

# Daten-Monitoring im Rohrvortrieb

Maximilian Braumann / Gerald Goger / Leopold Winkler



**Dipl.-Ing. Maximilian Braumann**

ist Absolvent des Studiengangs Bauingenieurwesen der Technischen Universität Wien mit den Vertiefungsrichtungen Geotechnik und Bauprozessmanagement.



**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerald Goger**

ist Inhaber des Lehrstuhls für Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien.



**Dipl.-Ing. Leopold Winkler** ist Universitätsassistent am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Bauwirtschaft und Baumanagement, der Technischen Universität Wien.

Die vierte industrielle Revolution hat die Baubranche erreicht und entwickelt die Prozesse des Planens, Bauens und Betriebens in großen Schritten weiter. Die Digitalisierung des Baubetriebs ermöglicht bereits jetzt eine kabellose Vernetzung von Datenquellen und die Speicherung der Daten in ortsunabhängigen Datenbanken. Aus dem Tunnelbau wurden solcherart für den Rohrvortrieb Daten-Monitoring-Systeme entwickelt, mit denen die gesammelten baubetrieblichen Daten automatisch analysiert, bearbeitet und den Prozessbeteiligten über ein Online-Portal zur Verfügung gestellt werden. Dies erleichtert nicht nur die Qualitätskontrolle während der Ausführungsphase, sondern optimiert auch den Bauprozess selbst. Der vorliegende Beitrag zeigt die Funktionen und Möglichkeiten dieser Systeme auf und vergleicht sie mit den Anforderungen der Prozessbeteiligten.

## 1. Grundlagen des Daten-Monitorings

### 1.1. Allgemeines

Ursprünglich wurde unter Daten-Monitoring das simple Überwachen von Daten verstanden, um die immer komplexer werdenden Geräte und Maschinen auf den Baustellen besser steuern zu können. Diese Überwachung beschränkte sich im Rohrvortrieb bis vor wenigen Jahren auf die Echtzeit-Wiedergabe von Daten auf direkt mit den Maschinen verbundenen Bildschirmen, um dem Bediener der Anlage eine entsprechende Steuerung zu ermöglichen. Durch die fortschreitende Entwicklung der Technik wurde es möglich, immer größere Datenmengen zu verarbeiten und zu speichern. Nicht nur die Überwachung von Prozessen wurde möglich, sondern auch der kabellose Transfer und die Speicherung von Daten. In einigen Branchen des Bauwesens wurde das Daten-Monitoring von der reinen Überwachung eines Prozesses zu einem automatisierten Tool weiterentwickelt, in dem Daten gespeichert, gefiltert, verarbeitet und automatisch zu den relevanten Stakeholdern der Baustelle weitergeleitet werden können. Dadurch können nicht nur Kosten und Zeit für die Bearbeitung und Weiterleitung der Daten eingespart, sondern auch der Prozess selbst durch die gespeicherten und geordneten Daten nach Fertigstellung des Projekts besser analysiert und optimiert werden.

### 1.2. Bislang übliche Aufnahme und Analyse von Daten

Im Rohrvortrieb ist das Daten-Monitoring noch nicht so weit fortgeschritten wie bei anderen Verfahrenstechniken im Tiefbau. Bei Standardbaustellen werden die Ist-Werte der Vortriebsparameter in der Ausführung in den in den Normen festgelegten Intervallen vom Tunnel- und Schmiersystem mit Uhrzeit und Datum lokal im Steuercontainer, im Bentonitcontainer und in der Separieranlage jeweils separat auf einer Festplatte gespeichert.<sup>1</sup> Zusätzlich werden sie der bedienenden Person numerisch in Echtzeit auf einem Monitor angezeigt. Einzelne Parameter, die nicht durch elektronische Sensoren erfasst werden können, werden hand-

schriftlich in Protokollen aufgenommen. Dies trifft zB für die Messung und Dokumentation der Bentonitrezepturen, für die Beschreibung der Geologie im Steuercontainer und für die Berichterstattung über wirtschaftliche Parameter der Baustellenabwicklung im Bautagebuch zu.

In einem weiteren Schritt werden am Ende jedes Arbeitstages die elektronischen Daten manuell auf einen USB-Stick in Form eines CSV-Files<sup>2</sup> von jeder der drei Maschinenkomponenten (im Rohrvortrieb sind das grundsätzlich die Vortriebsmaschine, der Bentonitcontainer und die Separieranlage inklusive Dekanterzentrifuge) kopiert und dem Bauleiter zusammen mit den handschriftlich erstellten Protokollen übergeben. Anschließend werden die elektrischen Daten in ein Standardprotokoll als XLSX-File in Excel importiert, in dem aus den Daten Werte wie Vortriebsleistung, Mantelreibung und die Anpresskraft des Schneidrades berechnet werden. Zusätzlich werden durch den Import der Daten im Excel-File Graphen zur besseren Analyse erstellt und den Grenzwerten aus der Planungsphase und Arbeitsvorbereitung gegenübergestellt. Die Überwachung der Arbeiten durch den Auftraggeber erfolgt durch die Übermittlung der in den Normen zur Aufzeichnung vorgeschriebenen Vortriebsparameter. Diese werden am Ende der Ausführungsarbeiten (oder – wenn im Leistungsverzeichnis vereinbart – in bestimmten Intervallen) in tabellarischer Form bereitgestellt. Dafür wird zusätzlich zu den CSV-Files ein automatisch erstelltes PDF-File direkt auf einen USB-Stick am Ende eines Arbeitstages direkt vom System gespeichert.

Das Daten-Monitoring dient derzeit hauptsächlich zur Qualitätskontrolle. Die große Menge an Daten, die in den kurzen Intervallen gespeichert werden, verursacht eine ungeordnete und unübersichtliche Datenflut, deren anschließende Bearbeitung und Analyse sehr kosten- und zeitintensiv ist. Aufgrund des großen Arbeitsaufwands wurde bisher die nachträgliche Analyse der Daten auf ein Mindestmaß begrenzt oder entfällt sogar zur Gänze.

### 1.3. Moderne Aufnahme und Analyse von Daten mit Monitoring-Systemen

Eine flächendeckende Internetverbindung auf der Baustelle und die Einführung einer globalen Datenbank verändern den Transport der Daten von

<sup>1</sup> Arbeitsblatt DWA-A 125: Rohrvortrieb und verwandte Verfahren (Ausgabe: Dezember 2008); DIN 18319: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Rohrvortriebsarbeiten (Ausgabe: September 2016).

<sup>2</sup> CSV steht für *comma-separated values*.

Grund auf und ermöglichen einen neuen Datenfluss. Der Kreislauf, in dem Daten vom Planer zum Auftraggeber auf die Baustelle weitergereicht und anschließend wieder zurückgeschickt werden, entwickelt sich in ein System, bei dem alle Beteiligten von einer Quelle aus Zugriff auf die Daten erhalten und automatisch versorgt werden. Alle Soll-Werte aus der Planung werden vor Beginn der Bauarbeiten in der Datenbank gespeichert. In der späteren Ausführungsphase erhalten sowohl das Baustellenpersonal als auch die Maschinenkomponenten über eine auf Basis der Datenbank arbeitende Software die Plandaten. Die Ist-Daten der Baustelle werden ebenfalls in der Datenbank gespeichert, von der Software analysiert, bearbeitet und zum verantwortlichen Baustellenpersonal, zu den Ausführenden und zum Auftraggeber weitergeleitet. Alle Komponenten auf der Baustelle werden dazu datentechnisch über eine Internetverbindung auf die globale Datenbank online gestellt.

Daten-Monitoring-Systeme nutzen diese digitale Verbindung mit den Baustellenkomponenten, um auf Daten selbständig zuzugreifen. Sie filtern, analysieren, bearbeiten und stellen die Daten dar, was eine manuelle Weiterverarbeitung der Rohdaten vermeidet.

## 2. Daten-Monitoring-Systeme im Rohrvortrieb

### 2.1. Allgemeines

Daten-Monitoring-Systeme für den Rohrvortrieb stammen im Wesentlichen aus dem Tunnelbau und wurden für die Anforderungen des *microtunneling* zielgerichtet angepasst. Eine kleine Anzahl an Unternehmen bietet gegenwärtig verschiedene Systeme an, die sich in ihrem Aufbau und ihren Funktionen jedoch sehr ähnlich sind. Ausgehend vom Standardmodul wird das System je nach Art und Anzahl der Komponenten auf der Baustelle zu Beginn an die Rahmenbedingungen des Projekts angepasst. In einer vorausseilenden Set-up-Phase werden alle Kennwerte und Pläne ins System eingespielt. Dies inkludiert neben der Benutzeroberfläche des Systems zB auch Statik, Setzungsbegrenzung, Rohrfolgeplan und Lageplan.

Dem Kunden (meist: das ausführende Unternehmen) wird das angepasste System mittels Zugriffs über einen Administrator-Account übergeben. Wartungsarbeiten bei Bedienungsproblemen werden in der Folge vom Hersteller übernommen, alle weiteren Einstellungen für die gewünschte Informationsaufbereitung werden vom Kunden selbst über den Administrator-Zugang erstellt.

Der Zugriff des Systems und die Analyse der Daten erfolgt in einer globalen Datenbank. Diese stellt einen übergeordneten und standortunabhängigen Speicherplatz im Internet dar. Das System unterscheidet zwischen Rohwerten, errechneten und verdichteten Werten. Rohwerte werden direkt analysiert und zur Darstellung in Diagrammen verwendet. Die Anzahl an Rohwerten entspricht der Anzahl an Sensoren und den manuell eingegebenen Werten im System. Errechnete Werte (wie zB die Penetration [mm/U], Mantelreibung [kN/m<sup>2</sup>] oder Vortriebsleistung [m/AT]) müssen erst

aus einzelnen Rohwerten gebildet werden, da sie im System nicht durch Sensoren gemessen werden können. Verdichtete Werte sind statistische Werte (wie Extrem- oder Durchschnittswerte), die in einem bestimmten Intervall angezeigt werden sollen. Es ist zB sinnvoll, die maximale Vortriebskraft, die auf jedes Rohr aufgebracht wurde, darzustellen.

Die aufbereiteten Daten können anschließend ortsunabhängig über das Internet oder Mobile Apps der Anbieter mittels Benutzer- und Passwortabfrage eingesehen werden. Daten-Monitoring-Systeme haben grundsätzlich drei Hauptfunktionen:

- Berichterstattung,
- Echtzeit-Wiedergabe der Vortriebsparameter und
- Erstellung von Statistiken der gesammelten Daten.

### 2.2. Berichterstattung

Die „statische“ Berichterstattung ist ein Tool, bei dem die gesammelten Daten automatisch aufbereitet werden und in einem gewissen Zeitintervall an die Prozessbeteiligten versendet werden. Je nach Anforderungen der Beteiligten können die Art der Parameter, die Darstellungsform und das gewünschte zeitliche Intervall der Berichterstattung variieren. Mittels Administrator-Accounts werden für die unterschiedlichen Projektbeteiligten verschiedene Benutzer-Accounts generiert, in denen die gewünschten Einstellungen zur Informationsaufbereitung programmiert werden. Die automatisch erstellten Berichte werden als PDF-File erstellt und dem jeweiligen Nutzer meist per E-Mail zugesandt.

In **numerischen Berichten** werden die Daten in tabellarischer Form, geordnet nach Datum und Zeit, dargestellt. Diese Darstellung ist eine eher unübersichtliche und die in den Normen geforderte Darstellung. Sie wird meist versendet, wenn der Nutzer schlichtweg die Kontrolle von Ausreißern erkennen will.

Das Programm bietet auch die Möglichkeit, Daten in **grafischer Form** aufzubereiten. In dieser Darstellung werden technische Werteverläufe (zB von Presskraft, Stützdruck oder Arbeitsdruck des Schneidrades) erstellt. Die Darstellung kann in verschiedensten Formen (zB als Punktdiagramm, Liniendiagramm oder Balkendiagramm) erfolgen. Anschließend werden die gewünschten Parameter für jedes Diagramm ausgewählt und die Skalierung der Achsen wird bestimmt. Die *key performance indicators* (KPIs) können entweder auf Zeit, Vortriebsmeter und/oder Rohrnummer aufgetragen werden. Zusätzlich kann die Genauigkeit der Darstellung eingestellt werden. Daten können vom System nach Extrem- oder Durchschnittswerten in einem bestimmten Intervall – je nach Genauigkeit – gefiltert werden, um das Datenvolumen zu verkleinern.

Der **Arbeitszyklusbericht** stellt die genauen Arbeitsschritte im Bauprozess dar. Das System erkennt die Vortriebs-, Ringeinbau- und Wartezeiten. Im Bericht definiert das Programm die verstrichene Zeit automatisch als solche und stellt sie als Balken dar. Die Wartezeiten sind in der zweiten Ebene in Unterkategorien unterteilt, die jedoch nicht automatisch erkannt, sondern manuell zugeteilt werden müssen. Grundsätzlich kann durch die Erstellung eines Schichtberichts sehr gut erkannt werden, wie

lange pro Arbeitszyklus effektiv vorgetrieben wurde. Eine volle Aussagekraft dieses Berichts erfordert jedoch eine regelmäßige Wartung und Zuteilung der unterschiedlichen Ursachen für Wartezeiten.

Geodätische Messungen der Umgebung können entweder automatisch nach Messung oder durch manuelle Eingabe im System im **geotechnischen Vermessungsprotokoll** dargestellt und analysiert werden. Die an verschiedenen Festpunkten an der Oberfläche gemessenen Setzungen werden in Diagrammen in Relation auf die Zeit oder Distanz zur Vortriebsmaschine dargestellt.

### 2.3. Echtzeit-Wiedergabe der Vortriebsparameter

Durch eine Echtzeit-Überwachung können Daten mit geringer Zeitdifferenz direkt von der Baustelle über das System auf jedem Rechner ortsunabhängig dargestellt werden. Die gesammelten Daten werden in der Darstellung als Echtzeit-Übersicht, in einer historischen Übersicht, als Echtzeit-Lageplan, Vermessungsansicht oder Diagrammdarstellung wiedergegeben. Grundsätzlich ist die Echtzeit-Darstellung ein sehr gutes Mittel für die Projektbeteiligten, um einen schnellen Überblick über den momentanen Baustellenstatus zu erlangen und Steuerungsmaßnahmen setzen zu können.

Zusätzlich können in den Benutzereinstellungen für jeden Parameter und Benutzer unterschiedliche Alarmierungen programmiert werden. Bei einer Über- oder Unterschreitung der Richtwerte bzw. bei einer Abweichung von Richtwerten erhält der jeweilige Benutzer automatisch eine Benachrichtigung in gewünschter Form. Diese kann als E-Mail, SMS oder Push-up direkt am Smartphone erfolgen. Fehler werden dadurch schnell erkannt und es kann auf diese sofort reagiert werden.

### 2.4. Erstellung von Statistiken

Die Systeme bieten außerdem die Möglichkeit, aus den gesammelten Daten Statistiken für eine baubetriebswirtschaftliche Analyse zu erstellen. Diese Statistiken können für bestimmte Zeitbereiche erstellt werden.

Der **Projektfortschritt** wird durch ein Balkendiagramm dargestellt, in dem für jeden Arbeitstag die Tagesleistung aufgetragen und zusätzlich in einem Graphen der Gesamtfortschritt angezeigt wird.

**Wartezeitanalysen** geben eine genaue Aufschlüsselung der unterschiedlichen Ursachen von Wartezeiten in einem Tortendiagramm.

**Schichtanalysen** stellen die Effektivität und Leistung einzelner Arbeitspartien im Schichtbetrieb einander gegenüber und **Rohrzyklusanalysen** zeigen die Dauer der Arbeitsschritte pro Rohrzyklus auf.

Insgesamt können aus den verschiedenen Analysen automatisch angenommene Leistungswerte verglichen und – wenn nötig – Erfahrungswerte für spätere Projekte angepasst werden.

### 2.5. Rohrzustandsanalysen durch externe Fugenüberwachungssysteme

Daten-Monitoring-Systeme verfügen in der Regel über die Möglichkeit einer Datenanalyse von Rohrzuständen. Diese Daten müssen aber (bis dato) manuell nach einer Sichtung von Schäden ins Programm eingegeben werden. Eine automatische Aufnahme von Daten ist derzeit noch nicht möglich und das nachträgliche Erkennen von Schäden an der Rohraußenseite stellt sich verfahrensbedingt als schwierig dar. Immer öfter werden aus diesem Grund externe Fugenüberwachungssysteme eingesetzt. Fugenüberwachungssysteme nutzen den Einbau von Weg- und Drucksensoren zwischen den Vortriebsrohren, um die Beanspruchung der einzelnen Rohre genau messen zu können. Nachzeitigem Stand der Technik werden für die Druckübertragung flüssigkeitsgefüllte Schläuche eingesetzt, die Verwendung von Druckringen ist jedoch auch möglich. Die gemessenen Daten werden im beschriebenen Prinzip in die Datenbank gesendet, wo sowohl die auftretende Klaffung der Rohre als auch deren Beanspruchung berechnet werden. Das System alarmiert zuständige Benutzer sofort bei einer Überbeanspruchung, die nicht nur von der Vortriebskraft, sondern auch von der Klaffung zwischen den Rohren abhängt. Nicht nur Schäden auf der Rohrinneenseite, sondern auch auf der Rohraußenseite können dadurch berechnet und erkannt werden.

In Abbildung 1 werden die angesprochenen Vor- und Nachteile noch einmal zusammengefasst.

## 3. Analyse der Anforderungen

Durch Daten-Monitoring-Systeme können fast alle Parameter automatisch aufgezeichnet und dokumentiert werden. Zur vollständigen Bewertung der Systeme gilt es herauszufinden, wie die Daten gespeichert und bearbeitet werden müssen, um alle Anforderungen der verschiedenen Benutzer zu erfüllen. Dies betrifft einerseits das Speicherintervall und andererseits die Berichterstattung der Daten.

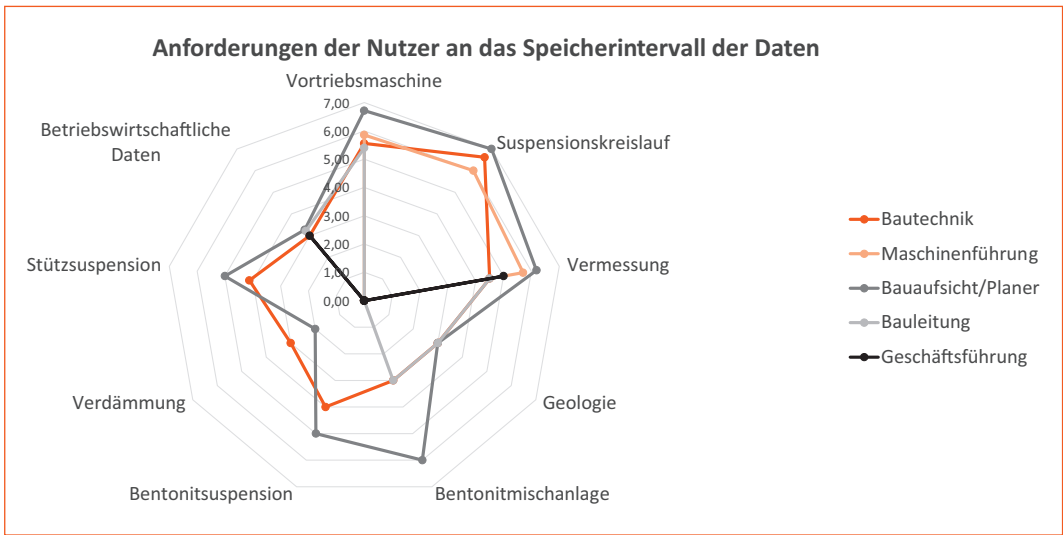
In der Diplomarbeit des Erstautors wurden diese Anforderungen der einzelnen Prozessbeteiligten im Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik des Instituts für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien (unter der Anleitung des Zweit- und Drittautors) untersucht.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Braumann, Daten-Monitoring im Rohrvortrieb (Diplomarbeit, Technische Universität Wien 2018), online abrufbar unter <http://www.ub.tuwien.ac.at/dipl/VL/49645>.

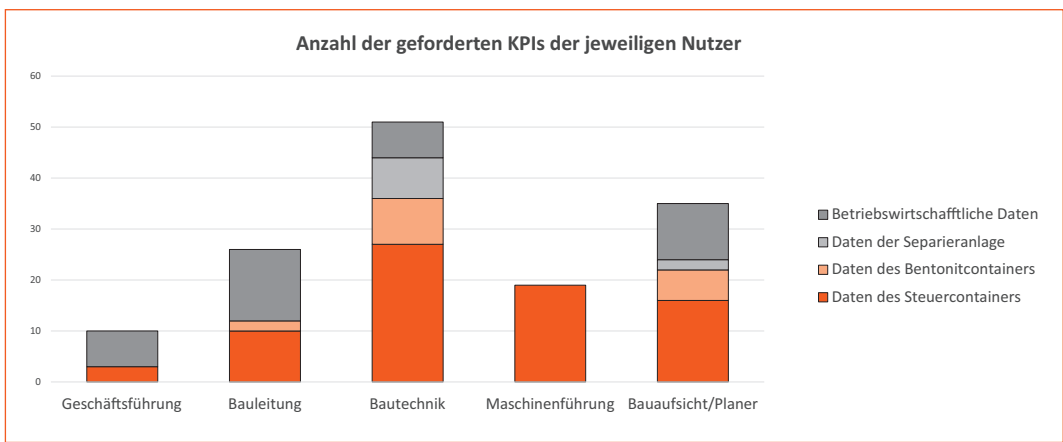
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standortunabhängige Nutzung über Internetbrowser oder Mobile App</li> <li>• Benutzerabhängiger Zugriff auf alle Daten</li> <li>• Automatische Berichterstattung über ausgewählte Daten</li> <li>• Echtzeit-Überwachung</li> <li>• Automatische Alarmierung bei Grenzwertüberschreitung</li> <li>• Flexibilität externer Datenquellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Eingabe einzelner Daten erforderlich (zB Wartezeiten oder Bentonituntersuchungen)</li> <li>• Eingabe weniger Daten ins System derzeit noch nicht möglich (zB Bautagesbericht)</li> <li>• Erforderliche Erstellung von Benutzern zu Beginn jedes Projekts</li> </ul>

Abbildung 1: Zusammenfassende Bewertung der Systeme





**Abbildung 2:** Anforderungen aller Benutzer an das Speicher- bzw Aktualisierungsintervall der Echtzeit-Überwachung



**Abbildung 3:** Anzahl der geforderten KPIs der jeweiligen Benutzer

Im Vorfeld der Befragung wurden zunächst die einzelnen Benutzergruppen des Systems analysiert und anschließend verschiedene Gruppen gebildet. Die Auswahl der Gruppen zielte auf eine Auswahl von verschiedenen Beteiligten am Bauprozess ab, die hauptsächlich vom Daten-Monitoring profitieren:

- Planer bzw örtliche Bauaufsicht;
- Geschäftsführer der ausführenden Firma;
- Bauleiter;
- Bautechniker;
- Bediener der Vortriebsmaschine.

Aus jeder Beteiligungsgruppe wurden verschiedene Personen mit ausreichender beruflicher Erfahrung ausgewählt und einer strukturierten Befragung unterzogen. Als Medium der Befragung diente ein Fragenkatalog, in dem 81 sogenannte KPIs behandelt wurden.

Zu jedem KPI wurden den Befragungsgruppen Auswahlmöglichkeiten zum Zusende-Intervall und zur Darstellungsform der statischen Berichterstattung sowie zu den Aktualisierungs- bzw Speicherungsintervallen und den Darstellungsformen der dynamischen Echtzeit-Überwachung angeboten. Ergebnis der Analyse ist die gewünschte Informationsaufbereitung der Berichterstattung und Echtzeit-Überwachung für jeden Parameter und jede Prozessbeteiligungsgruppe. Die Angaben der Befragten wurden in tabellarischer Form ausgearbeitet. Diese Auswertungen bilden eine Art Pflichtenheft für die Einstellungen der Benutzer ab. Eine Verallgemeinerung muss jedoch mit Vorsicht betrachtet werden,

da jedes Projekt sehr spezifisch und unterschiedlich sein kann. Nichtsdestotrotz geben die Ergebnisse der Befragung eine gute Richtung vor.

Zusätzlich ergab die Auswertung einen Katalog der Mindestspeicherintervalle für jeden Parameter. Dieser kann in der Praxis für die Einstellung der Datenspeicherung gesehen werden. Es wird dadurch ein gutes Gleichgewicht zwischen Nachvollziehbarkeit der Daten und Speicherkapazität erreicht.

Schlussendlich wurden die Anforderungen der Prozessbeteiligten untereinander verglichen und in den Diagrammen in Abbildung 2 und 3 zusammengefasst.

Das Netzdiagramm in Abbildung 2 beschreibt die Anforderungen an das Speicherintervall der jeweiligen Benutzer. Für die Auswertung wurden die Zahlencodes 0 bis 7 für die sieben verschiedenen Optionsmöglichkeiten der Aktualisierungsrate im Fragenkatalog verwendet. Der Zahlencode 0 bedeutet, dass die Benutzer kein Interesse an der Speicherung des jeweiligen KPI haben. Zahlencode 7 bedeutet, dass ein Speicherintervall im Sekundentakt gefordert wird. Zur Darstellung wurde innerhalb der Untergruppen aus den Zahlencodes, die ungleich 0 sind, der Mittelwert gebildet und im Diagramm aufgetragen. In der Darstellung ist deutlich zu sehen, dass die örtliche Bauaufsicht, kurz gefolgt von der Bautechnik, die höchsten Anforderungen an diesen KPI stellt. Im Gegensatz dazu hat die Geschäftsführung die geringsten Anforderungen an diesen KPI und benötigt nur tägliche Infor-

mationen über wenige Parameter der Vermessung und einige betriebswirtschaftliche Parameter.

Bei der Auswertung in Abbildung 2 wurde die Anzahl der geforderten KPIs nicht berücksichtigt, da Nullwerte aus der Mittelwertbildung innerhalb der Kategorien ausgeschlossen wurden. Um die mengenmäßigen Unterschiede der KPIs zwischen den unterschiedlichen Gruppen zu verdeutlichen, wurden die KPIs der Kategorien für jede Gruppe aufsummiert und in Abbildung 3 dargestellt.

In der Darstellung ist eindeutig zu erkennen, dass die Bautechnik (Bauausführung) die meisten Anforderungen an das Monitoring und die Auswertung einzelner Parameter benötigt. Die Bauaufsicht fordert zwar weniger Daten, diese aber in einem engeren Zeitintervall. Die Geschäftsführung benötigt nur wenige vermessungstechnische und betriebswirtschaftliche Daten.

Zusammenfassend ist zu sehen, dass die unterschiedlichen Berufsgruppen sehr unterschiedliche Anforderungen an die Berichterstattung und Darstellungsform der gesammelten Daten haben.

### Fazit und Ausblick

Beim Rohrvortrieb handelt es sich um ein sehr komplexes Verfahren. Dies erfordert hohes Know-how aller Projektbeteiligten. Eine ausführliche Vorerkundung des Untergrundes und eine konsequente Planung des Gewerks sind für eine erfolgreiche Durchführung eines Vortriebs notwendig. In der Arbeitsvorbereitung werden die Arbeitsschritte der Ausführung detailliert festgelegt und die dafür notwendigen technischen Parameter bestimmt. Die Bedienung der Vortriebsmaschine ist nur durch erfahrene Experten möglich, da einige Parameter in der Planung und Arbeitsvorbereitung nicht bestimmt werden können und der Maschinist den Verlauf vor Ort einschätzen muss.

Für die Nachvollziehbarkeit der entstehenden Daten zur Qualitätskontrolle sowie zur Prozessoptimierung sind die Aufnahme, Speicherung und Analyse von einer großen Anzahl von Parametern erforderlich. Gegenwärtig macht die digitale Vernetzung von Maschine, Managementsystem und Mensch große Fortschritte, wodurch das Datenmanagement erleichtert wird. Der Prozess wird durch moderne Daten-Monitoring-Systeme aufgezeichnet und analysiert, wodurch die Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung deutlich verbessert werden.

Die Ausarbeitung des strukturierten Fragebogens ermöglicht eine konsequente und lückenlose Analyse der jeweiligen Anforderungen der Prozessbeteiligten an das Daten-Monitoring im Rohrvortrieb. Daten-Monitoring-Systeme können dadurch besser adaptiert und zur automatischen Datenaufbereitung und -analyse programmiert werden. Die Auswertung des Fragebogens in der erwähnten Diplomarbeit des Erstautors hat gezeigt, dass die derzeit existierenden Daten-Monitoring-Systeme die Anforderungen der Beteiligten

am Bauprozess grundsätzlich erfüllen können. Dennoch ist im Sinne einer zukunftsorientierten Sichtweise festzuhalten, dass noch sehr viel Potenzial in dieser Entwicklung steckt und insbesondere Pilotprojekte mit wissenschaftlicher Begleitung hier zahlreiche innovative Aufschlüsse liefern könnten.

Das Daten-Monitoring im Rohrvortrieb steht derzeit noch am Beginn seiner Entwicklung und hat großes Potenzial.

Der Vergleich der Anforderungen der befragten Prozessbeteiligten mit den untersuchten Daten-Monitoring-Systemen zeigt, dass alle geforderten Datenverläufe und Statistiken anforderungsgerecht automatisch bearbeitet und erstellt werden können. Jede befragte Gruppe hat jedoch sehr unterschiedliche Interessen in Bezug auf das Berichterstattungsintervall und die Parameteranzahl. Eine Anpassung zur Unterscheidung der verschiedenen Anwendungsgruppen in den Systemen ist deshalb durchaus sinnvoll. Bislang müssen diese Einstellungen bei jedem Projekt vor deren Einsatz manuell programmiert werden.

Zur Verbesserung des Monitorings sind außerdem noch die digitale Aufzeichnung und Einbindung aller Parameter notwendig. Derzeit werden einige Daten (wie zB baubetriebswirtschaftliche Daten im Bautagesbericht oder Messwerte aus dem Bentonitlabor) nach wie vor manuell aufgezeichnet und weitergeleitet. Dies würde weitere Eingabegeräte oder zusätzliche Eingabemasken direkt ins System am Baustellencomputer erfordern. Eine weitere Möglichkeit wäre die Verwendung von drahtlosen Tablets, die mit dem System verbunden sind.

Für eine weitere Entwicklung bedarf es außerdem eines virtuellen Modells, das bereits in der Planung erstellt wird und schnittstellenübergreifend nach dem Prinzip von BIM in jeder Prozessphase bearbeitet und erweitert werden kann.

Die Anpassung an die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) ist für Unternehmen in der Baubranche unverzichtbar und bringt – wie nachstehend angegeben – einige Vorteile und Potenziale:

- Verkürzung von Dokumentationszeiten und Entlastung des operativen Personals;
- schnelle Erkennung von Fehlern und verkürzte Reaktionszeiten auf baubetriebliche Ereignisse;
- automatische Kontrolle des Materialbestands auf der Baustelle;
- automatisierte Aufmaß-Erstellung und Abrechnung;
- konsequente und vollumfängliche Erfassung von Bauprozessen;
- Echtzeit-Erfassung von Bauprozessen.

Zusammenfassend: Daten-Monitoring-Systeme können wesentlich zu einer Optimierung der Bauprozesse bei Rohrvortrieben beitragen.