

Smart-Device mit künstlicher Intelligenz als Revolution umfassender Vermessungsaufgaben in neuen Aufgabenbereichen

Werner Stempfhuber

Berliner Hochschule für Technik · werner-vitus.stempfhuber@bht-berlin.de

Zusammenfassung

Betrachtet man die wesentlichen Innovationen der letzten Jahrzehnte in der geodätischen Mess- und Auswertetechnik, so sind viele Verfahren, wie die tachymetrische und laserscanbasierte Aufnahme sowie die Drohnen- und GNSS-Technik, technologisch sehr weit ausge-reift. Auch in diesen klassischen Bereichen gibt es jedoch kontinuierliche Innovationszyklen. Bisher haben jedoch kaum geodätische Entwicklungen den Weg zum Massenmarkt gefun-den, während GNSS-Verfahren außerhalb der Geodäsie zu einem Standardverfahren in vie-len Lebensbereichen geworden sind. In den letzten Jahren sind zahlreiche Varianten auf un-terschiedlichen Marktsequenzen erhältlich, und der Anspruch des autonomen Fahrens hat einen weiteren Entwicklungsschub ausgelöst. Dies unterstützt auch viele Start-up-Unterneh-men dabei, neuartige Ideen zu realisieren.

Die Kombination von künstlicher Intelligenz mit Cloud-Diensten eröffnet heute viele neue Geschäftsfelder. Das automatische Erkennen von Objekten ist eine Standardaufgabe in der Bildverarbeitung und Computer-Vision, die auch auf Tablets oder Smartphones lauffähig ist. Eine weitere interessante Entwicklung, die das Kernthema dieser Veröffentlichung umfasst, ist die Basis für die genaue Positionierung, die von den beiden großen Unternehmen im Smartphone-Business, Google und Apple, durch ihre Entwicklungen von AR-Core und AR-Kit geschaffen wurde. In Kombination mit RTK-GNSS kann somit ein großer Anwendungs-bereich in verschiedenen Branchen mit einer Genauigkeitsanforderung von etwa 5 cm in Do-kumentationsanwendungen entstehen. Besonders das Wiederauffinden von Leitungen oder Infrastrukturobjekten, einschließlich einer detaillierten Beschreibung in einer Metadaten-bank, ist für viele Branchen von zentraler Bedeutung.

Durch eine benutzerfreundliche Smartphone-Applikation mit entsprechender Zusatzhard-ware können Objektaufnahmen und Absteckungen einfach realisiert werden. Eine Daten-plattform oder eine umfassende API-Schnittstelle zur Anbindung an firmeneigene Software-lösungen kann alle Anforderungen moderner Unternehmen abdecken. In vielen Anwendun-gen in diesem Segment wird derzeit noch sehr rudimentär mit Maßband, Stift und Zettel do-kumentiert. Eine Automatisierung und Digitalisierung mit entsprechender Georeferenzie-rung, basierend auf RTK-GNSS oder PPP-RTK-Technologie, sowie die gleichzeitige Ver-waltung der Sachdaten stellen einen enormen Innovationsschub für die Erstellung und War-tung von Infrastrukturprojekten dar.

Die Publikation soll einen Überblick über die bestehenden Systeme, einschließlich detaillier-ter Beschreibungen der State-of-the-Art-Technik, geben. Exemplarisch wird dabei das Sys-tem Mikka der Firma Netpipe etwas genauer dargestellt.

1 Einleitung und Gesamtüberblick

Verschiedene Systemanbieter haben es sich zum Ziel gesetzt, mit einer Smartphone-basierten Aufnahme in Kombination mit der RTK-GNSS-Technologie Punkte, Linien, Flächen, Volumen und 3D-Modelle aufzunehmen, zu verwalten und abzustecken. Dabei muss der geodätische Begriff der Absteckung hier eher im Sinne des Wiederauffindens von Objektstrukturen verstanden werden. Einen Überblick über die Systeme stellt die nachfolgende Tabelle kurz dar.

Tabelle 1: Auswahl von Systemanbieter (Überblick)

Firma/Produkt	Schwerpunkt	Weblink
Netpipe Mikko	Leitungen, Infrastruktur, Netzbetreiber u. v. m.	https://www.netpipe.io/
Vaira	Leitungen, Infrastruktur, Netzbetreiber	https://vaira.app/
Lovion Nava	Leitungen, Infrastruktur, Netzbetreiber	https://lovion.de/ https://nava.app/
Vidoc	3D, Infrastruktur	https://vidoc.com/vidoc-light/ https://www.pix4d.com
GeoAce	Leitungen, Infrastruktur, Netzbetreiber	https://its-geo.eu/en/telekom.html
frox	Vermessungslösung	https://frox-it.de/

Bei diesen Arbeiten zu Dokumentation und Georeferenzierung der Daten in einem Geoinformationssystem müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

Geometriaufnahme und Georeferenzierung:

- Die Erfassung der Lage- und Höhenkoordinaten in einem Landesbezugssystem (ETRS89, NHN, Soldernsystem Netz 88, etc.).
- Genaue Positionsbestimmung der Leitungen oder Infrastruktur mit definierter Lage- und Höhengenauigkeit.
- Integration der Positionsdaten in ein GIS, inkl. der Visualisierung, Planerstellung und Analyse.

Sachdaten/Bauteilinformationen:

- Wichtige Metadaten, wie Materialeigenschaften und geometrische Details, müssen für Wartungsarbeiten und Reparaturen erfasst werden.
- Informationen über die einzelnen Bauteile der Infrastruktur, wie Ventile, Anschlüsse und Übergabestellen, sind notwendig.

Bilddokumentation:

- Visuelle Aufzeichnungen der Baustellen und der verlegten Leitungen unterstützen die spätere Überprüfung und Wartung.
- Gegebenenfalls ist auch ein Digitales Geländemodell des Grabens erforderlich.

Diese Teilbereiche gewährleisten, dass alle relevanten Informationen für die Planung, den Bau und die Wartung von Infrastrukturprojekten jederzeit verfügbar und leicht zugänglich sind. Nachfolgend sind die Systeme beispielhaft dargestellt. Einige basieren auf bestehenden

GNSS-Empfängern, während andere Hersteller eigene GNSS-Entwicklungen nutzen. Zudem bieten namhafte Anbieter von Vermessungsgeräten und -lösungen solche Systeme in einem anderen Aufgabenkonzept an. So ist beispielsweise das Trimble-SiteVision-System mit einem ähnlichen Hardware-Ansatz ausgestattet. Die Firma Leica Geosystems versucht, die AR-Technologie mit bestehenden Systemen wie dem BLK-Instrument zu verknüpfen.



Abb. 1: Lösungen/Systemanbieter (Auswahl – unterschiedliche Systeme)

Im nachfolgenden Kapitel werden die eingesetzten Einzelkomponenten detaillierter dargestellt. Diese bestehen neben den Hardware-Komponenten und der Smartphone-App zusätzlich noch mit einer Datenplattform zur Verwaltung der Daten, inklusive einer API-Option.

2 Komponenten der Gesamtlösung

Durch die Verbreitung von Mobiltelefonen und Tablets hat sich unser gesamtes Leben und auch die Arbeitswelt signifikant verändert. Es gibt kaum noch Bereiche, in denen sich diese Entwicklungen nicht bemerkbar machen. Das gilt auch für das Vermessungswesen, die Geoinformatik und alle verwandten Bereiche. Smart Devices sind die Vermessungslösungen der Zukunft. Dadurch entstehen aktuell in fast allen Branchen massive Paradigmenwechsel. Bei Smartphone-Anwendungen (Apps) in Kombination mit zusätzlichen Hardware-Komponenten sowie Frontend- und Backend-Software-Lösungen können intelligente Lösungen generiert und ganze Geschäftsbereiche neu gestaltet werden. Nachfolgend werden die Einzelkomponenten diskutiert.

2.1 Mobiltelefone und Tablets mit AR-Technologie

Aktuelle Mobiltelefone und Tablets sind nahezu Alleskönner. Sie können beispielsweise 3D-Punktwolken mit und ohne Lidar-Funktionalität in unterschiedlichen Genauigkeitsstufen erfassen. Ein intelligentes Anwendungsbeispiel hat unter anderem die kanadische Firma Magicplan-App auf den Markt gebracht. So können Apple- und Android-Geräte sehr genau Innenraum-Geometrien vermessen und in anschaulichen Plänen darstellen. In der Bachelorarbeit (BRIEGER 2024) könnten verschiedene Konstellationen untersucht und dargestellt werden. Die Basis bildet dabei die AR-Core-Technologie von Google (Software Development Kit, SDK) und bei Apple-Geräten die AR-Kit-Technologie, meist in Kombination mit Lidar.

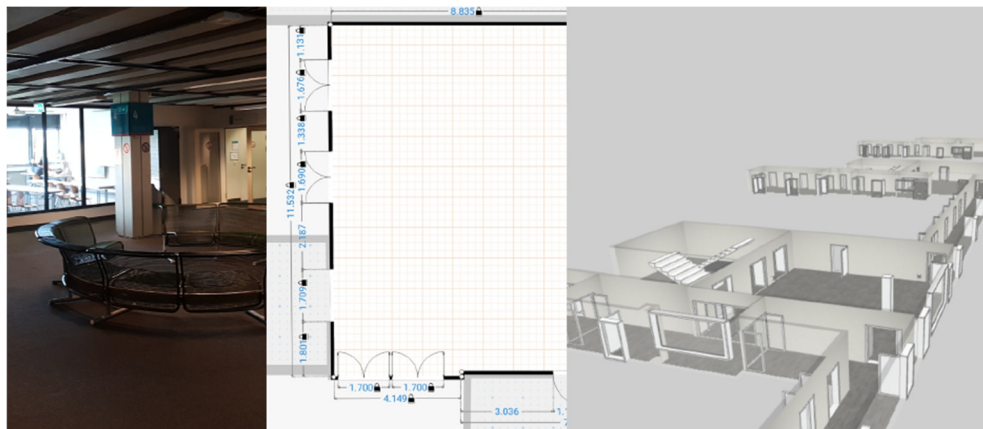


Abb. 2: AR-basierte Innenaufnahme mit Planerstellung der Fa. Macigplan (BRIEGER 2024)

Um die beiden unterschiedlichen Funktionalitäten gegenüberzustellen, wurde in (OUFQIR et al. 2020) eine übersichtliche Tabelle abgefertigt.

Supported Feature	AR Foundation	Google ARCore SDK for Unity	Unity ARKit Plugin
Plane Detection (Vertical)	✓	✓	✓
Plane Detection (Horizontal)	✓	✓	✓
Feature Point Detection	✓	✓ + Oriented Feature Points	✓
Light Estimation	✓	✓ + Color Correction	✓ + Color Temperature
Hit Testing (Feature point and Plane raycasting)	✓	✓	✓
Image Tracking	in development	✓ (Static Only)	✓
3D Object Tracking	in development		✓
Environment Probes	in development		✓
World Maps	✓		✓
Face Tracking (Pose, Mesh, Blendshapes)	✓		✓ iPhone X + Variants
Cloud Anchors	in development	✓	

Abb. 3: Vergleich der Augmented Reality Kits (OUFQIR et al 2020)

Geeignete Smartphones haben alle erforderlichen Komponenten eines AR-Systems in entsprechender Qualität integriert. Sie lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

- Hardware mit Sensoren
- Software inklusive der Filterung
- Raumbezogene Inhalte

Für die Anwendung im Positionierungsbereich in Kombination mit Live-Bildern der Umgebung müssen die Orientierung und Position des AR-Systems zu jedem Zeitpunkt bekannt sein. Hierbei kommen inertielle Sensoren (Beschleunigungssensoren, Gyroskop und Magnetometer) zum Einsatz. Dieses System baut bei der Initialisierung ein lokales und horizontiertes Koordinatensystem auf. Durch eine permanente Live-Transformation (Lage- und Höhenverschiebung) können die Markerpunkte vom Quellsystem (lokales AR-System) in das übergeordnete Zielsystem (z. B. Landessystem) automatisiert transformiert werden. Somit können indirekte Punkte (Markerpunkte) im Objektraum ganz einfach erfasst werden. Eine integrierte KI automatisiert die Objektverfolgung (z. B. automatisierte Linien- oder Polygoneerkennung). Nachfolgend sind einige Testmessungen mit den Smartphone-Inertialsensoren dargestellt.

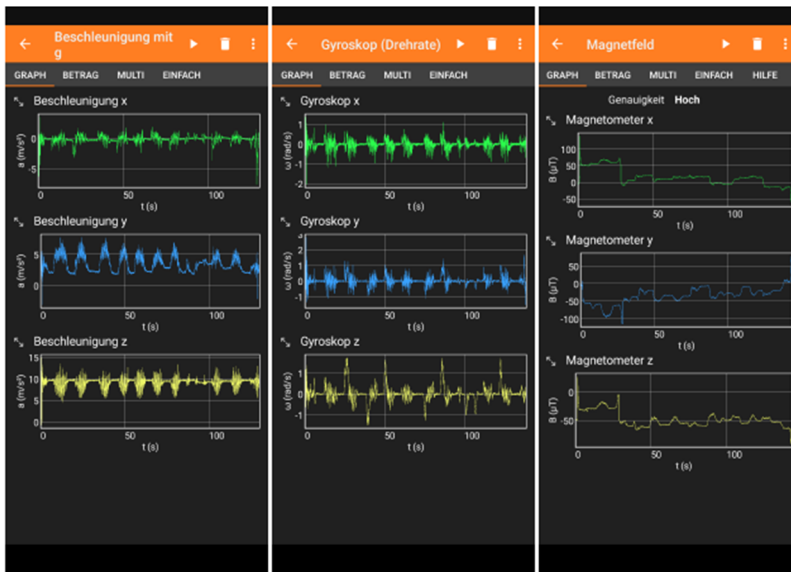


Abb. 4: Qualität der Handy-Sensoren, Google Pixel 6 (NICKELMANN 2023)

Die Qualität der Einzelsensoren kann dabei stark variieren. Zusätzlich werden spezielle Kameraoptionen benötigt. Die Firma Netpipe empfiehlt hierfür die „Google Pixel“-Handyreihe. Andere Geräte können ebenfalls verwendet werden. Bei der Installation und/oder dem Start der Applikation werden diese erforderlichen Komponenten überprüft, und das System gibt entsprechende Hinweise dazu.

2.2 RTK-GNSS/PPP-RTK

Auch wenn es viele Untersuchungen und Publikationen zu integrierten RTK-GNSS-Lösungen in Smartphones und Tablets gibt, ist diese Technologie noch nicht bereit für den Praxiseinsatz (HEBELBARTH 2021). Systemanbieter dieser Lösungen basieren entweder auf fertigen Gesamtlösungen (wie den Systemen der Firmen Leica, Trimble, Topcon oder in einem anderen Preissegment denen der Firmen Emlid, ArduSimple usw.) oder entwickeln eigene Lösungen auf Basis von GNSS-Boards mit individuellen Hardware-Entwicklungen. Die vor-

handenen GNSS-Boards von uBlox, NVW, Trimble, Septentrio, Novatel, Javad und Hemisphere bilden in der Regel die Basis. Chinesische GNSS-Boardanbieter drängen zunehmend auf den Markt und bieten vor allem sehr wettbewerbsfähige Preise. Aktuell gibt es verschiedene Low-Power-Module mit reduzierten GNSS-Signalen, die eine längere Einsatzzeit der Empfänger ermöglichen.

Auch die Entwicklungen im Bereich der Low-Cost-GNSS-Antennen ermöglichen mittlerweile hochgenaue Positionsbestimmungen. In WANNINGER (2022) wurden diese Komponenten in aufwendigen Tests untersucht. Die professionelle Entwicklung eines eigenen Empfängerboards mit Stromversorgung und Schnittstellen zur Anbindung von Smartphones mit entsprechender Zusatzsensorik ist in einigen Systemen, wie der Netpipe-Mikko-Lösung oder der Vidoc-Lösung, integriert.

Durch klassische Korrekturdienste, die auf dem NTRIP-Verfahren basieren, können RTK-GNSS-Positionen im Landessystem cm-genau erfasst werden. Für überregionale Ansätze sind PPP-RTK-Realisierungen im OSR- oder SSR-Verfahren erforderlich. Dieser Ansatz wird derzeit von den Vermessungsbehörden realisiert (in Deutschland ist das RTK-PPP-Verfahren für 2025 angekündigt) (ALBERDING 2023). Zusätzlich sind firmeninterne PPP-RTK-Lösungen wie der uBlox-Dienst PointPerfect, der Agnostic-Dienst der Firma Septentrio oder Trimble RTX für die Nutzung mit den Empfängerboards verfügbar. Leider sind die Ergebnisse dieser Dienste nicht im ETRS89-System. Um die Positionen aus dem gemessenen ITRF2014-System in ein Landessystem umzuformen, sind aktuelle Transformationsparameter erforderlich. In Deutschland stellt die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen (AdV) diese Parameter jährlich zur Verfügung (<https://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Integrierter-geodaetischer-Raumbezug/Transformationsparameter/>). Globale Lösungen orientieren sich an den jeweiligen Transformationsparametern der Region (ALTAMIMI 2018). Umrechnungen mit den veröffentlichten Formeln und 15 Transformationsparametern (7 feste und 7 zeitabhängige Parameter der Helmert-Transformation, inkl. der Zeitspanne zum Epochenreferenzpunkt) ergeben den Bezug zum Landessystem. Aktuelle Geoidmodelle, wie das GCG2016-Quasigeoidmodell, lösen auch die Höhenumformung in Gebrauchshöhen. Der Bezug erfolgt immer durch das EPSG-Code-System (in Deutschland für ETRS89 25831/32/33 und in Höhe 7839).

Darüber hinaus existieren kostenpflichtige Dienste wie Point One Navigation (<https://pointonav.com/>) oder Geodnet (<https://geodnet.com/>). Zusätzlich gibt es Open-Source-Projekte wie rtk2go (www.rtk2go.com), die die Einbindung eigener Referenzstationen mit dem NTRIP-Verfahren ermöglichen. Dabei ist jedoch auf die Genauigkeit der Referenzkoordinate zu achten. PPP-RTK-Dienste werden meist mit der MQTT-Technologie oder im NTRIP-Verfahren realisiert. Neue Generationen, wie das angekündigte X20-System der Firma uBlox, bringen diese PPP-RTK-Lösungen in Kombination mit Galileo-HAS und weiteren PPP-Diensten auf ein neues Anwenderniveau.

Die Kombination aus AR-Technologie und RTK-GNSS ermöglicht eine indirekte Messung von Objektpunkten, Linien und Flächen. Scanning-Lösungen sind ebenfalls möglich und werden von einzelnen Anbietern wie GeoAce oder Pix4D umgesetzt.

2.3 Einfluss der künstlichen Intelligenz

Die Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz (KI) scheinen in vielen Bereichen, einschließlich der geodätischen Messtechnik, nahezu unbegrenzt zu sein, insbesondere durch den Ein-

satz neuronaler Netzwerke. Diese Technologien ermöglichen es, visuelle Informationen zu analysieren und zu interpretieren, indem sie Muster und Merkmale in Bildern erkennen und zuordnen. Ein zentraler Aspekt dieser Entwicklung ist das Training mit klar definierten Musterdatensätzen, die eine Vielzahl von Bildern und deren Beschreibungen enthalten.

Auch in der Leitungsdokumentation kann die KI-gestützte Formzuweisung sowie die automatisierte Bauteilerkennung und Schadenserkenung erheblich automatisiert werden. Dieser Teilbereich wird derzeit durch intensive Forschungsarbeiten validiert und anschließend implementiert. Dadurch werden die noch manuell angelegten Marker automatisiert zugeordnet, und der Bauteilkatalog wird kontinuierlich erweitert. Abbildung 5 zeigt dies an den bestehenden Benutzerfeldern am Beispiel der Netpipe-Mikko-App.

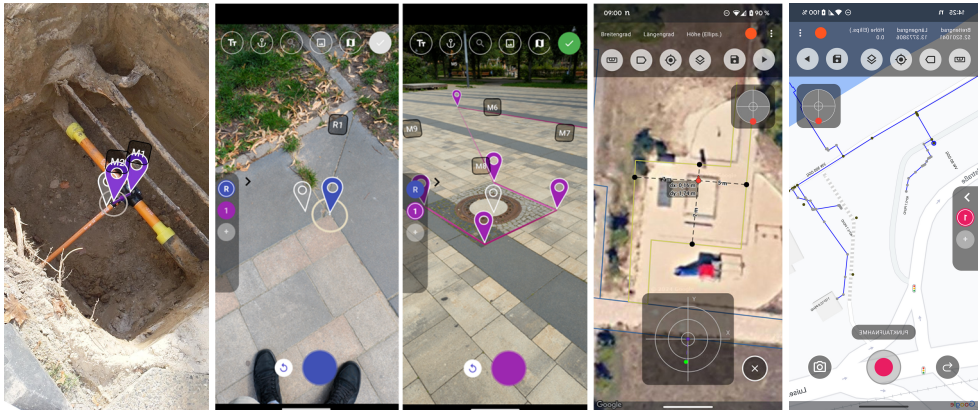


Abb. 5: Vergleichsmessungen am Referenznetz der BHT eigene Aufnahmen und NICKEL-MANN (2023)

2.4 Datenplattform

Die angebundene Datenplattform ermöglicht einen cloudbasierten Dienst zur Vorbereitung, Konfiguration des Messvorgangs und Ergebnispräsentation. Im Fall der Netpipe-Lösung werden gängige Datenformate wie CAD-, Shape- und GeoJSON-Formate unterstützt. Zusätzlich werden bemaßte Pläne und umfassende Punktdokumentationen jeder einzelnen Messung mit UTM-Koordinaten sowie Metadateninformationen im PDF-Format abgespeichert und als Ergebnisdokumentation bereitgestellt. API-Schnittstellen ermöglichen die Anbindung an firmeninterne GIS- und Dokumentationslösungen, wodurch aufwendige Postprocessing-Arbeiten nahezu vollständig ersetzt werden. Die Ergebnisse stehen quasi in Echtzeit zur Verfügung. Zudem können die Messdaten durch das Öffnen des Projekts vollständig auf die Smartphone-App zurückgespiegelt werden. Ergänzungsmessungen, Kontrollen und Absteckungen sowie Arbeiten zum Wiederauffinden von Punkten, Linien und Flächen sind jederzeit möglich. Abbildung 6 zeigt ein solches Beispiel anhand der Netpipe-Datenplattform.

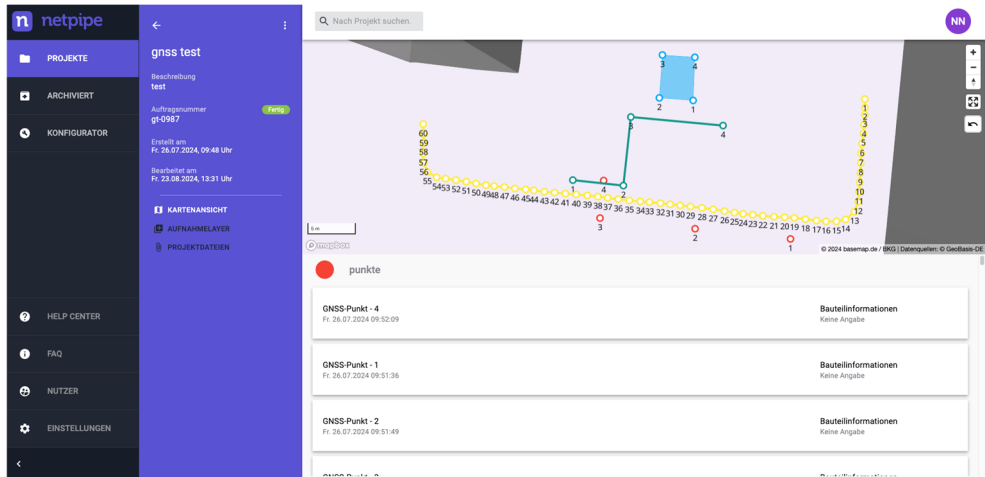


Abb. 6: Netpipe Datenplattform

Einige Anbieter setzen auf die 3D-Punktwolken-Erfassung, die eine hilfreiche Zusatzfunktion zu bestehenden Punkt- oder Polygonmessungen darstellt. In vielen Fällen ist diese Information jedoch aufwendig auszuwerten oder bietet als 3D-Punktwolke wenig Mehrwert für die Dokumentation von Leitungen und Infrastrukturen. Hier zeigt sich eine unterschiedliche Firmenphilosophie.

3 Anwendungsbereiche

Zunächst konzentrieren sich die auf dem Markt aufkommenden Unternehmen auf die Erfassung von Versorgungsleitungen in den Bereichen Wasser- und Abwasserversorgung, Stromversorgung, Internetkommunikation sowie Gas- und Fernwärmeleitungen. Dieser Ansatz kann auch problemlos bei GIS-Erfassungsaufgaben angewendet werden. Zudem ist er in allen Arten des Hoch- und Tiefbaus, der Architektur und Landschaftsarchitektur, der Katastervermessung unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie in der Landwirtschaft und bei Windparkbetreibern oder der Schadenskartierung im Forstbereich anwendbar. Die Anpassung erfordert dabei nur geringen Zusatzaufwand.

Dies führt zu einer neuen Ausrichtung der geodätischen Mess- und Auswertetechnologie. Anwender benötigen kaum noch Wissen über die verwendete Technologie; es müssen lediglich Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen sowie Vollständigkeitskontrollen beachtet werden. Diese Prozesse müssen zuverlässig und valide implementiert werden.

Eine Übertragung oder Kombination der Technologie in Innenbereichen eröffnet weitere Marktpotenziale. Dabei muss jedoch die Lokalisierung bzw. Georeferenzierung in den Gebäuden gut gelöst werden. Somit können diese AR-Systeme auch einen wesentlichen Beitrag zur BIM-Technologie leisten.

4 Fazit und Ausblick

Verschiedene Unternehmen und Start-ups haben sich dem Thema der Digitalisierung von Infrastrukturtechnologien angenommen. Dies gibt dem gesamten Geschäftsfeld einen enormen Schub, um smarte Lösungen zielgenau zu realisieren. Die Marktgröße hierfür ist weltweit enorm und bietet somit ein großes Innovationsvolumen. Im Gegensatz zu klassischen Lösungen von Vermessungsgeräten und kombinierten Software-Lösungen werden diese Ansätze hauptsächlich als App-Lösungen angeboten. Die zusätzlich verwendete Hardware ist der Mobiltelefontechnologie ähnlich und nach zwei Jahren überholt und abbezahlt. Konfigurierbare Modelle ermöglichen den Nutzern viele Anpassungsoptionen.

Sicherlich werden Anwendungslösungen im Bereich der klassischen Vermessungstechnik und der geodätischen Mess- und Auswertetechnik weiterhin ausgebildete Fachkräfte erfordern. Viele Arbeiten im Dokumentationsbereich können jedoch ohne Fachwissen durchgeführt werden. Somit erfolgt eine Transformation vom Maßband, Stift und Zettel bis hin zu einer vollständig digitalisierten Lösung, einschließlich professioneller Planerstellung in der entsprechenden Datenplattform. Arbeitsprozesse werden schneller, zielgerichteter und strukturierter gestaltet.

Literatur

- ALBERDING, J. (2023): ESA NAVISP EL2-Projekt SSRoverDAB+: PPP-RTK-Korrekturdaten über digitalen Rundfunk. In: DVW-Seminar GNSS2023 – Zeit für ein Update, Band 219. Seminar der INTERGEO am 4. und 5. September 2023 in Bochum. Wißner Verlag, Augsburg.
- ALTAMIMI, Z. (2018): Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems, Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), France.
- BRIEGER, P. (2024): Untersuchungen der CAD-Planerstellung mit der Magicplan-App. Bachelorarbeit, BHT Berlin (unveröffentlicht).
- HEBELBARTH, A. & WANNINFER, L. (2021): GNSS-Messungen mit Smartphones – Analyse der Beobachtungsdaten und cm-genaue Positionsbestimmung. In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv).
https://www.wasoft.de/lit/zfv_2021_3_Hesselbarth_Wanninger.pdf (01.11.2024).
- NICKELMANN, T (2023): Entwicklung eines automatisierten Testverfahrens der Netpipe-App Bachelorarbeit, BHT-Berlin (unveröffentlicht).
- OUFQIR, Z., ABDERRAHMANI, A. & SATORI, K. (2020): ARKit and ARCore in serve to augmented reality. 2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), Morocco.