

# **Positionierung und Kollisionsraumüberwachung einer Autobetonpumpe**

Jan SCHMIDT, Michael MÖSER, Andreas MAAS

## **1 Einführung**

Der Wunsch, komplexe Baustellenprozesse zu automatisieren, wie er noch in den 90-er Jahren vielfältig geäußert wurde, ist mittlerweile nicht mehr vordergründig vorhanden. Die Arbeitsabläufe sind bei konkreten Bauvorhaben sehr komplex und außerdem durch ein vielfältiges Nebeneinander von handwerklichen und industriellen Methoden gekennzeichnet. Außerdem ist die Baustelle einem ständigen Wandel unterzogen, der zum einen vom Baufortschritt, zum anderen aber auch von den aktuell am Bauprozess beteiligten Personen und Arbeitsgeräten abhängt. All diese Faktoren führen dazu, dass eine vollständige Automatisierung nur sehr schwer zu realisieren ist.

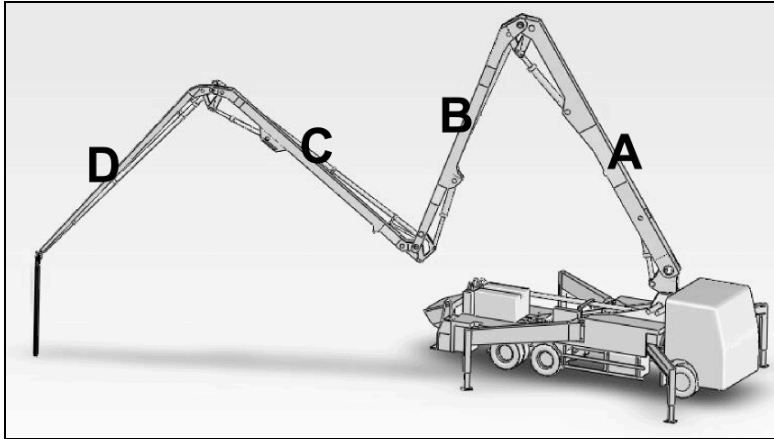
Dennoch gibt es Bestrebungen, einzelne am Bau beteiligte Prozesse automatisch zu steuern. Es sind flexible Robotermodi für im Markt eingeführte Maschinensysteme zu entwickeln, um einerseits die eingebaute Materialmenge und andererseits den Personalbedarf zu optimieren. Einen solchen Prozess stellt das Einbringen von Beton mit Autobetonpumpen dar. Hierzu gibt es durch das Institut für Verarbeitungsmaschinen und mobile Arbeitsmaschinen der TU Dresden umfangreiche Arbeiten in enger Kooperation mit einem Hersteller dieser Maschinen. Die hierbei entwickelten Positionierungslösungen einer Autobetonpumpe sind verifiziert worden. Außerdem galt es zu untersuchen, inwiefern geodätische Sensoren in den Automatisierungsprozess eingebunden werden können. Der vorliegende Beitrag wird über den Stand dieser Arbeiten berichten, bei denen es um die Aufzeichnung von Bewegungsbahn und Geschwindigkeit des Betonverteilmastes einer Autobetonpumpe sowie den Vergleich mit den angestrebten Sollpositionen geht.

Ein weiterer Aspekt beim Einsatz einer Autobetonpumpe ist sicherheitstechnischer Natur. Es geschehen immer wieder schwere Unfälle dadurch, dass der Betonverteilmast in die Nähe von Strom führenden Leitungen gelangt oder diese sogar berührt. Um diese Risiken zu minimieren, gilt es Verfahren zu entwickeln, wodurch Freileitungen mittels geeigneter Sensoren erkannt und auch eventuelle Kollisionen mit diesen verhindert werden. In einem zweiten Teil des Beitrages werden einige Untersuchungsergebnisse vorgestellt, die klären sollen, ob ausgewählte geodätische Sensoren wie z. B. Laserscanner, Distanz messende Kameras oder RTK-GPS für die Erkennung von Freileitungen als redundante Kontrollverfahren geeignet sind.

## **2 Autobetonpumpen**

Moderne Autobetonpumpen sind komplexe Maschinen mit mehrgliedrigen Verteilmasten, die bei höchster Beweglichkeit Reichweiten von über 69 m erzielen können. Die Mast-

segmente liegen in einer Ebene und sind in dieser drehbar gelagert (Abb. 1). Bewegt und gestützt werden sie durch Hydraulikzylinder. Mit Hilfe des gleichfalls hydraulisch angetriebenen Drehwerks wird der Mast als Ganzes um die Maschinenhochachse gedreht.



**Abb. 1:** Autobetonpumpe mit Bezeichnung der Mastsegmente

Die so genannte EBC (Ergonic Boom Control) erlaubt es, den Mast mittels eines einzigen Joysticks zu verfahren, indem die Bewegungsrichtung der Mastspitze bzw. des Endschlauches vorgegeben wird. Der Maschinencomputer steuert daraufhin sämtliche Hydraulikzylinder, wodurch die gewünschte Endschlauchbewegung resultiert. Zur Positionserfassung werden die Daten der an jedem Arm und dem Drehwerk angebrachten Winkelsensoren verarbeitet.

### 3 Positionierung des Betonverteilmastes

Die richtige Positionierung der Mastspitze sollte mittels geodätischer Messverfahren überprüft werden. Dabei galt es die Istposition und das Bewegungsverhalten dieser zu bestimmen, wenn sie sich durch die automatisierte Steuerung auf einer Sollbahn bewegt.

Für die geometrische Erfassung der Bahnkurve des Pumpenarmes kam ein zielverfolgendes Tachymeter (TCA2003) zum Einsatz (Abb. 2a). Die Steuerung des Tachymeters für die Messwernerfassung und Messdatenregistrierung erfolgte extern durch einen Laptop. Die Signalisierung des Zielpunktes am Pumpenarm wurde durch einen 360°-Reflektor realisiert, der mittels einer Spezialhalterung an der Mastspitze befestigt war (Abb. 2b).

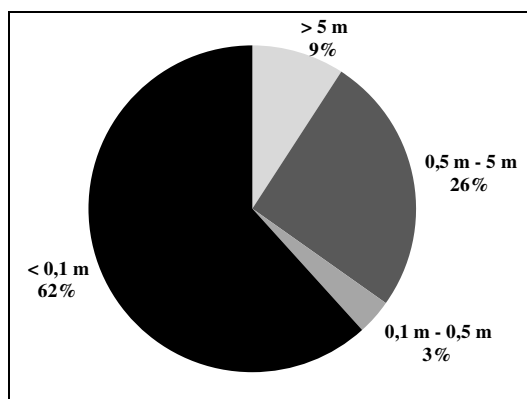
Ebenfalls an dieser Halterung war eine GPS-Antenne (AT502) angebracht, welche zusammen mit dem Empfänger (SR530) den mobilen Teil einer RTK-Ausrüstung darstellt. Dieser Rover hatte die Aufgabe, eine 3D-Koordinate der Antenne im Sekundentakt aufzuzeichnen. Die zur Ausrüstung gehörende Referenz war vom gleichen Typ wie der Rover und als lokale Station in der Nähe der Betonpumpe aufgebaut. Sie lieferte die Korrekturdaten, die mittels 70 cm-Funk übertragen wurden.



**Abb. 2:** Messanordnung (a) und Spezialhalterung an der Mastspitze (b)

Die GPS-Messung diente der Untersuchung, ob dieses Verfahren eine Möglichkeit der Unterstützung für die Positionierung des Pumpenarmes liefern kann, d. h. ob Verfügbarkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit dieses Verfahrens in dieser speziellen Anwendung gegeben sind. Problematisch bei der hier vorliegenden Anwendung sind vor allem die extremen Neigungen der Antenne, die an der Mastspitze des Pumpenarmes fest montiert war. Hierdurch ist keine optimale Ausrichtung zu den Satelliten gewährleistet und es werden zusätzlich am Erdboden reflektierte Signale in die Positionsbestimmung einfließen. Dies kann zu einer Verschlechterung der Genauigkeit bzw. sogar zu einer falschen Positionsbestimmung führen.

Um Einflüsse der umgebenden Bebauung weitestgehend auszuschließen, fand die Messung auf einem Versuchsfeld mit uneingeschränkter Sicht zu den Satelliten (ohne Abschattung) statt. Im Ergebnis der Untersuchungen kann festgestellt werden, dass RTK unter den hier gegebenen Bedingungen durchaus ein geeignetes Hilfsmittel für die Positionierung des Pumpenarmes liefern kann (Abb. 3). Es sollte allerdings für die Verbesserung der Verfügbarkeit entweder eine zweite GPS-Antenne mit entgegengesetzter Ausrichtung oder eine pendelnd aufgehängte Antenne, die sich durch diese Aufhängung selbständig in Richtung Zenit ausrichtet, montiert werden.

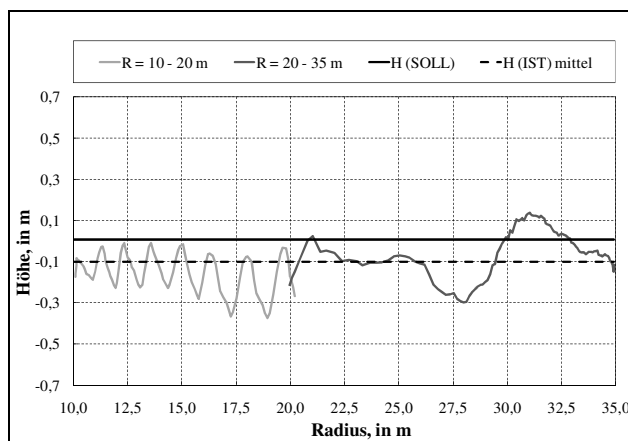


**Abb. 3:** Prozentuale Verteilung der mit RTK erreichten 3D-Genauigkeit



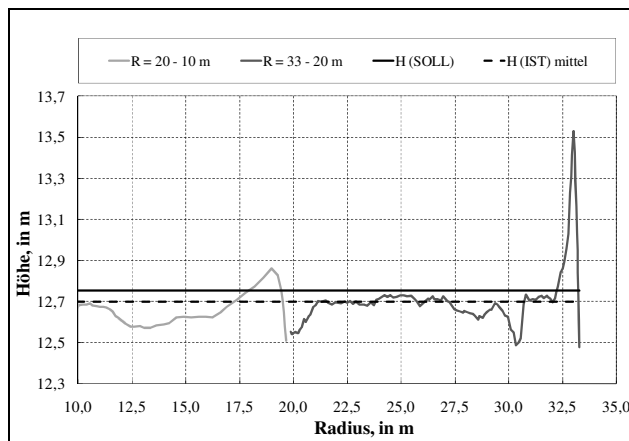
**Abb. 4:** Unterschiedliche Armstellung bei gleichem Verfahradius

Während der automatischen Messung mit dem zielverfolgenden Tachymeter wurde die Position des Reflektors an der Mastspitze mit einer Frequenz von 3 – 5 Hertz erfasst. Die durch das Steuerprogramm der Maschine vorgegebenen Sollwerte beziehen sich allerdings auf die Öffnung der Förderleitung (Abb. 2b). Der geometrische Bezug der Öffnung zum Reflektor ist durch die koordinatenmäßige Bestimmung dieser im Bezugssystem hergestellt worden. Für die Berechnung der Istkoordinaten der Öffnung sind Zuschläge zu den Koordinaten des Reflektors zu ermitteln, die je nach Stellung des letzten Armelementes variieren können (Abb. 4). Die Zuschläge wurden aus den Daten der Pumpensteuerung für das letzte Armelement berechnet.



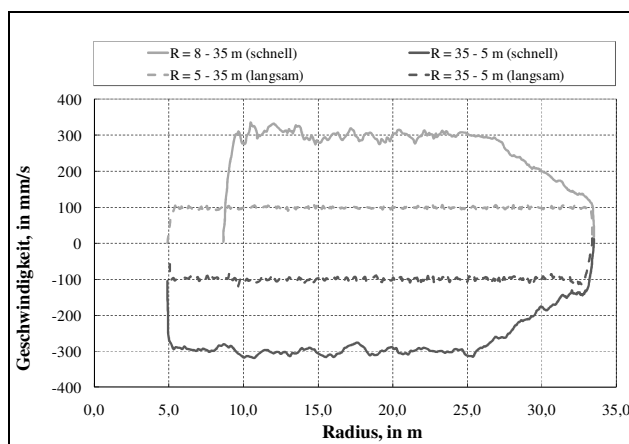
**Abb. 5:** Ergebnisdiagramm für den Versuch „Horizontales Ausfahren“

Bei einem ersten Versuch wurde der Pumpenarm bei einer vorgegebenen Sollhöhe von + 1 cm ausgefahren. Außerdem erfolgte bei den Entfernungen 10 m, 20 m und 35 m ein Stopp der Bewegung. In Abbildung 5 ist der Bewegungsverlauf dargestellt. Die Höhe des Bezugspunktes variiert um  $\pm 25$  cm um einen Mittelwert von - 10 cm. Weiterhin ist in dem ersten Teilstück ein vermutlich durch die Steuerung hervorgerufenes Pendeln um den Sollwert zu erkennen, was bei größeren Radien nicht mehr mit der hohen Frequenz vorliegt. Die Abweichungen zu den für die Stopps definierten Sollradien betragen maximal 9 cm.



**Abb. 6:** Ergebnisdiagramm für den Versuch „Horizontales Einfahren“

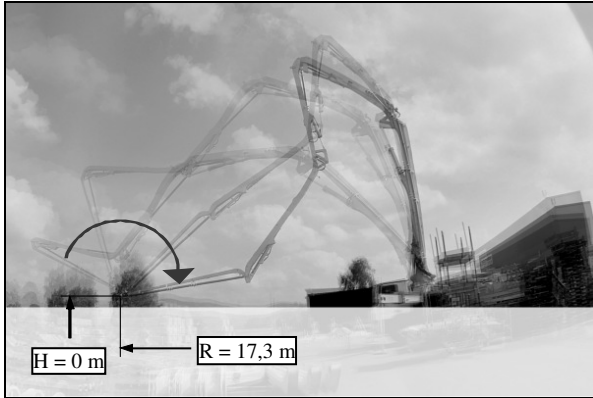
Die Ergebnisse der sich anschließenden Rückfahrt von  $R = 33$  m bis  $R = 10$  m zeigen zunächst nicht die Pendeleffekte, wie sie für die Streckung deutlich gewesen sind. Hier ist allerdings ein anderes typische Muster erkennbar (Abb. 6). Bei Bewegungsbeginn nach den Stopps ist zunächst eine sehr starke Anhebung der Mastspitze zu erkennen, wobei hier Beträge von bis zu 1 m über der Sollhöhe (12,75 m) zu verzeichnen sind. Nach dieser Hebung wird jedoch relativ schnell ein mittlerer Höhenwert von 12,70 m erreicht, wobei die Messwerte hier nur um  $\pm 15$  cm um diesen schwanken. Für das Erreichen der Sollradien an den einzelnen Stopps gelten die gleichen Aussagen wie bei der vorangegangenen Messung.



**Abb. 7:** Ergebnisdiagramm für den Versuch „Bahngeschwindigkeit“

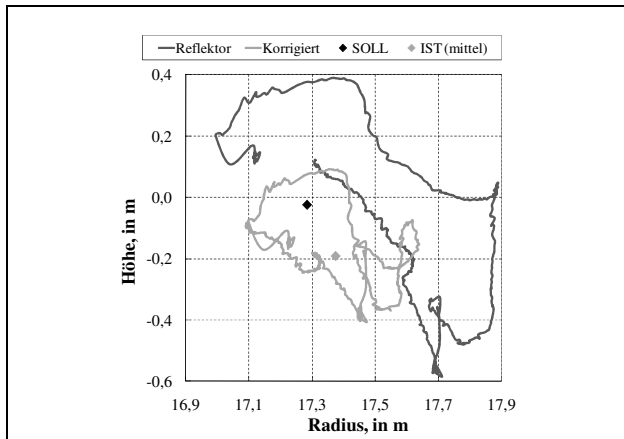
Eine weitere Messung diente der Überprüfung der Bahngeschwindigkeiten. Hierfür wurde der Pumpenarm mit zwei unterschiedlichen Vorgabewerten (100 mm/s bzw. 300 mm/s) aus- und wieder eingefahren. Wie in Abbildung 7 ersichtlich, weichen die tatsächlichen

Bahngeschwindigkeiten im Mittel um lediglich 1 mm/s von den Vorgaben ab. Die Streuung der einzelnen Messreihen hingegen variiert in Abhängigkeit von der jeweiligen Geschwindigkeit.



**Abb. 8:** Fotomontage der Versuchsreihe zur kontinuierlichen Orientierungsänderung

Bei dem letzten Versuch sollten die Höhe (0 m) und der Radius (17,3 m) der Mastspitze konstant gehalten werden, während eine Orientierungsänderung der einzelnen Armelemente zueinander stattfindet (Abb. 8). Dabei dürften die Koordinaten der Öffnung keine Änderung erfahren. In Abbildung 9 erfolgt eine Gegenüberstellung der Kurven für den als Zielpunkt dienenden Reflektor und die korrigierten Werte für die Öffnung als Bezugspunkt. Es ist ersichtlich, dass die korrigierte Kurve eine geringere Ausdehnung in Radius und Höhe besitzt, da sich der Reflektor durch die sich ändernde Ausrichtung des letzten Armes um die Öffnung herum bewegt. Der Abstand zwischen Reflektor und Öffnung beträgt 29,7 cm. Berechnet man eine mittlere Höhe und einen mittleren Radius aus allen korrigierten Messwerten, so liegt dieser Istpunkt 17 cm unterhalb und 9 cm rechts vom Sollpunkt.



**Abb. 9:** Ergebnisdiagramm für den Versuch „Orientierungsänderung“

Als verallgemeinertes Fazit für den Soll-Ist-Vergleich aus allen oben beschriebenen Messszenarien kann festgestellt werden, dass die zur Zeit eingesetzte Steuerung eine entsprechende Zielvorgabe mit einer Abweichung von  $\pm 30$  cm erreicht, wobei es bei definierten Bewegungen (z.B. Radiusverringern) zu größeren Differenzen bis zu 1 m kommen kann.

## 4 Kollisionsraumüberwachung

Das Einsatzgebiet von Autobetonpumpen beinhaltet auch Arbeiten in der Nähe von Hochspannungsleitungen. Die Sicherheitsvorschriften zu Arbeiten in diesen Bereichen besagen, dass je nach anliegender Spannung ein Sicherheitsabstand von 3 – 5 m zu den Leitungen einzuhalten ist. Dennoch ereignen sich immer wieder Unfälle mit Todesfolge, da es mit bloßem Auge sehr schwer fällt, die Entfernung des Betonpumpenmastes zur Freileitung abzuschätzen. Um den Betonpumpenführern einen sicheren Einsatz im Bereich von Hochspannungsleitungen zu ermöglichen, ohne dabei den Bewegungsspielraum unnötig stark einzugrenzen, wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens ein Verfahren entwickelt, die Freileitung zuverlässig zu detektieren. Zur Positionsbestimmung des Mastes werden die Mastgeometrie und die Daten der internen Winkelsensoren ausgewertet. Mit diesen Daten wird die Position der Arme ermittelt und in Bezug auf die Hochspannungsleitung einer Kollisionsprüfung unterzogen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Entfernung zur Leitung soll die Bewegung des Mastes automatisch gebremst oder gestoppt werden. Für eine sicherheitsrelevante Überwachungslösung ist es allerdings erforderlich, dass die Elemente der Schutzeinrichtung redundant ausgelegt und Fehler erkannt werden müssen. Im Rahmen des Projektes zur Kollisionsraumüberwachung gilt es daher, Fehler in der Positionsbestimmung des Mastes zuverlässig zu erkennen. Mit Hilfe redundanter Signalstrecken ist es lediglich möglich, die Signalübertragung zu kontrollieren. Zur Kontrolle der ermittelten Position ist eine diversitäre Sensorik erforderlich.

### 4.1 RTK-GPS

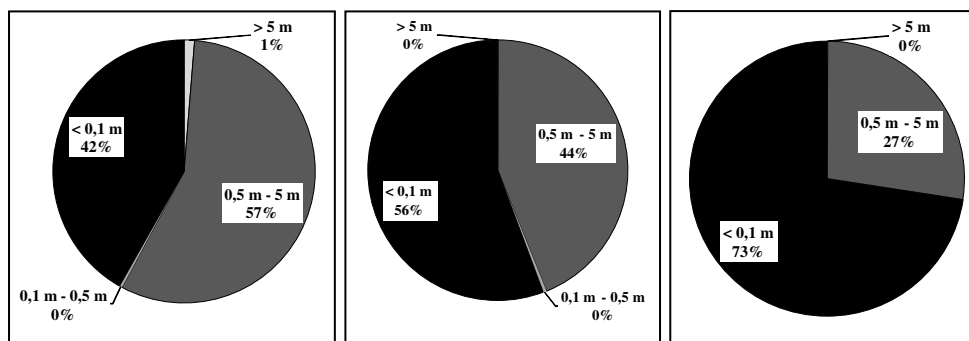
Die Positionsbestimmung mit Satellitensignalen in Echtzeit (RTK) kommt bereits heute im Straßenbau zur Positionierung der Arbeitsausrüstung von Baumaschinen zum Einsatz. Eine vollständige Bestimmung der Mastposition einer Autobetonpumpe mit all seinen Segmenten ist aus wirtschaftlicher Sicht sicher nicht sinnvoll. Dazu genügt bereits die Überprüfung der Position der Mastspitze. Auf diese Weise werden die Winkelsensoren einer Plausibilitätskontrolle unterzogen.

Wie in Kapitel 3 beschrieben, hat sich bei vorangegangenen Untersuchungen die starre Konstruktion der Sensoraufnahme für den Testablauf und die spätere Auswertung als ungünstig erwiesen. Diese Erfahrung nutzend, wurde eine neue Halterung entworfen (Abb. 10). Sie lässt sich an Stelle der letzten Rohrkrümmung in die vorhandene Rohrkupplung einsetzen. Durch die pendelnde Lagerung der Sensoraufnahme stehen der 360°-Reflektor und die GPS-Antenne mit einem festen Abstand vertikal übereinander. Die GPS-Antenne ist somit stets zum Himmel ausgerichtet und der bestmögliche Satellitenempfang wird erzielt. Ein einfacher Vergleich mit den maschineneigenen Winkeldaten ist aufgrund der Position an der Mastspitze ebenfalls möglich. Es muss lediglich der seitliche Versatz der Sensoren berücksichtigt werden.



**Abb. 10:** Sensorhalterung an der Mastspitze (pendelnd gelagert)

Um die realen Bedingungen im Baustelleneinsatz zu simulieren, wurde die Messung diesmal in bebautem Gelände durchgeführt. Insbesondere galt es herauszufinden, wie stark sich der Einfluss von Gebäuden in unmittelbarer Nähe auf das Ergebnis der RTK-Messung auswirkt. Das größte Problem auf dem Versuchsfeld stellt deshalb die Signalabschattung durch eine Versuchshalle mit einer Höhe von 18 m dar. Sie blockiert bei geringer Sensorhöhe die aus südlicher Richtung einfallenden Signale.



**Abb. 11:** Genauigkeitsverteilung der GPS-Messung in Abhängigkeit von der Masthöhe: alle Messwerte (a), ab Höhe 4 m (b), ab Höhe 15 m (c)

In Abbildung 11 ist die GPS-Genauigkeit für verschiedene Messhöhen dargestellt. Deutlich erkennbar ist hier die Zunahme des prozentualen Anteils von Messergebnissen mit einer höheren Genauigkeit mit zunehmender Messhöhe. Die Ursache hierfür ist vor allem in der Abschattung durch die benachbarte Versuchshalle zu suchen.

Es zeigt sich somit, dass unter realen Bedingungen nicht immer von der maximalen Genauigkeit ausgegangen werden kann. Abschattungen durch umliegende Bebauung und Vegetation sorgen für Störungen im Satellitenempfang und bedingen dadurch eine Reduzierung

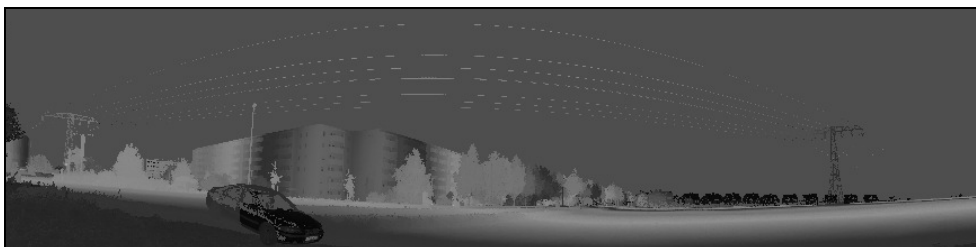


der Messgenauigkeit. In Hinblick auf die Verwendbarkeit der RTK-Lösung ist jedoch zu bedenken, dass der Hochspannungsschutz vornehmlich in einem Gelände zum Einsatz kommen wird, welches relativ frei von hohen Gebäuden ist und sich die Wahrscheinlichkeit einer Abschattung dadurch reduziert.

## 4.2 Laserscanner

Für den Einsatz eines Laserscanners kann man zunächst eine Unterteilung der Instrumente in zwei Kategorien vornehmen. Zum einen gibt es leichte Geräte mit kleinem Sichtbereich und geringer Reichweite, welche direkt an der Arbeitsausrüstung befestigt werden können (z. B. SICK LMS 221 oder Ibeo Alasca XT). Die zweite Gruppe bilden die terrestrischen Laserscanner. Diese tasten über eine Dauer von mehreren Minuten die gesamte Umgebung sehr detailliert ab und erzielen dabei hohe Genauigkeiten (z. B. Riegl LMS-Z420i oder Z+F Imager 5006).

Ziel des Versuches war es, die Eignung der terrestrischen Laserscanner (hier des Riegl LMS-Z420i) für die Vermessung von Hochspannungsleitungen zu untersuchen. Weiterführend wurde ermittelt, welche Auflösung dafür notwendig ist und wie lange dieser Scan für die Abdeckung des theoretischen Arbeitsbereiches einer Maschine dauert. Der Laserscanner befand sich in einer Entfernung von 30 – 90 m zu den acht Freileitungen, deren Abstand zum Erdboden zwischen 11 m am niedrigsten Punkt und 15 m am Hochspannungsmast betrug. Zu Beginn des Versuches wurde ein Vorab-Scan mit einer horizontalen und vertikalen Auflösung von  $0,2^\circ$  durchgeführt. Der horizontale Sichtbereich betrug dabei  $250^\circ$  und deckte die gesamte Hochspannungsleitung ab. Ausgehend davon wurde ein kleinerer Ausschnitt mit verschiedenen höheren Auflösungen erneut gescannt. Abschließend sind nur die Leiterseile mit der maximalen Versuchsauflösung von  $0,018^\circ$  vermessen worden.



**Abb. 12:** Entfernungsbild des Vorab-Scans

Bei dem Vorab-Scan wurden 498.400 Punkte in einer Zeit von 62 Sekunden gemessen. Abbildung 12 zeigt, dass die Freileitungen schon bei dieser geringen Auflösung zu erkennen sind. Allerdings stellt gerade der Nahbereich, in dem senkrecht zu den Leiterseilen gemessen wurde, ein großes Problem dar. Einige Linien sind über eine größere Strecke unterbrochen. Darüber hinaus verdecken sich Leiterseile gegenseitig, was zu Problemen bei der eindeutigen Identifizierung führt. Bei der Analyse der Hochspannungsleitung mit der maximalen Versuchsauflösung stellte sich ein großer Nachteil der terrestrischen Laserscanner heraus. In Folge der hohen Scanzeit kommt es zu einer Doppeldeutigkeit der Ergebnis-

se, durch die 16 statt der eigentlich vorhandenen 8 Leiterseile dargestellt werden. Die Freileitungen können durch den Einfluss des Windes in Schwingung versetzt werden.

Dieser Test hat gezeigt, dass es mit terrestrischen Laserscannern prinzipiell möglich ist, Hochspannungsleitungen zu vermessen. Allerdings ist die benötigte Zeit viel zu hoch, um vor Beginn der Arbeiten die gesamte Umgebung einer Maschine zu erfassen. Zusätzlich würde jede Veränderung der Baustelle einen neuen Scanvorgang erforderlich machen.

Der Test des Ibeo Alasca XT wurde in der Nähe eines Umspannwerkes durchgeführt, da hier eine Vielzahl alter und neuer Leiterkabel zur Verfügung stand und somit gleichzeitig die Auswirkung der Korrosion auf die Reichweite und die Genauigkeit der Messung analysiert werden konnte. Dieser Scanner ist prinzipiell für die Abtastung eines horizontalen Blickfeldes konzipiert worden. Die Auswertung der Daten erfolgt dabei über das Programm Ibeo AS, worin die Reflexionspunkte abhängig von ihrer Lage zum Scanner und der horizontalen Entfernung visualisiert werden. Im Falle der hier durchgeführten Messungen sind alle Leiterseile erkannt worden, die direkt von unten erfasst wurden. Im Test waren, unabhängig von der Ausrichtung des Alasca XT zu den Freileitungen, große Schwankungen in der erzielten Reichweite zu erkennen. In den Messungen parallel zur Hochspannungsleitung endete die Detektion bereits bei 20 m. Allerdings konnten bei der Ausrichtung quer dazu selbst in Entfernungen von 40 m noch Leiterseile erkannt werden. Der Versuch mit diesem Scanner hat gezeigt, dass Freileitungen erfasst werden können, jedoch eine Primärdetektion von Leiterseilen infolge des geringen vertikalen Sichtbereiches auszuschließen ist. Der Scanner müsste dafür in die Richtung der Leitung zielen und zusätzlich so gedreht werden, dass er quer zu dieser steht.

### **4.3 Distanz messende Kameras**

Eine neue Entwicklung zur Bestimmung von Abständen stellen die Distanz messenden Kameras (z. B. SwissRanger 3000 oder PMD CamCube) dar. Hierbei werden in einer Aufnahme für jeden Bildpunkt nicht nur ein Intensitätswert erfasst, sondern auch ein Abstand zum Objekt. Dabei nutzen diese Kameras bauartabhängig zwischen 500 und 40.000 Empfänger. Durch die simultan arbeitenden Pixel wird eine sehr hohe Geschwindigkeit erreicht, so dass die gesamte Szene in kürzester Zeit vermessen wird. Der Nachteil dieser Systeme ist allerdings die geringe Reichweite und die Anfälligkeit gegen Hintergrundstrahlung.

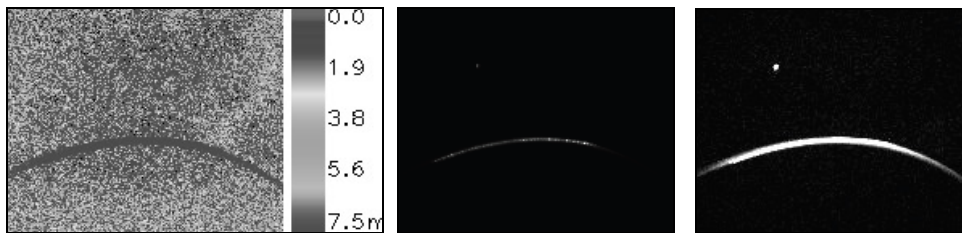
Distanz messende Kameras werden zurzeit hauptsächlich bei Innenraumanwendungen eingesetzt. Aus diesem Grund wurde zunächst eine Machbarkeitsuntersuchung durchgeführt, um die prinzipielle Eignung der SwissRanger 3000 zur Erkennung von Leiterseilen sicher zu stellen. Von Interesse war dabei, ob und wie weit Leiterseile detektiert werden können und welche Einwirkung das Sonnenlicht auf die Messwerte ausübt. Auf eine Analyse der Genauigkeit wurde vorerst verzichtet.

Als Detektionsobjekt diente das in Abbildung 13 erkennbare 2 m lange Leiterseil mit einem Durchmesser von 16,5 mm. Die Messung wurde bei einer Entfernung von einem Meter gestartet und im Folgenden der Abstand um jeweils einen Meter erhöht, bis das Leiterseil nicht mehr zu erkennen war.

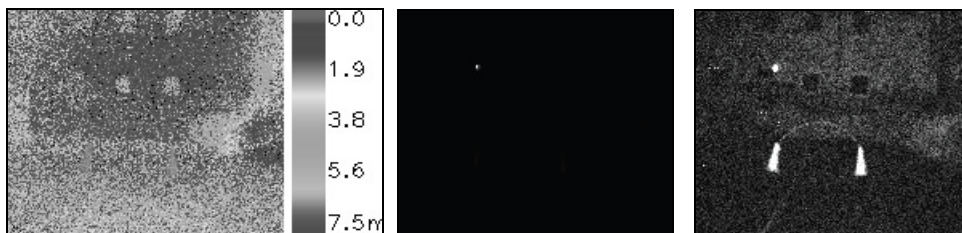


**Abb. 13:** Aufbau zum Test der SwissRanger 3000

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der Messung bei der Distanz von einem Meter dargestellt. Im Entfernungsbild (a) ist das Leiterseil als Linie zu erkennen. Auch das Intensitätsbild (b) lässt sich unter Zuhilfenahme geeigneter Amplitudenfilter dahingehend optimieren, dass die Leitung durchgehend und in realer Breite sichtbar wird (c). Ab einer Entfernung von fünf Metern beginnt das Leiterseil im Hintergrundrauschen zu verschwinden. Bei einer Distanz von sechs Metern ist es mit der SwissRanger 3000 nicht mehr möglich, das dünne Leiterseil weiterhin als durchgehendes Objekt zu erfassen (Abb. 15). Darüber hinaus treten durch die Hauswand im Hintergrund Doppeldeutigkeiten der Messwerte auf, wodurch eine Unterscheidung in Wand oder Leitung nicht mehr eindeutig möglich ist. Der Versuch hat gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, Freileitungen mit dieser Kamera zu detektieren. Mit einem maximalen Messbereich von sechs Metern und dem Problem der Doppeldeutigkeit sind die Einsatzmöglichkeiten jedoch sehr stark eingeschränkt.

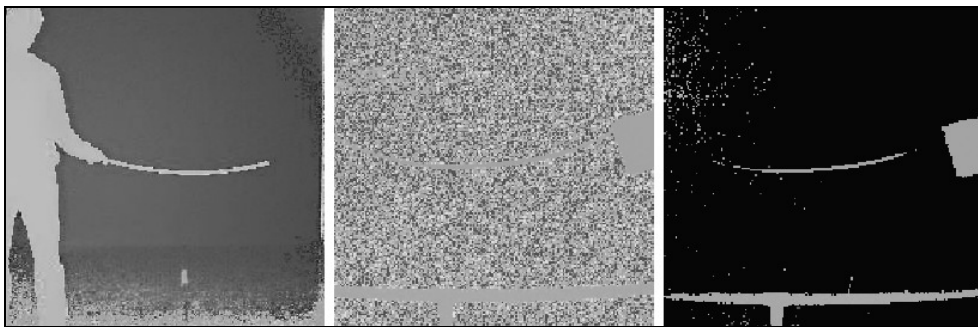


**Abb. 14:** Entfernungsbild (a) und Intensitätsbilder (b, c) bei einem Abstand vom 1 m



**Abb. 15:** Entfernungsbild (a) und Intensitätsbilder (b, c) bei einem Abstand vom 6 m

Die CamCube von PMD repräsentiert das modernste auf dem Markt erhältliche Gerät. Die Kamera erreicht vorerst eine Reichweite von 7 m. Der Sensor verfügt über 40.000 Pixel und besitzt eine integrierte Fremdlichtunterdrückung. In einem Indoor-Test konnte das Leiterseil bis zu einer Entfernung von neun Metern detektiert werden. Darüber hinaus waren die Umgebungsbedingungen optimal, weder Fremdlicht noch Hindernisse beeinflussten die Messung negativ. Im Gegensatz dazu sank die Reichweite der Kamera unter Outdoor-Bedingungen enorm. Schon bei den ersten Messungen bei einer Distanz von zwei Metern ist das Leiterseil von einem sehr starken, jedoch gleichmäßigen Rauschen umgeben. Besonders deutlich wird dies beim direkten Vergleich mit der Indoor-Messung (Abb. 16). Die fehlerhaften Bildpunkte lassen sich infolge ihrer geringen Intensität ausblenden. Dafür besitzt das CamVis Programm einen integrierten Amplitudenfilter, der als „Bad Pixel Removal“ (BPR) bezeichnet wird. Dieses Feature birgt jedoch den Nachteil, dass auch der Randbereich des Leiterseiles teilweise mit entfernt wird.



**Abb. 16:** Entfernungsbilder Indoor (a) und Outdoor (b, c) bei einem Abstand von 3 m

## 5 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag soll zeigen, auf welcher vielfältigen Weise geodätische Sensoren beim Automatisierungsprozess von Baumaschinen, hier am Beispiel einer Autobetonpumpe, eingesetzt werden können. Durch die hohe Genauigkeit der klassischen Tachymetrie kann dieses Verfahren zur Überprüfung von Positionierungslösungen genutzt werden. Hierbei geht es vor allem um die Einhaltung der durch die Steuerung vorgegebenen Solltrajektorie. Eine sich selbständig auf der Baustelle bewegende Maschine muss aber auch Objekte, die sich im Bereich der vorgegebenen Bahnkurve befinden, erkennen und den Abstand zu diesen bestimmen können, um einen möglichen Zusammenstoß zu verhindern. Dies kann vorwiegend durch Laserscanner gelöst werden. Limitierende Faktoren für dieses Verfahren stellen allerdings das Auflösungsvermögen und die Aufnahmedauer für die Erfassung einer bestimmten Umgebung dar. Hier könnte, bei einer zukünftig vielleicht größeren Reichweite, die relativ neue Technologie der 3D-Kameras Abhilfe schaffen. Sie sind in der Lage, Abstände zu Objekten sehr schnell zu erfassen.