Diebstahl⁹.

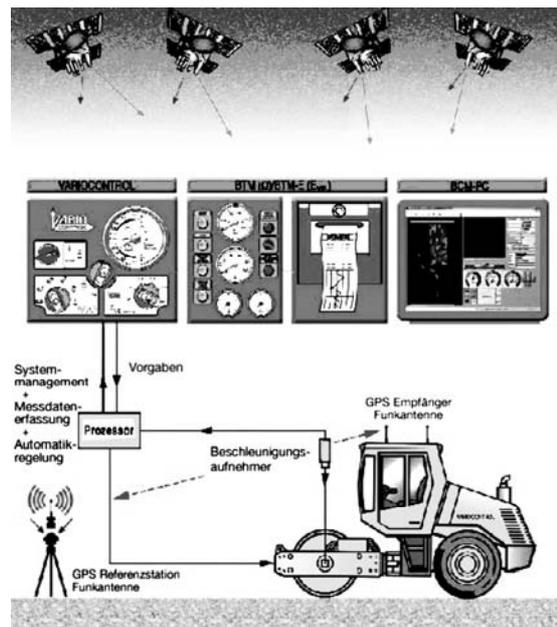
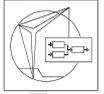


Bild 5 GPS für die Bodenverdichtung (BOMAG)

⁹ Beispiele: AMMANN-Diebstahlortungssystem [1, S. 38], System Forsy [11]



Ein beeindruckendes Beispiel für blindes aber zielgenaues Arbeiten war das Einbringen von 6750 Ankerbohrungen zur Auftriebssicherung der Sohlplatte eines Tunnelbauwerkes unter Wasser mittels Raupenbohrmaschinen von Pontons aus. GPS erleichterte die Positionierung und das spätere Wiederfinden der Anker im 20 m tiefen Wasser der Baustelle „Lehrter Bahnhof“ in Berlin [24].

Mit Informations- und Telekommunikationstechnik ausgestattete Baumaschinen lassen sich trotz Aufpreis besser verkaufen [6]. Vorreiter ist der zweitgrößte japanische Anbieter, HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY Co. Die Bagger der „ZAXIS“-Serie erfassen und übertragen GPS-gestützt vielfältige Standort- und Betriebsdaten. Das Rechenzentrum bei HITACHI wertet die Daten zentral für alle Kunden aus. Hier wird ein neues Merkmal am Baumaschinenmarkt deutlich – die über bisherige Serviceleistungen des Herstellers hinausgehenden Dienstleistungen auf dem Gebiet des Baumaschinenmanagements.

Ein Beispiel für die Schaffung von Transparenz im Flottenmanagement zeigt die PAPPENBURG AG. Die Baufahrzeuge werden per GPS geortet, die Daten sowie Sprachinformationen über Bündelfunk (DOLPHIN TELECOM) übertragen, der mit dem Satellitennavigationssystem gekoppelt ist [5].

Die Fahrzeugindustrie zeigt bereits eine Vorschau auf die weiteren Entwicklungen der **Telematik**¹⁰. Auf der Basis exakter Positionierung per GPS, schnellen Datenaustauschs und hoher Reaktionsgeschwindigkeit der Aggregate werden z. B. autonome Antikollisionssysteme PASS (Position Aware Safety Systems) entwickelt [18]. Das Auto „weiß“ dank Sensortechnik und Expertenwissen im Computer mehr als der Fahrer über Fahrbahnbelag und zulässige Kurvengeschwindigkeiten, kann Abstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen anhand mehrerer Kriterien sicherer abschätzen und entsprechend reagieren.

Das **Internet** stellt in Verbindung mit Sensortechnik und Telematik völlig neue Möglichkeiten bereit. Ferndiagnosen, Montageüberwachung sind weltweit ebenso möglich wie das Einloggen in das Steuersystem einer Baumaschine per TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Für den rauen Industrieinsatz wurde zum Beispiel ein Web-Pad entwickelt, das den drahtlosen Zugang zum Internet ermöglicht [12]. Der Communicator MOBIC von SIEMENS ist für die mobile Visualisierung und Dateneingabe konzipiert. Der Zugriff zum Internet erfolgt lokal über Wireless LAN¹¹ oder global über GSM-Funknetze. Kritische Anlagenbereiche können rund um die Uhr online überwacht werden. Z. B. liefert die Schwingungsanalyse von Wälzlagern in Verbindung mit einer Auswertung über Fuzzy-Logik¹² Aussagen über den Maschinenzustand und kann rechtzeitig Warnmeldungen über sich anbahnende Havarien abgeben oder notwendige zustandsabhängige Instandsetzungsmaßnahmen signalisieren. Auch MICROSOFT will sich den Zugang zu den Steuersystemen der zunehmend mit dem Internet verknüpften Fahrzeuge und Maschinen (bis hin zum Kühlschrank zu Hause) mit der Multimedia-Plattform WINDOWS-CE FOR AUTOMOTIVE sichern.



Bild 6 Communicator MOBIC T8 von SIEMENS

Abwicklung von Bauprojekten über internetbasierte Projekträume ist ein Thema, das in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben und Synergien andeuten soll. „Eine bereits fast unüberschaubare Zahl von Softwarefirmen bietet Datenverwaltungsprogramme vom einfachen Ablagesystem bis zum virtuellen Projektraum mit simultanem Zugriff an“ [2].

¹⁰ Kunstwort aus Telekommunikation und Informatik (manchmal als Tele-Informatik bezeichnet)

¹¹ drahtlose Datenübertragung bei einer Reichweite bis 100 m an „Hotspots mit bis zu 11 Mbit/s in ein lokales Netz – als Konkurrenz zu Bluetooth und IEEE (Institute of Electrical and Electrical Engineers)

¹² mathematischer Regelsatz für das Verknüpfen linguistischer Variablen, dient der mathematischen Verarbeitung unscharfer Daten, wird oft als Synonym für die gesamte Fuzzy-Technologie verwendet

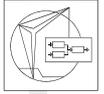


5 Schlussfolgerungen

Die Baumaschinentechnik hat einen hohen Stand erreicht, so dass sich die Verfahrenstechnik in naher Zukunft evolutionär entwickeln wird. Auch die Automatisierungstechnik hat, relativ unspektakulär, in breitem Maße Einzug in die moderne Fertigungstechnik gehalten und ist unbemerkt zur Selbstverständlichkeit geworden. Wesentliche Entwicklungssprünge vollziehen sich mit der zunehmenden Systembetrachtung der Bauproduktion durch vernetztes Arbeiten bei umfassender Anwendung der Telekommunikationstechnik. Die Fertigungsprozesse lassen sich dadurch besser steuern und sind transparenter nachvollzieh- und abrechenbar. Zu erwarten ist, dass sich die Entwicklungen zu intelligenten Bauwerken sowie zum intelligentem Bauen mit intelligenten Baumaschinen und Geräten mit zunehmender Geschwindigkeit fortsetzt und nicht nur die Effizienz in der Bauindustrie verbessern, sondern auch das Image der Bauberufe verbessern wird. Diesen optimistischen Ausblick sollte sich der Leser auch nicht durch die gegenwärtigen Probleme der Bauwirtschaft verdunkeln lassen.

6 Quellen und Literaturhinweise

- [1] Andreereg, R. u.a.: Ammann-Asphalt- und Verdichtungstechnologie der Zukunft – In: Seminarband 2000 zum 29. VDBUM-Seminar. – Stuhr, 2000, S. 32–53
- [2] Bargstädt, H.-J.; Balhaus, H.; Blickling, A.: Revolutionäre Kräfte am Bau. – In: Computer Spezial, Nr. 1/2002, S. 8–10
- [3] Bauer, S.: Entwicklungen in der Bohrtechnik – In: Seminarband 2001 zum 30. VDBUM-Seminar. – Stuhr, 2001, S. 108–114
- [4] Bauindustrie nimmt vorsichtig Kurs auf den Robotereinsatz. – In: VDI-Nachrichten, Nr. 8/1996, Düsseldorf 23.02.1996, S. 17
- [5] Beton per Datenfunk. – In: Bauwoche, Nr. 14/2002
- [6] Big Brother am Bau behält Bagger und Bulldozer im blick. – In: VDI-Nachrichten, Nr. 32/2000, Düsseldorf 11.08.200, S. 14
- [7] Bosch: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. – Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1999. – 960 S.
- [8] Bruns, H.-H.; Maschke, M.; Kaschel, S.: KomatsuGlobale Baumaschinentechnologie und lokale Kundennähe – In: Seminarband 2000 zum 29. VDBUM-Seminar. – Stuhr, 2000, S. 24–31
- [9] Cohrs, H. H.: Satellitengesteuerte Baggerautomaten? – In: Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau, Nr. 12/1999, S. 12–19
- [10] Der Computer paßt auf. – In: bd baumaschinendienst, Nr. 12/1998, S. 16
- [11] Diebstahlsicherung – Frag den Satelliten. – In: baumaschinendienst bd, Nr. 9/1999, S. 20
- [12] Drahtlos warten über Internet – In: VDI-Nachrichten Nr. 47/2000, Düsseldorf 24.11.2000, S. 36
- [13] Elektronisches Maschinen- und Prozessdatenerfassungssystem. – In: Fahrer-Spezial, Nr. 1/1997, S. 18–20
- [14] Erdbewegung – Der Satellit sagt wo´s langgeht. – In: baumaschinendienst bd, Nr. 9/1998, S. 30, 32
- [15] Gehbauer, F.: Informationsmanagement für das maschinenintensive Bauen. – In: Baumaschine und Bautechnik, Nr. 2/1991, S. 65–70



- [16] Good Vibrations – oder: Mit intelligenter Verdichtung gegen Vibrationsbelastung. – In: baumaschinendienst bd, Nr. 9/2000, S. 54–56
- [17] Hermanski, U.: TOPCON Maschinensteuerung 3D-GPS – In: Seminarband 2001 zum 30. VDBUM-Seminar. – Stuhr, 2001, S. 12–14
- [18] Ippen, H.: Vorseilende Hilfe. – In: Auto-Zeitung, Nr. 2/2001, S. 60–61
- [19] Just-in-time hat am Bau Verspätung. – In: VDI-Nachrichten, Nr. 25/1996, Düsseldorf 21.06.1998, S. 4
- [20] Kosteneinsparung beim Betrieb von Großbaumaschinen – Telemetrie-Lösungen für Krane – In: BW Bauwirtschaft, Nr. 9/1996, S. 39–41
- [21] Kotte, G.: Baumaschinen – Auswahl und Beschaffung. – Berlin, Hannover: Patzer Verlag, 2000. – 187 S.
- [22] Lange Leitung für schnellen Service. – In: O&K-Echo Nr. 1/1993, S. 9
- [23] Lilienthal, L.: Projektierung von Kraneinsätzen – In: Seminarband 2000 zum 29. VDBUM-Seminar. – Stuhr, 2000, S. 77–82
- [24] Raupenbohrmaschinen: Der Satellit hilft beim Bohren. – In: baumaschinendienst bd, Nr. 10/1997, S. 52
- [25] Röcke, M.: Alles über den Mercedes-Benz Actros. – Stuttgart: Daimler-Benz-Service, 1997, 205 S.
- [26] Suhm, W.: Sensorik beim Schild- und Rohrvortrieb. – In: VDI Jahrbuch 1999 der VDI-Gesellschaft Bautechnik. – Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999, S. 298–315
- [27] Maschinenservice weltweit per Internet – In: VDI-Nachrichten Nr. 40/1997, Düsseldorf 03.10.1997, S. 21
- [28] Schmitz, T.: GPS auf Baumaschinen – In: Seminarband 2001 zum 30. VDBUM-Seminar. – Stuhr, 2001, S. 27–31
- [29] Ueno, T.; Maeda, J.: Oberstes Stockwerk wird zuerst gebaut – das SMART-System. – In: Baumaschine und Bautechnik, Nr. 10/1992, S. 311–313
- [30] Untiedt, J. u. a., L.: Wachstum durch Innovation – In: Seminarband 1999 zum 28. VDBUM-Seminar. – Stuhr, 1999, S. 70–84
- [31] Walzer, W.: Maschine denkt mit – Mikroelektronik in der Erdbewegungsmaschine (Teil 1). – In: bd baumaschinendienst, Nr. 9/1990, S. 630–636