

Ein neues Messsystem zur Verlaufsbestimmung von gekrümmten Haltungen

EINFÜHRUNG

Die geometrisch exakte und lagerichtige Dokumentation von Haltungsverläufen ist essentielle Voraussetzung für weiterführende Planungen innerhalb von Kanalnetzen. Dies wird umso wichtiger, wenn an vorhandene Haltungen eine anschließende Erfassung der Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) erfolgen soll. Die Städte und Kommunen haben in den letzten Jahrzehnten die Datenqualität der Kanalnetze durch terrestrische Vermessung der Schachtbauwerke gesteigert. Dabei wurden sämtliche Zu- und Abläufe zentimetergenau in Lage und Höhe bestimmt. Dagegen entsteht der Verlauf einer Haltung meist durch CAD-Konstruktionen zwischen den vermessenen Schachtpunkten.

Im Idealfall einer geradlinigen Verbindung zwischen zwei Schächten führt dies zu ausreichenden Ergebnissen. Bei kreis- oder bogenförmigen Verläufen reichen die Informationen – meist aus analogen Planunterlagen entnommen – jedoch nicht mehr aus, um einen lagerichtigen Verlauf zu konstruieren. Die so entstandenen Unsicherheiten können mehrere Meter aufweisen.

Da nur in seltenen Fällen vermessungstechnisch erfasste Haltungsverläufe aus der Bauzeit vorliegen, muss die Vermessung nachträglich, aus der Haltung heraus, erfolgen. Die bekannten terrestrischen Methoden scheiden aus mehreren Gründen aus: Zu nennen sind hier die Wirtschaftlichkeit, die Umgebungsbedingungen, sowie der geringe Querschnitt < DN 1000, der eine Begehung nicht mehr ermöglicht.

In einer gemeinsamen Entwicklung der Firmen JT-elektronik und PPMsys gelang es, dieses Defizit mittels inertialer Messtechnik zu lösen. Die hierzu erforderliche Sensorik wurde vollständig in die bewährte Fahrwagenkonstruktion von JT-elektronik integriert (**Bild 1**).

Von der Sensorsteuerung über die Datenerfassung bis zur Berechnung des gewünschten dreidimensionalen Haltungsverlaufs wurden die langjährigen Erfahrungen des Systems geoASYS genutzt und entsprechend weiterentwickelt. Die Firma PPMsys entwickelt und erprobt derzeit die Software zur automatischen Vermessung von beliebig gekrümmten Haltungen.

Für die Genauigkeit des Haltungsverlaufs wird, bei bekanntem Anfangs- und Endpunkt, eine maximale Lageabweichung in der Größenordnung der Breite der Haltungsrinne angestrebt. Nach ersten erfolgreichen Tests auf einem Versuchsgelände von JT-elektronik konnte das System einem ersten Praxistest in Regensburg unterzogen werden, über den im Folgenden berichtet wird.

PRAXISTEST IN REGENSBURG

Das Regensburger Kanalnetz weist zahlreiche gekrümmte Haltungen auf. Die Stadt Regensburg sucht deshalb seit längerem nach Möglichkeiten zur exakten geometrischen Erfassung solcher Haltungen und erklärte sich bereit, einen Testkanal auszuwählen und zur Verfügung zu stellen. Das Testgebiet enthielt insgesamt zwei Haltungen mit bekannter bzw. vermuteter Kreisbogengeometrie mit einer Gesamtlänge von ca. 210 m (**Bild 2**).

1. Untersuchungsaspekt

Der erste Test wurde in der kreisbogenförmig bekannten Haltung durchgeführt (**Bild 3**).

Die Koordinaten der Haltungsanfangs- und -endpunkte liegen bei der Stadt Regensburg aus einer terrestrischen Vermessung in Lage und Höhe mit cm-Genauigkeit vor. Sämtliche Punkte werden im Landeskoordinatensystem als Gauß-Krüger-Koordinaten geführt. Die bereitgestellten DXF-Daten konnten unmittelbar für die Vermessung



Bild 1: JT-Fahrwagen mit integrierter Sensorik zur Haltungsvermessung



Bild 2: Testgebiet Regensburg mit gekrümmten Haltungen

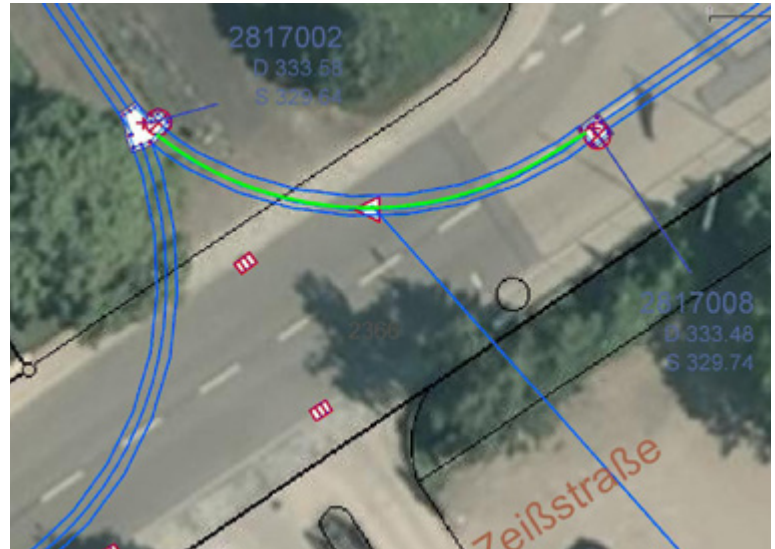


Bild 3: Haltung FM-83 zwischen den Schächten 2817002 und 2817008

der Haltungen verwendet werden. hakASYs führt die Vermessung zunächst in einem lokalen Koordinatensystem durch und überführt die Ergebnisse anschließend in das Koordinatensystem des Kunden. Dabei wird sichergestellt, dass die durch das Messsystem neu bestimmten Koordinaten von Haltungsanfangs- und Haltungsendpunkt exakt den von der Stadt Regensburg übernommenen Koordinaten entsprechen. Hierdurch werden Klaffen und Mehrdeutigkeiten vermieden. Haltungen beginnen und enden genau an den vermessenen Knoten der Schachtbauwerke (**Bild 4**).

Die Lage des Messsystems zum Fahrwagen von hakASYs wurde vor Beginn der Messung kalibriert. Dies ist nur einmal notwendig, um den Fahrwagen anhand bekannter Bezugspunkte so in der Haltung positionieren zu können, dass ein Bezug zum Haltungsanfang hergestellt werden kann (**Bild 5**).

Die Vermessung durch hakASYs selbst erfolgt automatisch während der Hin- und Rückfahrt des Fahrwagens zwischen den beiden Schachtbauwerken. Der Operateur muss während der Messfahrt keine Eingaben vornehmen und kann sich vollständig auf die Steuerung des Fahrwagens

konzentrieren. Das Testgebiet wurde mit einem nichtlenkbaren Fahrwagen vom Typ Turbo II der Fa. JT-elektronik untersucht. Die Bereifung des Fahrwagens wurde an den Querschnitt so angepasst, dass eine Führung in der Mitte des Profils sichergestellt werden konnte. Ein Klettern am Haltungsrand wurde nicht beobachtet, so dass jeweils ohne verzögernde Stopps kontinuierlich vom Haltungsanfang zum Ende und zurück gefahren werden konnte. In **Bild 6a** ist die Krümmung des Haltungsverlaufes des untersuchten Eiprofils 700/1050 zu erkennen.

Am Haltungsende angekommen teilt der Operateur dies der Software mit, um die exakte Wegposition der Haltungslänge zu bestimmen. Die Positionierung erfolgt optisch mittels des Kamerabildes (Bild 6b). Die momentane Position des Fahrwagens kann während der Vermessung kontinuierlich mit hinterlegtem Hintergrundbild live verfolgt werden. Nach der Positionierung des Fahrwagens im Schacht lassen sich pro Minute durchschnittlich 10 m Haltungsverlauf erfassen. Diese Durchschnittsangabe schließt die Hin- und Rückfahrt ein.

Bild 7 zeigt die berechneten Stützpunkte der Hin- (violett) und Rückmessung (blau). Der maximale Abstand zwischen Hin- und Rückmessung beträgt in der Mitte der

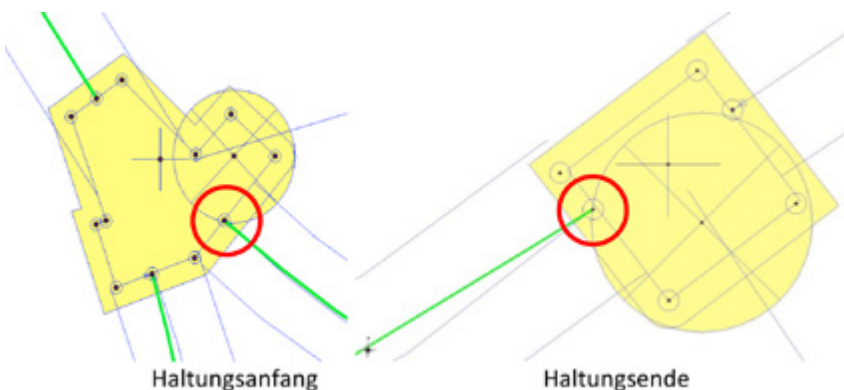


Bild 4: Schachtbauwerke der Haltung FM-83



Bild 5: Positionieren des Fahrwagens am Haltungsanfang



Bild 6: a) Gebogener Eiprofilverlauf (Haltung FM-83),



b) Haltungsende FM-83

Haltung weniger als 8 cm. Deutlich erkennbar ist die gute Übereinstimmung beider Messungen. Das endgültige Ergebnis, der neue Haltungsverlauf (grüne Linie), wird aus beiden Lösungen bestmöglich mathematisch bestimmt. Die Haltungen wurden zur Überprüfung der Genauigkeit (Reproduzierbarkeit) mehrmals befahren. **Bild 8** zeigt die endgültigen Ergebnisse aller drei Befahrungen. Die Lösungen liegen innerhalb eines Bandes mit maximaler Breite von 15 cm. Diese Abweichung resultiert nicht nur aus der Genauigkeit des Messsystems, sondern auch aus der Unsicherheit der Befahrung. Insgesamt lässt dieses Ergebnis auf eine sehr gute Reproduzierbarkeit des Messsystems schließen und bedeutet, dass mehrere Vermessungen das Ergebnis nur geringfügig verbessern können und bereits eine Befahrung, bestehend aus Hin- und Rückmessung, zuverlässige Informationen über den geometrischen Verlauf der Haltung liefert.

2. Untersuchungsaspekt

Der zweite zu untersuchende Kanal verläuft von Süden (Nr. 1) nach Norden (Nr. 3) und ist in **Bild 9** in gelber Farbe eingezeichnet. Die Gesamtlänge beträgt ca. 122 m und setzt sich aus zwei Teilabschnitten zusammen, die in der Mitte durch einen Schacht (Nr. 2) geteilt werden. Der südliche

Teil zwischen den Schächten 1 und 2 verläuft auf einer Strecke von ca. 58 m geradlinig. Anhand dieser Haltung sollte untersucht werden, wie stabil die Sensorik geradlinige Verläufe erfassen kann. Ein weiterer Teil der Haltung, nördlich von Schacht Nr. 2 verläuft nach Angaben der Stadt Regensburg leicht (in **Bild 10** nur im Ansatz erkennbar) gebogen. Allerdings ist dieser gekrümmte Verlauf nicht exakt bekannt.

In diesem zweiten Versuch sollte zunächst Haltung FM-84 zwischen Schacht Nr. 1 und Nr. 3 untersucht werden, welche Resultate bei längeren Distanzen von über 100 m erzielt werden können. Dabei diente der in der Mitte liegende Schacht Nr. 2 als Kontrolle, weil seine Position exakt vermessen ist.

Die Haltung FM-84 wurde insgesamt dreimal in Hin- und Rückmessung befahren. Die Grüne

Linie in **Bild 10** zeigt das endgültige Ergebnis. Die laterale Abweichung der aus den Einzelpunkten gerechneten Graden, die dem Sollverlauf entspricht, beträgt nur wenige Zentimeter.

Wie **Bild 11** zeigt, ist auch bei geradlinigen Haltungen eine gute Reproduzierbarkeit am Verlauf der Stützpunkte der Hin- (violett) und der Rückmessungen (blau) erkennbar. Die jeweils daraus abgeleiteten endgültigen Haltungsverläufe (rot) weichen einander maximal um 7 cm ab. Deutlich zu erkennen ist die Kompensation von systematischen Fehlern durch die gemeinsame Auswertung der Hin- und Rückmessungen.

Wie bereits erwähnt bestand der zweite Teil des Versuchs darin, die bekannte Position des Schachtes Nr. 2 als Kontrollpunkt zu nutzen. Die Abweichung von diesen vermessenen Haltungspunkten ist ein Maß für die Genauigkeit des Messsystems nach 60 m Leitungsverlauf, wobei die Gesamtlänge der Messung ca. 122 m beträgt.

Bild 12 zeigt die Auswertungen am Schacht Nr. 2. Die grüne Linie entspricht der durch hakASYs vermessenen Haltung. Die südliche rote Linie zeigt die im vorausgegangenen Versuch bestimmte Haltung FM-84. Die Abweichung am Haltungsende beträgt nur 10 cm. Noch besser ist das Ergebnis am nördlichen Haltungsanfang. Hier beträgt die Abweichung lediglich 5 cm! Es sei bemerkt,

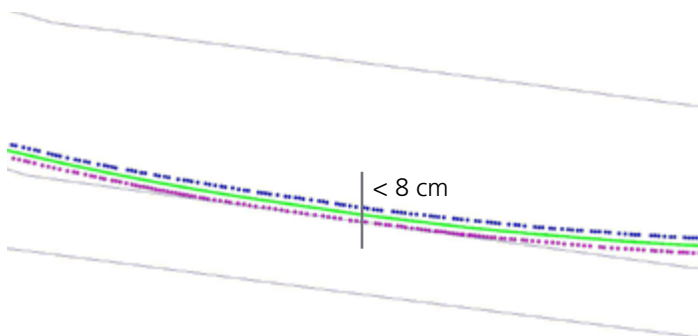


Bild 7: Hinmessung (violett), Rückmessung (blau) und endgültiger Verlauf (grün)

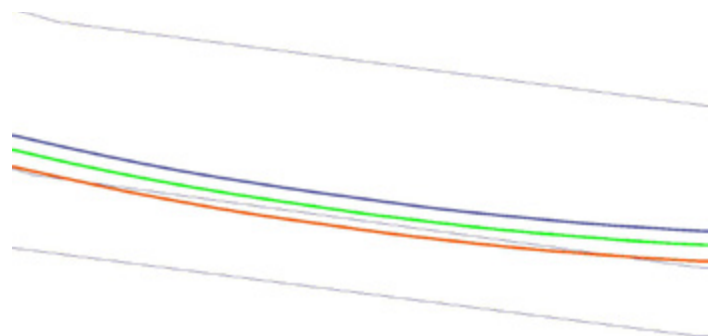


Bild 8: Endgültige Ergebnisse aus Hin- und Rückmessung von drei unabhängigen Vermessungen

dass dieser Betrag nach bereits 60 m zurückgelegter Haltungsvermessung erreicht wurde. Da der Anfangs- und Endpunkt (bei Schacht Nr. 1 und 3) jeweils bekannt ist und damit fehlerfrei in die Bestimmung eingeführt wurde, ist prinzipiell die in der Mitte der Haltung zu erwartende Abweichung am größten. Es sind demnach keine Lagedifferenzen von mehr als 10 cm zu erwarten. Auch hier ist noch zu berücksichtigen, dass dieses Ergebnis durch die Unsicherheit des Fahrweges beeinflusst wurde. Um den Verlauf zwischen Schacht 2 und 3 nochmals getrennt zu untersuchen, wurde die ganzheitliche Vermessung zwischen Schacht 1 und 3 nur in diesem Teilabschnitt ausgewertet.

Das erzielte Ergebnis bestätigt die Vermutungen der Vertreter der Stadt Regensburg, dass die Haltung zwischen Schacht 2 und 3 (grüne Linie in **Bild 13**) in einem leichten Bogen verläuft. Die bestimmte Querabweichung beträgt etwa 1,5 m. Eine Abweichung, die ohne eine derartige Vermessung nicht erkannt worden wäre. An diesem Beispiel lässt sich erahnen, welche Verbesserung der Lageinformation bei gebogenen Haltungsverläufen mit dem neuen System hakASYS erreichbar ist. Die Datenqualität geometrischer Parameter von gekrümmten Haltungsverläufen lässt sich somit auf 1 - 2 Dezimeter steigern, dies schließt die Messunsicherheit des Systems ein, aber auch die Unregelmäßigkeit der Befahrung selbst.

3. Untersuchungsaspekt

In einem dritten Test wurde die Haltung FM-228 befahren. Das Besondere an dieser Haltung ist der anfangs gebogene Verlauf bis zur Straßenmitte, der dann ohne Schachtbauwerk in einen geraden Verlauf übergeht. In den Planunterlagen der Stadt Regensburg ist diese Haltung als Kreisbogen mit anschließender Gerade verzeichnet. Auch hier lag die Vermutung nahe, dass der tatsächliche Verlauf abweicht und wesentlich flacher – an der Straßenachse orientiert – verläuft. Bereits die erste Vermessung mit hakASYS bestätigte diese Vermutung. **Bild 14** zeigt den Verlauf der Planunterlagen in blau und den neu bestimmten endgültigen Haltungsverlauf in grün.

Die Querabweichung zwischen vermessener und dokumentierter Haltung beträgt im Maximum 3,4 m (**Bild 14**). Dies ist eine Größenordnung, die auch bereits erheblichen Einfluss auf die geometrische Größe der Haltungslänge selbst hat: Die nachgewiesene Länge wird mit 61,30 m geführt, aus der Vermessung ergibt sich eine rechnerische Länge der Haltung von 57,07 m. In diesem Fall beträgt die Differenz in der Haltungslänge etwa 7 %. Gerade bei Sanierungsmaßnahmen, aber auch bei Netzerweiterungen oder anderen Baumaßnahmen in unmittelbarer Nähe führen diese großen Unsicherheiten in Länge und Lage rasch zu unerwarteten Kostensteigerungen.

ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG

Als Fazit dieser drei umfassenden Tests zur geometrischen Lagebestimmung von gebogenen Haltungen mit dem neuen Messsystem hakASYS lässt sich feststellen:



Bild 9:
Untersuchung von zwei aufeinanderfolgenden Haltungen



Bild 10:
Geradlinige Haltung FM-84

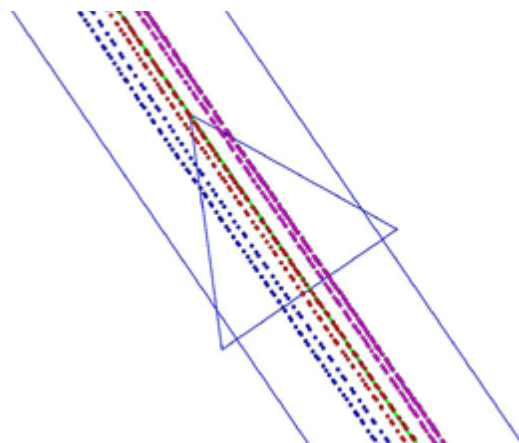


Bild 11:
Stützpunkte aller drei Befahrungen in der Mitte der Haltung

- » Die bewährte Inspektionstechnik (Fahrwagen mit Kamerasystem) von JT-elektronik in Zusammenhang mit einer neuen Sensorik und Steuersoftware zur Positionsbestimmung von PPMsys eignet sich sehr gut für die dreidimensionale Vermessung von gekrümmten Haltungen. Die eingesetzte inertielle Sensorik in Kombination mit der Steuersoftware arbeitete bei den Tests bereits problemlos und liefert zuverlässige Ergebnisse.

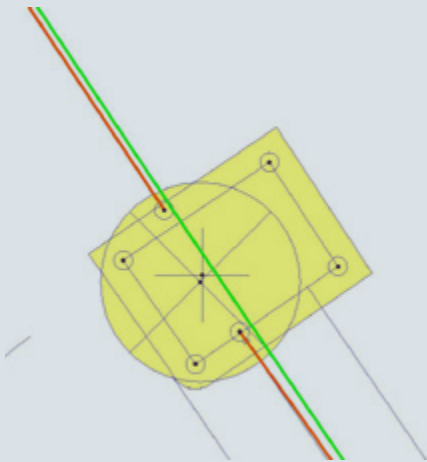


Bild 12: Ergebnisse im Schacht Nr. 2



Bild 13: Bogenförmiger Haltungsverlauf zwischen Schacht 2 und 3



Bild 14: Planunterlagen der Haltung FM-228 (blau) und Ergebnis der Vermessung mit hakASYS (grün)

- » Die Genauigkeit der Ergebnisse entspricht den gesetzten Zielen. Die festgestellte Messunsicherheit betrug bei allen durchgeführten Tests mit Haltungslängen bis 120 m weniger als 10 cm. Damit wurde die Forderung innerhalb einer Fahrinnenbreite zuverlässige Ergebnisse zu liefern erfüllt.
- » Das System zeigte bei Mehrfachbefahrungen eine sehr gute Reproduzierbarkeit der einzelnen Vermessungen. Dies bedeutet, dass eine einzige Befahrung, bestehend aus Hin- und Rückmessung, genügt, um gute Ergebnisse zu liefern.
- » Pro Minute können durchschnittlich 10 m Haltungslänge erfasst werden. Diese Angabe bezieht sich auf die reine Fahrzeit für Hin- und Rückmessung ohne Rüstzeiten für die Positionierung des Fahrwagens in der Haltung.
- » Geradlinige und wenig gekrümmte Haltungsverläufe können ebenfalls gut erfasst werden. Das System

arbeitet nahezu drifffrei. Dies bedeutet, dass Übergänge zwischen Krümmungen und Geraden gut identifiziert werden können.

- » Die Auflösung der vermessenen Stützpunkte beträgt ca. 1 cm. Durch Ausdünnen der Stützpunkte können die extrahierten Linienobjekte deutlich vereinfacht werden.

Danksagung

Unser Dank für die Durchführung aller Testmessungen geht vor allem an Herrn Stangl, der als Vertreter der Stadt Regensburg die Vermessung freundlich begleitete und unkompliziert unterstützte. Durch die Auswahl der Haltungen und die Bereitstellung von Daten konnte das neue Messsystem in realistische Szenarien erprobt werden. Die gewonnenen Erfahrungen tragen wesentlich dazu bei, hakASYS möglichst schnell zur Marktreife zu führen. Weitere Tests mit komplexeren Aufgabenstellungen, die dann auch die Höhenkomponente mit einschließen werden, sind in naher Zukunft geplant. So sollen u.a. während eines weiteren Tests die Entlüftungs- und Entwässerungsleitungen einer Deponie mit modifizierter Messtechnik in Lage und Höhe erfasst und mit den vorhandenen Leitungsdokumentationen verglichen werden.

AUTOREN



Dipl.-Ing. **FRANK HÜMMEL**
PPMsyst (UG), Oberhaching
Tel. +49 89 45545534
E-Mail: info@ppmsyst.de



Dr.-Ing. **ADMIRE KANDAWASVIKA**
PPMsyst (UG), Oberhaching
Tel. +49 89 45545534
E-Mail: info@ppmsyst.de



Prof. Dr.-Ing. habil. **HANS HEISTER**
PPMsyst (UG), Oberhaching
Tel. +49 89 45545534
E-Mail: info@ppmsyst.de