

Mobile 3D-Vermessung zur Dokumentation von Gasleitungen

THEA MINNICH¹ & ANSGAR BRUNN¹

Zusammenfassung: In den letzten Jahren haben sich tragbare Mobile Mapping Systems (Handheld Mobile Mapping System, HMS) als schnelle, umfangreiche und effiziente Aufnahmemethode erwiesen. Dieser Artikel befasst sich mit der Entwicklung und Untersuchung von HMS für einfache vermessungstechnische Arbeiten bei der Dokumentation von Hausanschlussleitungen der Sparte Gas. Ergänzend bieten Smartphones erste Möglichkeiten der Objektmessung (Consumer Mobile Mapping System, CMS).

Das Anwendungsszenario liegt in der Gasversorgung, welche als wesentliche Komponente der Energieversorgung einen entscheidenden Bestandteil der kritischen Infrastruktur in Deutschland ausmacht. Anforderungen an die Netzdokumentation und damit auch die Verfahren werden anhand von Regelwerken festgelegt und müssen bei der Auswahl beachtet werden. Die neuen bild- und laserbasierten Verfahren haben das Potential, konventionelle Messmethoden in der Vermessung des Gasleitungsnetzes abzulösen. Durch die frühe Digitalisierung der Erfassung direkt an der Baugrube kann die Leitungserfassung genauer und wirtschaftlicher gestaltet werden.

1 Einleitung

Die weltweite Energieversorgung für Industrie, Gewerbe und Privathaushalte beruht zu einem großen Teil auf einer zuverlässigen Gasversorgung. Als wesentliche Komponente der Energieversorgung macht die Gasversorgung somit einen entscheidenden Bestandteil der kritischen Infrastruktur aus. Allein in Deutschland liegen mehr als 500.000 km Gasleitungen. Hausanschlussleitungen, die lokalen Leitungen bis zum Endverbraucher, nehmen einen wesentlichen Anteil der vorhandenen Leitungen ein und stehen auch für neue Bauvorhaben im Fokus.

Bei Tiefbaumaßnahmen geht von Gasleitungen ein hohes Gefährdungspotential aus, wenn unbeabsichtigt Beschädigungen herbeigeführt werden. Um Störungen in der Versorgung zu vermeiden, ist für jedes Tiefbauvorhaben eine Leitungsauskunft einzuholen. Eine umfassende und genaue Dokumentation der Leitungen ist daher unverzichtbar für sichere Arbeiten und um unbeabsichtigte Unfälle zu vermeiden.

Die in offener Bauweise erstellten Gasleitungen sind zunächst erstmal nur direkt nach der Montage sichtbar und dokumentierbar, bevor der Graben wieder verfüllt wird. Verlegungsverfahren mittels Erdrakete u. ä. liegen außerhalb der Betrachtungen dieses Artikels.

Aktuelle Vermessungsarbeiten in der Energieversorgung werden je nach Komplexität von ausgebildeten Vermessungsfachkräften durchgeführt. Dazu werden Vermessungsinstrumente wie Tachymeter und GNSS verwendet. Bei geringerer Komplexität der Maßnahme und kurzen Leitungslängen obliegt es dem geschulten Personal vor Ort mithilfe einfacher Aufnahmemethoden, beispielsweise einem Messband, manuelle Aufnahmeskizzen zur Dokumentation anzufertigen. Die

¹ Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt, Fakultät Kunststofftechnik und Vermessung, Röntgenring 8, D-97070 Würzburg, E-Mail: Thea.Minnich@study.thws.de, Ansgar.Brunn@thws.de

Aufnahmeskizzen beinhalten Maße zur nahegelegenen Topografie anhand denen GIS-Mitarbeitende die Leitungen im Innendienst konstruieren und in das GIS einpflegen. Die Bemaßung aller Leitungen und Einbauteile anhand der Topographie, wie etwa Bauwerke, ist zudem Bestandteil der Planwerke, welche ein schnelles Wiederauffinden im Störfall ermöglichen.

Das Ziel dieses Beitrags ist die Entwicklung und Untersuchung von Messverfahren für diese einfachen Messsituationen der Gasleitungsdokumentation, in denen mit einfachen Messmitteln die Dokumentationsnotwendigkeit erreicht wird.

In den letzten Jahren haben sich tragbare Mobile Mapping Systeme (Handheld Mobile Mapping System, HMS) als schnelle, umfangreiche und effiziente Aufnahmemethode erwiesen. Ergänzend bieten Mobiltelefoneräte erste Möglichkeiten der Objektmessung (Consumer Mobile Mapping System, CMS).

2 Mobile und handgetragene LiDAR Systeme

Laserscanning ist sehr vielseitig und die Sensoren werden in verschiedenen Systemen und Konfigurationen verbaut. Vor allem mit Airborne Laserscannern und mobilen Mapping-Systemen können in geringer Zeit großflächige Kartierungen durchgeführt werden (ELHASHASH et al. 2022). Als Mobile Mapping-Systeme (MMS) werden eine Art von Laserscanning-Systemen bezeichnet, die auf einem Fahrzeug, z. B. einem Auto oder einem Boot, montiert sind oder von Personen als Rucksack oder in der Hand getragen werden. Sie dienen zur Erfassung von 3D-Daten der Umgebung, während das Fahrzeug bzw. die Person in Bewegung ist. HMS sind oft so konzipiert, dass diese bequem in der Hand gehalten werden können, tragbar sind und wenig Gewicht haben, so dass sie bei der Arbeit vor Ort und bei der Datenerfassung in engen oder schwer zugänglichen Bereichen leicht eingesetzt werden können.

Für die Positionsbestimmung werden MMS durch verschiedene Sensoren ausgestattet. Durch GNSS-Receiver, IMU, Odometer, Laserscanner, Kameras und verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Sensoren kann die Position des Geräts und zugleich die Situation während der Messung bestimmt werden. In vielen HMS wird Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) angewendet. SLAM-Algorithmen stammen aus der Robotik und Computer Vision und werden in mobilen Kartierungssystemen verwendet, um die Position und Ausrichtung der Sensoren sowie die Position und Ausrichtung des Laserscanners zu bestimmen. Der Einsatz von SLAM ermöglicht es dem System, selbst in Umgebungen ohne GNSS oder in dynamischen Umgebungen genaue 3D-Karten der Umgebung zu erstellen. Die Kombination von HMS mit verschiedenen Sensoren zur Positionsbestimmung und SLAM ermöglicht es dem System, 3D-Daten während der Bewegung zu erfassen, gleichzeitig seinen eigenen Standort zu bestimmen und eine Karte seiner Umgebung in Echtzeit zu erstellen, was zu äußerst genauen und detaillierten 3D-Modellen der Umgebung führt. Auch Robotic Systeme (RMS) müssen zukünftig berücksichtigt werden (MASET et al. 2021). Eine neue Entwicklung –seit 2020– von HMS ist der Einsatz von LiDAR-Sensoren in Smartphones. Diese werden als Consumer Mobile Mapping Systeme (CMS) bezeichnet. CMS sind Kartierungs- und Navigationssysteme, die für die Nutzung durch einzelne Verbraucher und ursprünglich nicht für professionelle Vermessungs- oder Geodatenanwendungen konzipiert wurden. Sie sind in der Regel in mobile Geräte wie Smartphones und Tablets integriert und nutzen ebenfalls GNSS

und andere Sensoren. Diese Systeme bieten den Nutzern Karten und standortbezogene Informationen, aktuelle Verkehrs- und Navigationsinformationen in Echtzeit sowie die Möglichkeit, nach interessanten Orten wie Restaurants, Tankstellen und Geschäften zu suchen. Der Detaillierungsgrad, die Genauigkeit und die Präzision dieser Systeme ist in der Regel geringer als bei professionellen HMS.

3 Netzdokumentation

Um die Versorgungssicherheit und Qualität der Gasversorgung in Deutschland zu gewährleisten, gibt es verbindliche Regelwerke, die von Fachleuten wie Vermessungsingenieuren und -technikern in der Netzdokumentation beachtet werden müssen. Das Gasnetz wird grundsätzlich nach den Druckstufen Hochdruck, Mitteldruck und Niederdruck unterschieden. Bei den hier behandelten Hausanschlussleitungen wird ein Druck von maximal 100 mbar, Niederdruck, geführt. Als Hausanschlussleitung wird die Gasleitung bezeichnet, die an das öffentliche Gasnetz angeschlossen ist und von dort aus in das Gebäude führt. Meist ist diese mit einem Absperrventil versehen. Der Verantwortungsbereich für die Leitung liegt bis zu der Hausmauer bei dem zuständigen Netzdienstleister/Gasversorger. Der Netzdienstleister trägt die Verantwortung, die Netzdokumentation für alle Sparten zu führen und über die Lage und Tiefe der verlegten Leitungen bei Bedarf eine Auskunft zu erteilen.

3.1 Einfache vermessungstechnische Aufnahmen

Baustellen - in offener Bauweise - für Hausanschlüsse sind oft sehr übersichtlich und haben einen begrenzten räumlichen Umfang. Die Leitungsdokumentation kann damit als einfache wiederkehrende vermessungstechnische Arbeit durch, nach Regelwerk „GW128“ des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW), geschultes Personal für die Einpflegung in das GIS aufgenommen werden. Anhand des Regelwerks GW 120 werden Voraussetzungen für einfache vermessungstechnische Arbeiten für die Leitungsdokumentation wie folgt definiert:

- Gebäude mit einfacher Grundrissgeometrie,
- Möglichkeit auf nahe gelegene, in den Geobasisdaten vorhandene Gebäude oder sonstige geeignete topografische Objekte einzumessen,
- eine weitestgehend ebene Topografie,
- einfache Leitungsverläufe.
- Das längste gemessene Einzelmaß sollte bei der Verwendung eines Maßbandes i. d. R. nicht länger als 20 m sein (DVGW 2011).

Dazu können einfache Aufnahmemethoden, beispielsweise ein Messband, verwendet werden. Für jede dieser Baumaßnahmen muss eine Aufnahmeskizze für die Dokumentation erfolgen, die Maße zur nahegelegenen Topografie beinhaltet. Die Skizze kann manuell und nicht-maßstäblich erfolgen. Inhalte der Aufnahmeskizze sind Angaben über, die Gebäude, Straßennamen und Hausnummer, die Art der Leitung, Dimension, Material, Verbindungsart und Rohrumhüllung, Baujahr, die Deckung, Einbauteile, die Dimension und Material von Mantelrohren, die Anlagen, Reparaturstellen, Kabel, kathodische Korrosionsschutzanlagen sowie die ausführende Firma und Person sowie das

Datum (DVGW 2021). GIS-Mitarbeitende pflegen die Informationen aus der Aufnahmeskizze anschließend in den digitalen Bestandsplan ein.

3.2 Planwerke

Netzpläne geben den Leitungsbestand wieder und dienen dem Nachweis der Lage von Leitungen. Planwerke werden in der Netzdokumentation unterschieden in Aufnahmeskizzen, Bestandspläne und Übersichtspläne. Übersichtspläne stellen das Versorgungsgebiet dar und beinhalten Haupt- und Versorgungsleitungen. Hausanschlüsse werden in den Bestandsplänen geführt. Grundlage für die Bestandsplanwerke, wie Flurstücksgrenzen, Polygonpunkte und Gebäude, entstammen den amtlichen Geobasisdaten. Digitale Datenmodelle zu den Leitungen werden im GIS mit Informationen nach Anhang A der GW 120 geführt.

4 Anforderungen

Bei der Vermessung von Gasleitungen müssen einige Anforderungen berücksichtigt werden, um eine genaue und sichere Aufnahme zu gewährleisten. Dafür müssen der Einsatzbereich und die Genauigkeitsanforderungen abgegrenzt werden.

4.1 Spezifikation des Einsatzbereichs

Der Einsatz soll zunächst im Rohrnetz, spezifischer in der Sparte Gas, anhand von neu gebauten Hausanschlüssen getestet werden. Für einen HA eines Einfamilienhauses werden im Standardfall Rohre aus Polyethylen (PE) mit einem Außendurchmesser von 32 Millimetern verbaut. Das Erfassungsgebiet liegt ausschließlich im Außenbereich. Reguläre HA liegen in einer offenen Baugrube mit begrenztem räumlicher Umfang. Als Referenzobjekt für die Positionierung sind Häuser aus den amtlichen Geobasisdaten denkbar oder mit konventionellen Vermessungsmethoden eingemessene Hausecken.

Weitere mögliche Einsatzbereiche für die Aufnahme mit LiDAR-Sensorik sind sanierte bzw. erneuerte Leitungen, beispielsweise nach einer Leckage, oder die Trennung / Außerbetriebnahme vorhandener Leitungen bei Baumaßnahmen oder Abriss. Außerdem ist auch eine Erweiterung des Einsatzgebietes auf Hauptleitungen, Versorgungsleitungen und Anschlussleitungen denkbar, welche einen weiteren räumlichen Umfang haben.

4.2 Technische Rahmenbedingungen und Bewertungskriterien

Für eine mögliche Einführung der Systeme bei Netzdienstleistern müssen technische Rahmenbedingungen erfüllt werden. Die Wiederherstellung von Lage und Höhe der Leitungen darf mit einer maximalen Abweichung von 0,2 m erfolgen. Für Werte im 3σ -Intervall muss eine Messgenauigkeit bei der vermessungstechnischen Aufnahme von 0,07 m eingehalten werden.

Um eine Aktualität der Daten zu gewährleisten, ist- neben dem Gesamtprozess der Netzdokumentation- die Dauer einzelner Teilprozesse nicht zu vernachlässigen. Somit ist auch die Dauer der Messung ein Bewertungskriterium. Dafür sollen die Performanz, die Schnittstellen und der Datenaustausch der eingesetzten Messmethoden mit denen der üblichen Messmethoden verglichen werden. Weitere Bewertungskriterien sind die erreichbare Genauigkeit, die Reichweite und das Auflösungsanforderungen des LiDAR-Sensors. Weiter sollen der Funktionsumfang, die Handhabung

der Geräte und Applikationen, der Export und die Methoden der Georeferenzierung, beispielsweise über vorhandene Geobasis-Daten von Häusern evaluiert werden.

5 Marktanalyse HMS und CMS

In den letzten Jahren haben sich HMS als effiziente Aufnahmemethode herausgestellt. Eine Vielzahl von Herstellern bieten mobile HMS an, welche unterschiedliche Spezifikationen und Funktionen aufweisen. Eine Auswahl wird hier aufgeführt.

5.1 HMS am Markt

Eine Vielzahl von Herstellern bieten mobile HMS an, welche unterschiedliche Spezifikationen und Funktionen aufweisen (Tabelle 1). Dies beinhaltet verschiedene Typen von Sensoren, darunter LiDAR, Photogrammetrie und IMU, sowie Datenverarbeitungssoftware und Hardware. Einige dieser Anbieter stellen auch anwendungsspezifische Lösungen bereit, wie zum Beispiel industrielle Inspektionen, Vermessungen von Gebäuden und Infrastrukturen. Die hier aufgeführten HMS basieren alle auf unternehmensspezifischen SLAM-Algorithmen.

5.2 CMS am Markt

CMS sind Kartierungs- und Navigationssysteme, die für die Nutzung durch einzelne Verbraucher und ursprünglich nicht für professionelle Vermessungs- oder Geodatenanwendungen konzipiert wurden. Sie sind in der Regel in mobile Geräte wie Smartphones und Tablets integriert und nutzen ebenfalls GNSS und andere Sensoren, um Navigations- und Kartierungsdienste anzubieten. Diese Systeme bieten den Nutzern Karten und standortbezogene Informationen, aktuelle Verkehrs- und Navigationsinformationen in Echtzeit sowie die Möglichkeit, nach interessanten Orten wie Restaurants, Tankstellen und Geschäften zu suchen. Der Detaillierungsgrad, die Genauigkeit und die Präzision dieser Systeme ist in der Regel geringer als bei professionellen HMS. Die Integration eines LiDAR-Sensors in Tablets oder Mobiltelefone bietet, neben ausschließlich vermessungstechnisch verwendeten HMS, vielversprechende Perspektiven für die Durchführung schneller Vermessungen.

5.2.1 Apple iPhone 12 Pro

Das iPhone 12 Pro von Apple wird, aufgrund seiner Verfügbarkeit zu einem geringen Preis im Vergleich zu traditionellen Vermessungsinstrumenten, seiner Tragbarkeit und der geringen Zeit, die für die Datenerfassung und -verarbeitung erforderlich ist, in diesem Kontext als alternative Option betrachtet.

Tab. 1: Herstellerangaben HMS

Marke	GeoSLAM (GEOSLAM 2023a)	Leica (LEICA 2023)	GreenValley International (GREEN-VALLEY 2023)
Gerätename	ZEB Horizon	BLK2GO	LiGrip
Aussehen	 Abb. 1: ZEB Horizon (GEOSLAM 2023b)	 Abb. 2: BLK2GO (LEICA 2023)	 Abb. 3: LiGrip (COMMUNICATIE FIZZ MARKETING 2023)
Anwendungsbereich	Innen- und Außenbereich	Innenbereich	Innen- und Außenbereich
Distanzbereich	Bis zu 100 m	0,5 bis 25 m	Bis zu 120 m
Gewicht mit Akku	3,7 kg	775 g	1,74 kg
Datenmenge	300.000 pts/sec Rohdaten: 15-50 MB/min	420.000 pts/sec	320.000 pts/sec
Software	- Post processing - Rohdaten: 15-50 MB/min - GeoSLAM Beam	- App für iOS und Android (live während des Scannens) - Grandslam	- eigener SLAM-Algorithmus
Relative Genauigkeiten [cm]	1-3 cm (bis zu 0,6 mm bei optimalen Bedingungen)	1 cm (indoor)	3 cm

Seit 2020 mit dem Release des Tablett iPad Pro 2020 und dem Smartphone iPhone 12 Pro verbaut Apple einen Light Detection and Ranging (LiDAR) Sensor in Smartphones und Tablets (APPLE 2023). Die von Apple vorgesehenen Funktionen zu der Unterstützung des Autofokus und Augmented Reality Anwendungen ermöglichen es jedoch nicht, eine Punktwolke als solche aufzunehmen. Hierfür bieten verschiedene Drittanbieter kostenpflichtige Applikationen an. Laut Herstellerangaben verfügt das iPhone 12 Pro über einen Beschleunigungssensor und ein 3-Achsen Gyrometer. Während der LiDAR-Sensor die Entfernung zu Objekten misst, können Gyrometer und Beschleunigungssensor verwendet werden und die Position und Ausrichtung der gemessenen Punkte in Bezug auf das Gerät zu bestimmen. Technische Daten des LiDAR-Sensors, wie die Auflösung, werden vom Hersteller nicht veröffentlicht (APPLE 2023).

5.2.2 Applikation „SiteScape“

Die Applikation „SiteScape“ generiert Punktwolken aus den Originaldaten des LiDAR-Sensors. In der App können Einstellungsmöglichkeiten für die Punktdichte und die Darstellung der Punktgröße unterschieden werden in „Low“, „Medium“ und „High“. „SiteScape“ gibt dabei nicht an, welche Auflösungen mit den jeweiligen Einstellungen erreicht werden können (SITESCAPE 2023).

5.2.3 Applikation „PolyCam“

PolyCam ist eine App für Fotografie und Videografie. Die App ermöglicht es Benutzern, mehrere Fotos aufzunehmen und diese in Echtzeit zu einem einzigen Panoramabild zu verarbeiten. Darüber hinaus bietet PolyCam auch Funktionen, um die Bildqualität zu verbessern. Polycam nutzt den Lidar-Sensor des iPhone, um eine räumliche Wahrnehmung und eine hochpräzise Tiefenerfassung von Objekten und Umgebungen zu ermöglichen. Dies kann bei verschiedenen Anwendungen, wie z.B. bei der Erstellung von 3D-Modellen, fotorealistischen Renderings und der Erfassung von Tiefen- und Entfernungsdaten, hilfreich sein. Für 3D-Modelle werden die LiDAR-Daten für die Erstellung von Punktwolken mit Hilfe der Photogrammetrischen Aufnahme gestützt (POLYCAM 2023).

6 Praxistest des iPhone 12 Pro LiDAR-Sensors

Genauigkeiten von mobilen Mapping Geräten (HMS und CMS) werden von Herstellern oft generisch angegeben. Im Fall des iPhone 12 Pro werden sogar gar keine Angaben zur Genauigkeit durch Apple Inc. veröffentlicht. Um die Genauigkeiten bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen festzustellen, muss evaluiert werden, wie sich das System in expliziten realen Einsatzszenarien verhält. Bei Untersuchungen der Genauigkeit des iPad Pro 11s LiDAR-Sensors wurden die distanzabhängigen Auflösungen (s. Tab. 2) ermittelt. Dabei wurde ebenfalls die App „SiteScape“ verwendet (SPREFICA et al. 2021).

Tab. 2: Horizontale/vertikale Punktabstände

Einstellung der Punktdichte	Entfernung vom Objekt (m)			
	1	2	3	4
	Punktabstände / Auflösung (cm)			
High	0,9	1,9	2,6	3,3
Medium	1,3	2,6	3,5	4,6
Low	1,8	3,6	4,9	6,6

Eine weitere Bewertung stellt fest, dass es keinen Unterschied zwischen den LiDAR-Sensoren des iPhones und des iPads gibt. Weiterhin sei eine absolute Genauigkeit von einem Zentimeter für Formen kleiner Objekte und ein Präzisionsfehler von einem Zentimeter gemessen worden. Die Präzision nehme ab, wenn Oberflächen mit einer Seitenlänge von weniger als 10 cm gescannt

werden, und die Grenze für die Erkennung von Objekten liege bei etwa fünf Zentimetern (LUETZENBURG et al. 2021).

6.1 Teststellung

Bei dem Test sollen die Genauigkeiten und Auflösung der entstandenen Punktwolken und Abweichungen in einem realen Szenario im Außenbereich untersucht werden. Die Testmessung erfolgt an einem neu verlegten Hausanschluss (Abb. 4). Analog erfolgt eine tachymetrische Aufnahme, mit freier Stationierung über GNSS, der Hausanschlussleitung, sowie der Gebäudeaußenseite, mit der die Genauigkeit der Punktwolke verglichen werden soll.

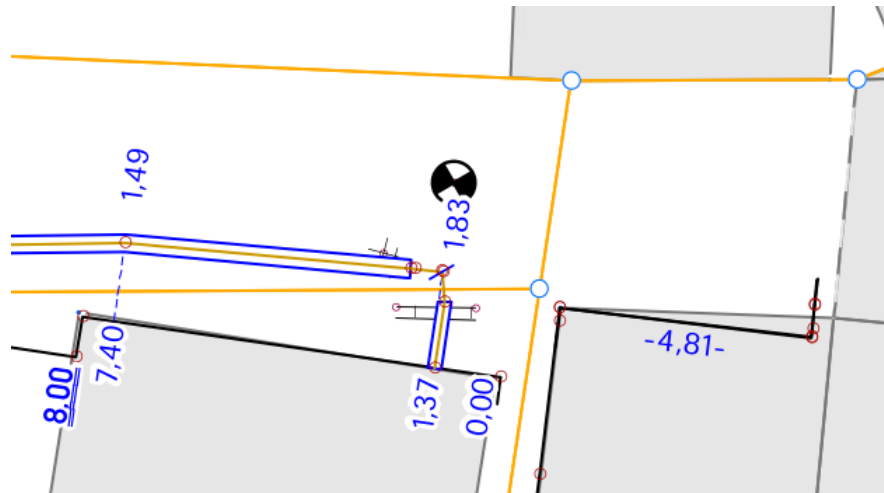


Abb. 4: Aufnahmeskizze vor Ort

6.2 Testmessung

Mehrere Messungen erfolgen mit der App „SiteScape“. Für alle Messungen wurde die Einstellung „High“ für die Punktdichte verwendet. Bei den Messungen wurde ein Abstand von ca. 1-2 Metern zwischen dem Smartphone und der Leitung gehalten. Der Abstand zu den Hausaußenwänden betrug 2-3 Meter.

Die erste Messsituation mit „SiteScape“ erfolgt mit geneigtem Smartphone über der Baugrube und schließt außerdem die Messung, senkrecht zu den Hausaußenwänden, von zwei Hausseiten ein. Es wurde auf eine gleichmäßige und langsame Bewegung des Smartphones und Schleifenschlüsse geachtet, sodass die Baugrube einmal während der Aufnahme umrundet wurde. Die Messung dauert 2-3 Minuten.

Bei einer zweiten Messung wurde das Smartphone, bei sonst gleichbleibenden Bedingungen, horizontal über der Baugrube bewegt und nicht geneigt. Bei einer dritten Messsituation wurde die Baugrube (Abb. 6) betreten und die Leitung aus einer Entfernung von ca. 0,6 m einseitig aufgenommen.

Zusätzlich wurde mit der Applikation „Polycam“ eine Probeaufnahme gemacht, um die Verknüpfung mit photogrammetrischen Ansätzen als Stütze für die LiDAR-Daten zu testen. Die Messsituation erfolgt erneut mit geneigtem Smartphone über der Baustelle und wurde von oben in die Baugruppe gehalten.

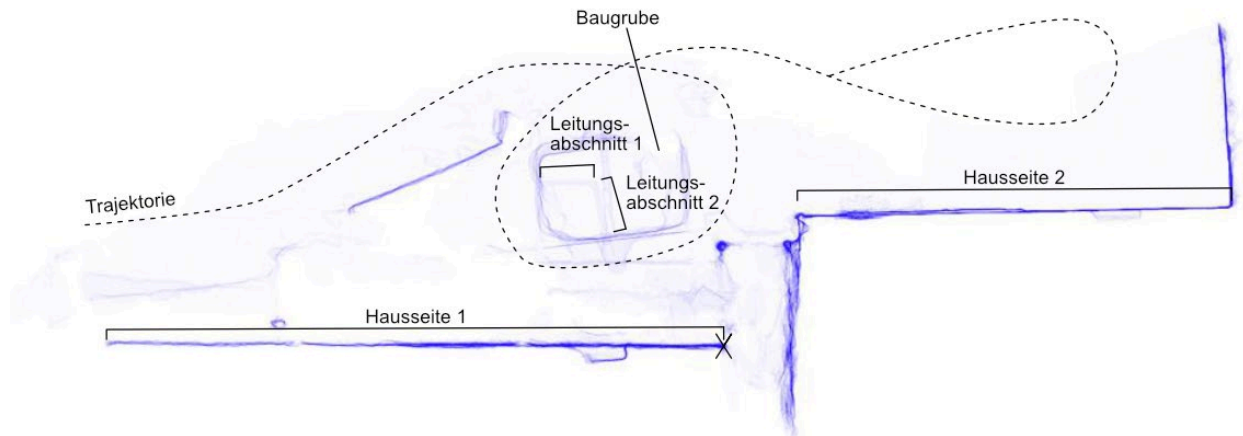


Abb. 5: Übersicht Baustelle



Abb. 6: Baugrube

6.3 Ergebnisse und Bewertung

Die Applikationen „SiteScape“ und „Polycam“ sind beide sehr intuitiv bedienbar. Das ist teils darauf zurückzuführen, dass es wenige individuelle Einstellungsmöglichkeiten gibt. Die Aufnahmemethode ist sehr schnell und die Arbeitssicherheit kann erhöht werden, wenn die Baugrube nicht betreten werden muss. Durch die in Echtzeit entstehende Anzeige der gemessenen Punkte entsteht eine gute Übersicht des aufgenommenen Gebiets.

Die Verarbeitung der Punktwolke ist durch die Möglichkeit verschiedene Dateiformate zu exportieren bzw. in die Portale der Applikationen hochzuladen über open-source Produkte möglich, jedoch aufwändiger im Vergleich mit bisherigen manuellen Skizzen. Die Dateigrößen von 90 MB (Polycam) bis 180 MB (SiteScape) sind kleiner als zunächst erwartet und stellen in der Datenspeicherung keine Herausforderung dar.

Ein großer Nachteil des Smartphones gegenüber anderen HMS ist, dass keine Kalibrierung oder Prüfung des Sensors möglich ist. Reine LiDAR-Daten des iPhones ohne photogrammetrische Unterstützung eignen sich noch nicht, um eine Aufnahmeskizze in ausreichender Qualität herzustellen.

„Sitescape“ liefert auch in der detailliertesten Messkonfiguration keine ausreichende Qualität der Punktwolke, um daraus eine Aufnahmeskizze ableiten zu können. Mit einem geringen Abstand ist die Qualität der Messdaten zwar deutlich besser (s. Abb. 8), jedoch immer noch nicht ausreichend, um die Lage, Länge oder weitere Attribute der Leitung zu bestimmen. Es kann von einem abstandsbezogenem Fehler ausgegangen werden. Die erwartete Genauigkeit von unter einem Zentimeter bei einem Abstand von ca. 0,6 Metern zum Objekt (Tabelle 2) wurde bei der Leitung nicht erfüllt.

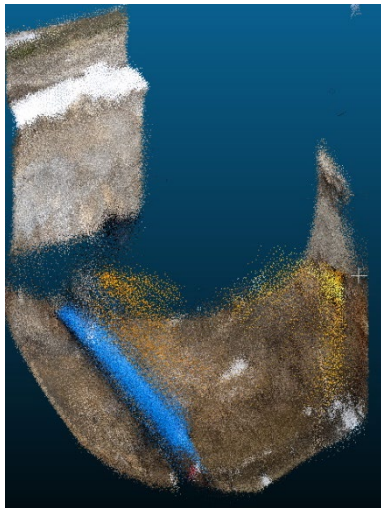


Abb. 7: Azimutale Aufnahme mit SiteScape

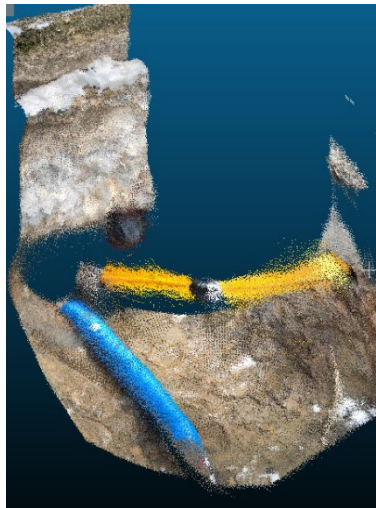


Abb. 8: Aufnahme in der Baugrube mit SiteScape

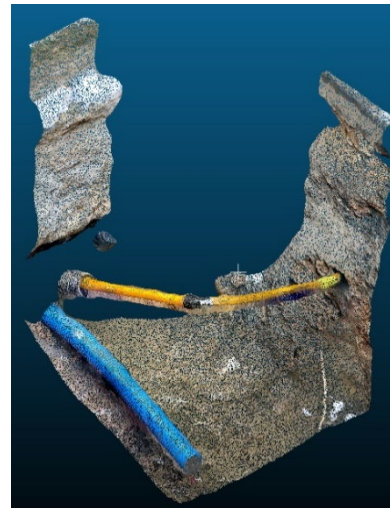


Abb. 9: Aufnahme mit Polycam

Auffällig ist bei den Messdaten, dass die Hausaußenseite als rechtwinklig aufgenommene Ebene sehr viel weniger Streuung aufwirft als die Leitung selbst. Die Referenzierung über die Hauskanten ist dahingehend möglich und wurde anhand der Messdaten aus „Polycam“ geprüft.

Eine Einbindung des LiDAR-Sensors des iPhones in einfache vermessungstechnische Aufgaben ist somit nur über weitere Sensorik denkbar. Anhand der – aus der Applikation „Polycam“ generierten – Messdaten (Abb. 9) kann die Länge der Leitung als auch die Deckung mit einer Abweichung von unter $\pm 0,1$ m bestimmt werden (Tabelle 3). Die Koordinaten können nach einer Referenzierung über eine Hausaußenseite näherungsweise bestimmt werden. Die Abweichungen in der Lage von den Koordinaten der Punktwolke zu den Ist-Koordinaten betragen bis zu 20 cm. Das weitere Haus bzw. die Hausseite 1 wurde bei der Messung nicht vollständig erfasst und konnte daher nur annäherungsweise für die Referenzierung der Punktwolke verwendet werden, was die hohe Abweichung erklärt. Mit Abweichungen bis zu 9 mm in der Länge der Leitung und 2 cm in der Deckung werden die Genauigkeitsanforderungen eingehalten und es kann in diesem Fall kein Maßstabsfehler festgestellt werden.

Tab. 2: Zusammenstellung der Messergebnisse

	Soll-Länge [m]	Ist-Länge (Punktwolke) [m]	Abw. Länge [m]	Soll-Deckung [m]	Ist-Deckung [m]	Abw. Deckung [m]
Leitungsabschnitt 1	0,616	0,607	-0,009	0,70	0,72	+0,02
Leitungsabschnitt 2	0,621	0,624	+0,003	0,81	0,82	+0,02
Hausseite 1 (SiteScape)	7,991	8,10	+0,10	-	-	-
Hausseite 2	4,809	4,82	-0,01	-	-	-

7 Fazit

Die Tests an der Baugrube haben gezeigt, dass die Verwendung von CMS bei einfachen vermessungstechnischen Arbeiten der Gasleitungsdokumentation möglich ist und die Genauigkeitsanforderungen erfüllt werden können. Die Qualität von Punktwolken, die mit „SiteScape“ allein mit dem, im iPhone 12 Pro verbauten, LiDAR-Sensor reicht noch nicht für eine Objekterfassung von Leitungen aus. Ebenen, wie Häuser, dagegen sind mit einer ausreichenden Qualität erfasst worden. Mit einer Kombination von Sensorik bei „Polycam“, wie es auch bei professionellen HMS eingesetzt wird, ist eine zukünftige Verwendung für die vermessungstechnische Aufnahme von HA vorstellbar. Eine Übertragbarkeit auf weitere Netzinfrastruktur ist offensichtlich. Die Behandlung von komplexeren vermessungstechnischen Arbeiten mit CMS und professionellen HMS ist in weiteren Arbeiten notwendig.

8 Literaturverzeichnis

- APPLE INC., 2023: iPhone 12 Pro - Technische Daten (DE). https://support.apple.com/kb/SP831?locale=de_DE, letzter Zugriff 06.02.2023.
- COMMUNICATIE FIZZ MARKETING, 2023: LiGrip. <https://geo-matching.com/handheld-laser-scanners/ligrip>, letzter Zugriff 06.02.2023.
- DVGW, 2011: DVGW GW 128 (M) Einfache vermessungstechnische Arbeiten an Versorgungsnetzen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (HRSG.).
- DVGW, 2021: DVGW GW 120 Netzdokumentation in Versorgungsunternehmen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (Hrsg.).
- ELHASHASH, M., ALBANWAN, H., QIN, R. 2022: A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications, Sensors, **22**(11), 4262.
- GEOSLAM, 2023a: Horizon Spec Sheet. https://geoslam.com/wp-content/uploads/2021/03/Horizon_Spec_Sheet.pdf, letzter Zugriff 06.02.2023.
- GEOSLAM, 2023b: ZEB Horizon: The Ultimate Mobile Mapping Solution. <https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon>, letzter Zugriff 06.02.2023.

- GREENVALLEY INTERNATIONAL, 2023: LiGrip Specifications. <https://greenvalleyintl.com/static/upload/file/20220726/1658806022185090.pdf>, letzter Zugriff 06.02.2023.
- LEICA, 2023: Leica BLK2GO - Mobile Mapping. <https://shop.leica-geosystems.com/jp/ja-JP/leica-blk/blk2go>, letzter Zugriff 06.02.2023.
- LUETZENBURG, G., KROON, A. & BJØRK, A., 2021: Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*, **11**(1).
- MASET, E., SCALERA, L., BEINAT, A., CAZIRZI, F., CROSILLA, F., FUSIELLO, A. & GASPARETTO, A. 2021: Preliminary Comparison Between Handheld and Mobile Robotic Mapping Systems, *Proceedings of I4SDG Workshop 2021*, **108**.
- POLYCAM, 2023: Polycam Learn – FAQ. <https://learn.poly.cam/product-faqs>, letzter Zugriff 06.02.2023.
- SITESCAPE, 2023: FAQ – SiteScape. <https://www.sitescape.ai/faq>, letzter Zugriff 31.01.2023.
- SPREAFICO, A., CHIABRANDO, F., TEPPATI LOSÈ, L. & GIULIO TONOLO, F., 2021: The iPad Pro Built-in Lidar Sensor:3D Rapid Mapping Tests and Quality Assessment. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, **43**(B1-2021), 63-69.