

# Für schweres Gerät



(Bild: Bomag GmbH)

## Drahtlose Anbindung von Entwicklungs- und Analysewerkzeugen

### ■ Ohne Elektronik geht nichts

Bei der Elektronik-Entwicklung moderner Baumaschinen lässt sich auf Prüfständen bereits ein großer Teil testen und simulieren. Im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium jedoch finden Tests und Probeläufe vorzugsweise unter Realbedingungen auf Baustellen oder in Testgeländen statt.

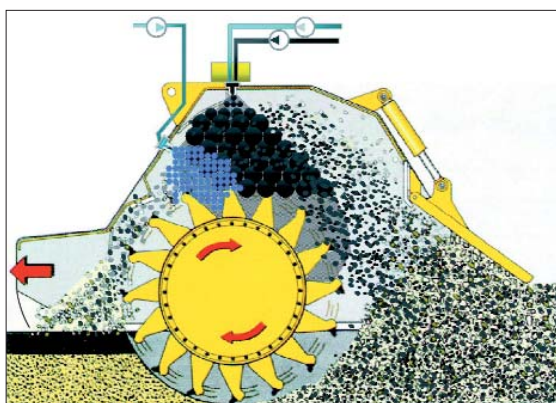
Von Timo Löw, Andreas Nacke und Hans-Werner Schaal

Um die Bediener in der Fahrerkabine nicht durch Mess-Equipment abzulenken, wurde für die Entwicklungs- und Analysewerkzeuge CANoe und CANalyzer von Vector Informatik jetzt erstmals eine drahtlose Anbindung realisiert, um die Kommunikation der verschiedenen Fahrzeug-Busse nun aus der Distanz aufzuzeichnen und zu analysieren.

**I Bild 1. Arbeitssprinzip des MPH-Universalrotors: Zerkleinerung und Durchmischung des Materials unter Zugabe von Wasser und Schaumbitumen.**

(Bild: Bomag GmbH)

Die Qualitätsanforderungen im Erd- und Verkehrswegebau nehmen kontinuierlich zu, während für die Bauunternehmer der Kosten- und Zeitdruck ansteigt. Wichtige Aufgabenstellungen und Herausforderungen sind in diesem Bausektor die Verdichtung des Bodens und eine kosten-, rohstoff- und energiesparende Methode der Straßenerhaltung bzw. -erneuerung.



Die in Boppard ansässige Bomag GmbH gehört seit 2005 zur Fayat-Gruppe und produziert Maschinen für die Erd-, Asphalt- und Müllverdichtung sowie Stabilisierer/Recycler. Seit 2006 gehören auch Fertiger und Fräsen zum Produktspektrum. Pro Jahr verlassen rund 30 000 Bomag-Maschinen das Stammwerk in Boppard. Bereits im Jahr 1997 wurde erstmals eine Bomag-Maschine mit einer elektronischen Fahr- und Maschinensteuerung ausgerüstet. Seitdem ist ein Großteil des Know-how in der Elektronik verankert, so dass man längst eine eigene Abteilung für Elektronik- und Software-Entwicklung unterhält.

Bomag orientiert sich hinsichtlich der Vernetzungstechnik an den Standards der Automobilindustrie und setzt den CAN-Bus ein, wo immer es sinnvoll ist. Das Elektronikkonzept wurde zunächst auf den großen 10- bis 15-t-Maschinen etabliert und anschließend auf die kleineren Maschinen portiert. Da Hardware- und Software-Komponenten innerhalb der gesamten Firmengruppe möglichst häufig wiederverwendet werden sollen, steht ein modulares Konzept im Mittelpunkt. Das hat auch eine Vereinheitlichung des Entwicklungs- und Testequipments über die Grenzen der einzelnen Standorte hinweg zur Folge.

Elektronik findet sich überall in den Maschinen, angefangen bei Fernsteuerungen für kleine Maschinen, die wahlweise über Spiralkabel, Infrarot oder Funk gesteuert werden, bis hin zu GPS in den großen Fahrzeugen. Spezielle Drive-by-Wire-Lenkungen mit invertierbarer Lenklogik ermöglichen ein ergonomisches Fahren in jeder Situation und erlauben spezielle Lenkmanöver wie Fahren mit Versatz im Hundegang oder exaktes Fahren an Rändern. Bei der dynamischen Bodenverdichtung durch Vibration erfassen Sensoren kontinuierlich die Bodenbeschaffenheit und reduzieren so die zeitintensiven, konventionellen Verdichtungsmessungen auf ein Minimum. Am Display wird dem Fahrer grafisch signalisiert, wo noch Verdichtungsarbeit notwendig ist. Die Option GPS erlaubt eine satellitengestützte, flächendeckende Verdichtungskontrolle, bei der die Elektronik die Baustellenkoordinaten, Verdichtungsleistung, Bodenbeschaffenheit, Frequenz, Geschwindigkeit und Betriebszustand der Walze über die gesamte Baustelle hinweg dokumentiert. Zukünftig sorgen Funknetze für den Datenaustausch zwischen den im Verbund fahrenden Maschinen.

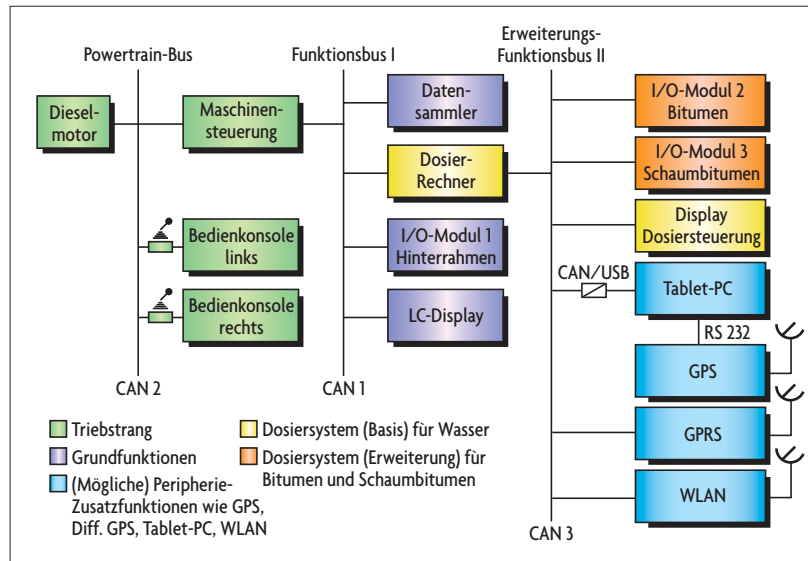
Der neue Stabilisierer/Recycler des Typs MPH 125 mit einem Betriebsgewicht von 24,5 t und einer Leistung von 440 kW ist die Maschine mit dem umfangreichsten Elektroniksystem und den meisten CAN-Knoten. In der Stabilisierung wird er zur Verbesserung und Verfestigung vorhandener Bodenmaterialien durch das Einmischen von Kalk, Flugasche oder Zement eingesetzt. Beim Einsatz als Recycler fräst der MHP 125 alte, beschädigte Schwarzdecken und Wegbefestigungen auf und zerkleinert diese. Dabei wird die gesamte Straßen-

konstruktion einschließlich der Trag-schicht aufgefäst. Der Universalrotor vermischt das so zerkleinerte Material mit Bindemitteln, um es an Ort und Stelle wieder verwenden zu können (Bild 1).

**Netzwerk-Cluster mit mehreren CAN-Bussen**

Alle Bomag-Maschinen einer Produktfamilie verfügen über die gleiche Steuerung; durch Bandende-Parametrierung erhalten sie ihren spezifischen Funktionsumfang. Das modulare Produktkonzept haben die Elektronik-Entwickler deshalb in einem modularen CAN-basierten Netzwerk-Cluster abgebildet (Bild 2). CAN 1 als zentraler Body-CAN-Bus ist mit den meisten Busteilnehmern verbunden und arbeitet auf Basis des CANopen-Protokolls, was die Verwendung von Standard-Automatisierungskomponenten erlaubt. Neben dem Fahrzeughauptrechner, dem Datensammler des Vorderrahmens und dem I/O-Modul für den Hinterrahmen zählen zu den CAN-1-Teilnehmern die Bedien- und Anzeigeelemente des Cockpits. Am Datensammler sind herkömmliche analoge und digitale Sensoren angeschlossen, zum Beispiel Hydraulik-Drucksensoren und Füllstandsmesser. Das I/O-Modul auf dem Hinterrahmen ist für die Steuerung des höhenvariablen Rotors, der Querneigung und der für den Transport absenkbaren Kabine verantwortlich. Durch die Anbindung der Anzeige- und Bedienelemente (Joysticks, LC-Display, Schalter) an den Bus konnte der Verkabelungsaufwand deutlich reduziert werden; einen CANopen-Fahrhebel mit Reibbremse hat Bomag speziell für dieses Konzept entwickeln lassen (Bild 3).

Der Powertrain-Bus ist als CAN 2 definiert (Bild 2) und verbindet Fahrzeughauptrechner, Motorsteuerung, Lenk- und Fahrhebel inklusive Bedienkonsolen rechts und links. Er bedient bewusst nur eine geringe Zahl von Busteilnehmern, da ein Ausfall dieses Busses die Maschine unweigerlich zum Stillstand bringen würde. Auf CAN 2 können die Protokolle J1939 und CANopen parallel zum Einsatz kommen. Eine Besonderheit der Fahrsteuerung ist die Grenzlastrege-



**Bild 2.** Das Elektronik-Konzept wird dem modularen Aufbau der Maschinen gerecht, so dass sich nach Kundenwunsch Optionen für Dosierrechner, Wassereinspritzung, Bitumenemulsion oder Schaumbitumen integrieren lassen. (Quelle: Bomag GmbH)

lung, die dafür sorgt, dass der Deutz-Dieselantrieb immer optimal ausgelastet ist und bei hoher Fräsbelastung nicht überlastet und damit abgewürgt werden kann – beispielsweise beim weiteren Absenken des Rotors in den Boden. In Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit reduziert oder erhöht die Regelung die Fahrgeschwindigkeit, so dass eine dynamische Leistungsaufteilung zwischen höherer Fräsleistung bei niedriger Geschwindigkeit und niedrigerer Fräsleistung bei hoher Arbeitsgeschwindigkeit gegeben ist.

Je nach Ausrüstung des MPH 125 gibt es neben CAN 1 und CAN 2 noch einen dritten Datenbus CAN 3 (Bild 2). Er verbindet den optionalen Dosierrechner mit einem zusätzlichen Display und der notwendigen Aktorik zur Wassereinspritzung. Ebenso wird CAN 3 zur Anbindung der Dosieranlage für Bitumen-Emulsion und Schaumbitumen benötigt

**Tools für Entwicklung, Analyse und Applikation**

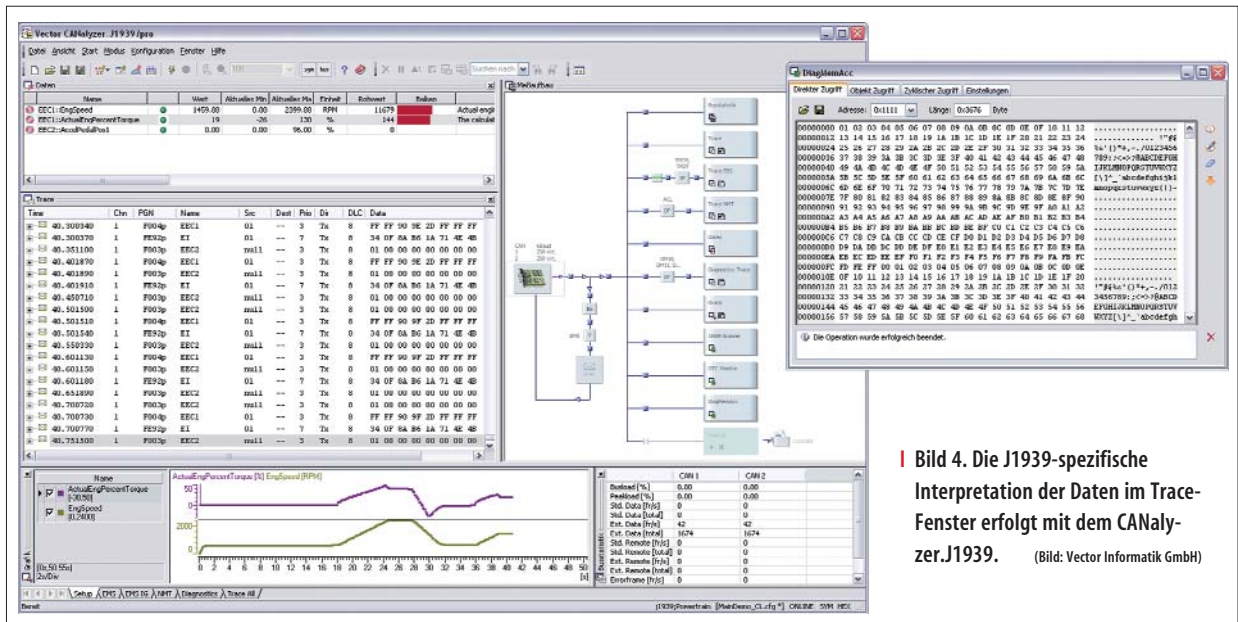
Bei der Elektronikentwicklung setzt Bomag verschiedene Software-Tools der Vector Informatik GmbH ein. Diese bietet für die verschiedenen Aufgaben im Entwicklungsprozess entlang des V-Modells jeweils zugeschnittene Werkzeuge an, zum Beispiel CANoe für Netzwerkentwicklung und Steuergeräte-Tests, CANalyzer für die Analyse der Busdaten und CANape zur Applikation der Steuergeräte. Bei Ent-

wicklungsbeginn bildet CANoe das Verhalten einzelner Busteilnehmer oder ganzer Teilnetze nach (Restbussimulation). Im weiteren Verlauf der Steuergeräteentwicklung dienen die Modelle als Grundlage für Analyse, Test und Integration von Bussystemen und Steuergeräten. Die C-ähnliche Programmiersprache CAPL unterstützt den Anwender bei komplexen Projekten durch freie Programmierbarkeit. Ebenso lassen sich benutzerdefinierte Oberflächen zur Steuerung der Simulationen und der Testabläufe oder zur Anzeige der Analysedaten erstellen.

Leistungsfähigere Testplätze mit verbesserten Echtzeit-Fähigkeiten lassen sich in einer Realtime-Konfiguration aufbauen. Dazu führt man die Restbussimulation und die eigentliche Testausführung auf einem eigenen Rechner unter einem optimierten Be-



**Bild 3.** Blick in das Cockpit: Die Bedien- und Anzeigeelemente sind über CAN mit der Steuerelektronik verbunden. Durch eine konsequente Vernetzung hält sich der Verkabelungsaufwand in Grenzen. (Bild: Bomag GmbH)



**■ Bild 4. Die J1939-spezifische Interpretation der Daten im Trace-Fenster erfolgt mit dem CANalyzer.J1939. (Bild: Vector Informatik GmbH)**

triebssystem (Windows XP Embedded) aus, während für die grafische Benutzeroberfläche und die Auswertung ein getrennter PC zur Verfügung steht. Das System kann so auch als Testausführungsumgebung für einen Komponenten-HiL-Tester dienen.

Das Analysewerkzeug CANalyzer (Bild 4) bietet zahlreiche Funktionen, um alle Arbeiten rund um die Busanalyse zu erleichtern. Diese reichen von der Auflistung des Busdatenverkehrs, der grafischen oder textbasierten Anzeige von Signalwerten, statistischen Auswertungen von Botschaften, Buslasten und Störungen bis hin zum gezielten Generieren von Busstörungen, um das Systemverhalten unter Nicht-Idealbedingungen zu testen.

Der primäre Einsatzbereich von CANape liegt in der Kalibrierung elek-

tronischer Steuergeräte, um Parametersätze, Kennlinien und Kennfelder zu optimieren. Unter Verwendung der standardisierten Mess- und Kalibrierprotokolle CCP (CAN Calibration Protocol) oder XCP (Universal Measurement and Calibration Protocol) lassen sich in Echtzeit Messwerte erfassen, Parameter verstellen und alle wichtigen Größen visualisieren. Hilfreich im Zusammenhang mit der Entwicklung von GPS-Anwendungen ist die CANape-Option GPS, die das System um die Visualisierung der aktuellen Fahrzeugpositionen auf einer elektronischen Landkarte ergänzt. Aufgezeichnete Messdaten lassen sich damit bei der Auswertung leichter interpretieren, da die geografischen Gegebenheiten zeitsynchron zu den fahrzeugspezifischen Daten angezeigt werden.

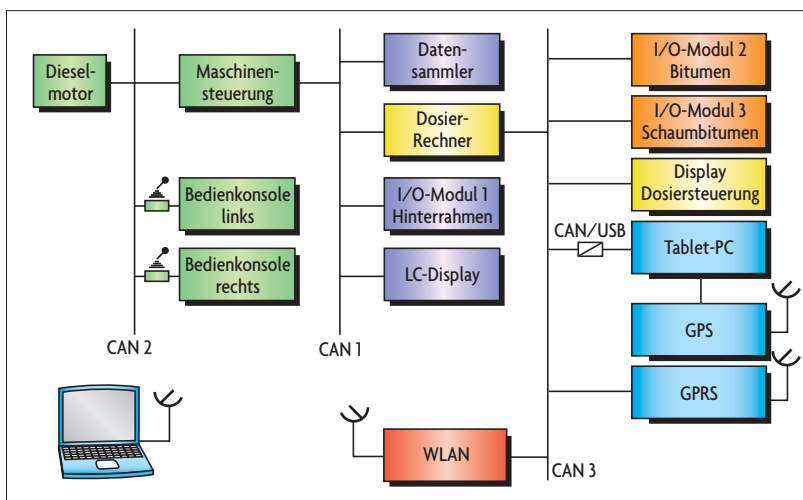
Die Durchgängigkeit der Vector-Tools bewährt sich bei Bomag speziell bei der Arbeit mit mehreren Bussen und insbesondere der J1939/CANopen-Multiprotokoll-Umgebung. Eine der Grundlagen für die Effizienz liegt in einem konsequent verwendeten Datenbankkonzept. Alle Mitglieder der Vector-Werkzeugkette greifen auf dieselben Datenbestände zu, so dass eine konsistente Speicherung aller Daten ohne unnötige Redundanzen und Fehlerquellen gegeben ist. Passend zu den eingesetzten Bussystemen sind zur Netzwerkbeschreibung die jeweils geeigneten Datenbanken bereits integriert oder werden automatisch generiert.

Neben CAN unterstützen die Werkzeuge auch die Busse LIN, FlexRay und MOST sowie die höheren Protokolle J1939, J1587, NMEA2000, ISO11783 und CANopen. Bei Bomag kommen CANape sowie die CANalyzer/CANoe-Optionen für J1939 und CANopen zum Einsatz.

**■ Feldtests jetzt drahtlos möglich**

Schwierig für die Elektronik-Entwickler von Bomag war bisher eine zeitgleiche Analyse der Messdaten während der Feldtests, ohne selbst auf der Maschine mitfahren zu müssen. Sie konnten nur im Nachhinein die aufgezeichneten Daten untersuchen, nicht jedoch testbegleitend. Für solche Fälle gibt es von Vector jetzt eine WLAN-

**■ Bild 5. Die Erweiterung für CANalyzer und CANoe erlaubt drahtlosen Zugriff auf die Fahrzeug-elektronik des MPH 25. (Quelle: Vector Informatik GmbH)**



basiertere Lösung: War bisher für die Arbeit mit den Tools ein physikalischer Kontakt zum zu analysierenden Bussystem zwingend notwendig, so ist es jetzt durch eine Erweiterung möglich, per Funk mit dem Prüfling Kontakt aufzubauen. So wird das Transceiver-Kabel zwischen PC und CAN-Bus quasi aufgeschnitten und durch die Funkstrecke ersetzt. Bemerkenswert dabei ist, dass man keine wesentlichen Einschränkungen in Bezug auf Genauigkeit und Messanforderungen hinnehmen muss (Bild 5).

Bei der Umsetzung der Erweiterung wurden insbesondere den Anforderungen an das korrekte Zeitverhalten bei der Datenübertragung, geringe Latenzzeiten sowie einer zeitsynchronen Darstellung der Daten auf dem PC Rechnung getragen. Die CAN-Botschaften werden samt Zeitstempel über eine TCP/IP-Verbindung getunnelt, so dass die mit den Botschaften bereitgestellten Zeitstempel als Referenzzeit für CANoe und CANalyzer dienen können (Bild 6).

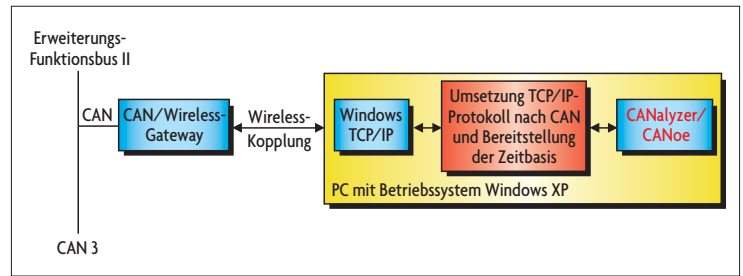
## ■ WLAN-Lösung mit Vorteilen

Die Lösung bietet einige wichtige Vorteile gegenüber den Möglichkeiten einer einfachen CAN/WLAN-Bridge. Für den Aufbau ist nur ein Brückenkopf erforderlich. Als Host genügt ein WLAN-fähiger Rechner, der über Standard-Bordmittel und WLAN die Verbindung hält (Bild 5). Der für die Umsetzung von CAN auf WLAN ver-

antwortliche Tastkopf am Prüfling sendet die Botschaften in der streng chronologisch richtigen Reihenfolge, indem er die ursprünglich auf dem Bus festgehaltenen Zeitstempel berücksichtigt, was über eine CAN-WLAN-CAN-Bridge nicht möglich wäre. Während des Betriebs auf der Baustelle können die Elektronik-Entwickler von Bomag ohne Leitungsverbindung zur Maschine messen, beobachten und auswerten.

Dieses und weitere Beispiele [1, 2] aus dem Nutzfahrzeugbereich zeigen, dass es auch außerhalb der Automobilelektronik der Kfz-Premiumklasse anspruchsvolle Herausforderungen gibt, die nur durch komplexe Netzwerk-Cluster und leistungsfähige Entwicklungs- und Analysetools in den Griff zu bekommen sind. Die Vector-Werkzeuge erlauben Analysen und Simulationen direkt auf den höheren Schichten J1939 und CANopen. Multibus-Einsatz und ein gleichzeitiger Einsatz verschiedener Protokolle auf demselben Bus bereiten keine Probleme. Die Tools sorgen bei der Erfassung und Auswertung immer für das korrekte Timing auf derselben Zeitbasis – auch bei drahtloser Kommunikation.

Aufgrund dieser Erfahrungen wurde bei Bomag bereits das nächste WLAN-Projekt ins Auge gefasst. Auf dem Firmengelände in Boppard wurde kürzlich



eine große Testhalle für umfangreiche automatische Tests errichtet. Das geschlossene, lärmgeschützte Gebäude erlaubt Dauertests zu beliebigen Tages- und Nachtzeiten, ohne dass Anwohner durch störende Betriebsgeräusche beeinträchtigt werden. Dank WLAN-Verbindung sind die Elektronik-Entwickler in der Lage, das Geschehen auf den relevanten Bussystemen mit den genannten Tools fortlaufend zu beobachten. Das kann vom Schreibtisch im Büro aus geschehen oder über das Internet sogar von zuhause, was vor allem die Mitarbeiter erfreut, die die Dauertests unter anderem auch am Wochenende betreuen. sj

**I Bild 6.** Das erweiterte WLAN tunnelt die CAN-Botschaften samt Zeitstempel über eine TCP/IP-Verbindung und ermöglicht so eine zeitkonforme Darstellung der Daten auf dem PC.

(Quelle: Vector Informatik GmbH)

## Literatur

- [1] Böck, T.; Betz, P.; Hörmann, M.; Felbinger, L.: CAN und J1939 unter extremen Einsatzbedingungen – Garantierte Funktion bei Kälte, Eis und Schnee. *Elektronik automotive* 2006, H. 5, S. 80ff.
- [2] Felbinger, L.; Schaal, H.-W.: CAN und offene Protokolle im Nutzfahrzeug – Auf dem Weg zur weltweiten Vereinheitlichung. *Elektronik automotive* 2005, H. 5, S. 60ff.



**Dipl.-Ing. (BA) Timo Löw**

studierte Elektrotechnik an der Berufsakademie Mannheim im Rahmen einer dualen Ausbildung bei der Mercedes-Benz AG. Er ist Gruppenleiter im Bereich Software- und Systementwicklung bei der Bomag GmbH.  
[timo.loew@bomag.com](mailto:timo.loew@bomag.com)



**Dipl.-Ing. (FH) Andreas Nacke**

studierte Elektrotechnik an der Fachhochschule Oldenburg, Ostfriesland, Wilhelmshaven am Standort Emden. Er ist Entwicklungsingenieur im Bereich Software und Systeme bei der Bomag GmbH.  
[andreas.nacke@bomag.com](mailto:andreas.nacke@bomag.com)



**Dipl.-Ing. Hans-Werner Schaal**

studierte Nachrichtentechnik an der Universität Stuttgart und Electrical & Computer Engineering an der Oregon State University in Oregon, USA. Er ist Business Development Manager bei der Vector Informatik GmbH im Bereich der Produktlinie Open Networking.  
[hans-werner.schaal@vector-informatik.de](mailto:hans-werner.schaal@vector-informatik.de)