

Patentansprüche:

1. Verfahren zur lagerichtigen Erfassung von im Untergrund angeordneten, freiliegenden Infrastrukturelementen, insbesondere in einer geöffneten Baugrube, mit einer mobilen Erfassungsvorrichtung (1), wobei:
- mittels einer 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) Bilddaten und/oder Tiefendaten einer Szene erfasst werden, die mindestens ein im Untergrund angeordnetes, freiliegendes Infrastrukturelement enthält und anhand dieser Bilddaten und/oder Tiefendaten eine 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten erzeugt wird;
 - mittels einem oder mehreren Empfängern (2) der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) Signale eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme empfangen werden und eine erste Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung (1) in einem globalen Bezugssystem ermittelt wird; und
 - mehrere zweite Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung (1) in einem lokalen Bezugssystem und mehrere Orientierungsangaben der Orientierung der Erfassungsvorrichtung (1) in dem jeweiligen lokalen Bezugssystem ermittelt werden,
 - a. wobei die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels einer inertialen Messeinheit (3) der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) erfolgt, welche lineare Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems und Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) um diese Hauptachsen erfasst, und
 - b. wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) eine oder mehrere 2D-Kameras aufweist, mittels derer die Bilddaten und/oder die Tiefendaten der Szene erfasst werden und die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der Bilddaten und/oder der Tiefendaten erfolgt; und
 - c. wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) eine LIDAR-Messeinheit aufweist, mittels derer die Tiefendaten der Szene erfasst werden und die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der Tiefendaten erfolgt;

- den Punkten der 3D-Punktwolke anhand der ersten Positionsangabe und mehrerer der zweiten Positionsangaben sowie mehrerer der Orientierungsangaben jeweils eine Georeferenz zugewiesen wird,
 - wobei die mobile Erfassungsvorrichtung (1) von einer Person tragbar ist, wobei die mobile Erfassungsvorrichtung (1) mit beiden Händen einer Person, bevorzugt mit einer Hand einer Person, haltbar ist und ein Gehäuse (9) aufweist, dessen größte Kantenlänge kleiner ist als 50 cm, wobei der oder die Empfänger (2), die inertielle Messeinheit (3) und die 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) in dem Gehäuse (9) angeordnet sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das unterirdische Infrastrukturelement eine Glasfaserleitung oder ein Stromkabel oder ein Telekommunikationskabel ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die unterirdischen Infrastrukturelemente, Teil eines Verteilnetzes sind, insbesondere Teil eines Glasfaser-, Strom- oder Telekommunikationskabel-Verteilnetzes.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die unterirdischen Infrastrukturelemente einen Durchmesser von kleiner als 30 cm, bevorzugt kleiner als 20 cm, besonders bevorzugt kleiner als 10 cm, beispielsweise kleiner als 5 cm, aufweisen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Bilddaten und/oder Tiefendaten mehrerer Frames einer Szene erfasst werden, die mehrere im Untergrund angeordnete, freiliegende Infrastrukturelemente enthält und anhand dieser Bilddaten und/oder Tiefendaten eine 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten erzeugt werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der eine oder die mehreren Empfänger (2) zusätzlich dazu eingerichtet sind, Signale, insbesondere Referenz- oder Korrektursignale, von landbasierten Referenzstationen zu empfangen.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die LIDAR-Messeinrichtung der 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) als Festkörper-LIDAR ausgestaltet ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass den Punkten der 3D-Punktwolke jeweils eine Farb- oder Grauwertinformationen zugeordnet ist, wobei die Farb- oder Grauwertinformation bevorzugt mittels der einen oder mehreren 2D-Kameras der 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) erfasst wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf Grundlage der 3D-Punktwolke und der Bilddaten der einen oder mehreren 2D-Kameras ein texturiertes Gittermodell erzeugt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- die erste Positionsangabe der Position in dem globalen Bezugssystem und/oder dieser Positionsangabe zugeordnete Rohdaten; und
 - die eine oder mehreren zweiten Positionsangaben; und
 - die eine oder mehreren zweiten Orientierungsangaben; und
 - die erfassten Bilddaten und/oder die erfassten Tiefendaten und/oder die erfassten linearen Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) in drei orthogonal aufeinander stehenden Achsen des lokalen Bezugssystems sowie die Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) um diese Achsen;
- zeitlich synchronisiert abgespeichert werden, insbesondere in einer Speichereinheit (7) der Erfassungsvorrichtung (1).
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die eine oder mehreren zweiten Positionsangaben in dem jeweiligen lokalen Bezugssystem in das globale Bezugssystem transformiert werden, bevorzugt mittels einer Rigid Body Transformation oder Helmert-Transformation oder mittels einer Hauptachsentransformation.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Zuweisen der Georeferenz zu den Punkten der 3D-Punktwolke mittels Sensordatenfusion erfolgt, wobei bevorzugt zur Optimierung ein Faktograph als grafisches Modell und/oder ein angewandtes Schätzungsverfahren, insbesondere nach Levenberg-Marquardt, angewendet wird, wobei die ersten Positionsangaben der Position in dem globalen Bezugssystem bevorzugt verwendet werden.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensordatenfusion auf einem nichtlinearen Gleichungssystem basiert, auf dessen Grundlage eine Schätzung der Position und der Orientierung der mobilen Erfassungsvorrichtung erfolgt.
- 5
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der mit der 3D-Rekonstruktionseinrichtung erfassten Bilddaten und/oder Tiefendaten, mindestens ein Infrastrukturelement, insbesondere eine Leitung oder ein Verbindungselement, detektiert und klassifiziert wird und die Schätzung der Position und der Orientierung
- 10 der mobilen Erfassungsvorrichtung auf Grundlage des nichtlinearen Gleichungssystems zusätzlich anhand der Ergebnisse der Detektion und Klassifizierung des Infrastrukturelements erfolgt.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels dem einen oder den mehreren Empfängern (2) der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) Signale von maximal drei Navigationssatelliten des globalen Navigationssatellitensystems empfangen werden, wobei den Punkten der 3D-Punktwolke jeweils eine Georeferenz mit einer Genauigkeit im Bereich kleiner als 10cm, bevorzugt kleiner 5 cm, bevorzugt kleiner als 3 cm zugewiesen wird.
- 20
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung und/oder die Orientierungsangaben der mobilen Erfassungsvorrichtung als Vorinformationen die Lösung von Mehrdeutigkeiten von Differenzmessungen von Trägerphasen
- 25 unterstützen, um Infrastrukturelemente auch dann zu georeferenzieren, wenn der Empfänger einen Ausfall meldet oder mittels der inertialen Messeinheit nur kurzzeitig eine verwertbare zweiten Positionsangabe und/oder Orientierungsangabe ermittelt.
- 30
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe der Sensordatenfusion mehrfach bzw. zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommene Bereiche von Infrastrukturelementen wie zum Beispiel Überlappungen zwischen zwei Szenen erkannt und auf den zeitlich jüngsten, erfassten Bereich der Infrastrukturelemente reduziert werden.
- 35
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Gewährleistung der Qualität der durch den oder die Empfänger (2) ermittelten einen oder mehreren ersten Positionsangaben im globalen Bezugssystem ein oder mehrere

Qualitätsparameter der globalen Satellitennavigationssysteme, beispielsweise DOP (engl. Dilution of Precision), überwacht werden.

- 5 19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Plausibilität einer zeitlichen Abfolge von ersten Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung (1) in dem globalen Bezugssystem ermittelt wird, bevorzugt indem anhand der zeitlichen Abfolge von ersten Positionsangaben eine erste Geschwindigkeitsangabe ermittelt wird, anhand der erfassten linearen Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten eine zweite Geschwindigkeitsangabe
10 berechnet wird und mit der ersten Geschwindigkeitsangabe verglichen wird.
- 15 20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der 3D-Punktwolke und/oder anhand der Bilddaten, mindestens ein Infrastrukturelement, insbesondere eine Leitung oder ein Verbindungselement, detektiert und klassifiziert wird.
- 20 21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung eines Infrastrukturelements ein oder mehrere Verfahren der Bildsegmentierung, wie beispielsweise Schwellwertverfahren, insbesondere Histogramm-basierte Verfahren, oder texturorientierte Verfahren, Region-basierte Verfahren, oder auch pixelbasierte Verfahren wie beispielsweise Support Vector Maschine, Entscheidungsbäume und Neuronale Netze eingesetzt werden.
- 25 22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung mindestens ein Histogramm von Farb- und/oder Grauwertinformationen, und/oder Sättigungswertinformationen und/oder Helligkeitswertinformationen und/oder eines elektromagnetischen Wellenspektrums mehrerer Punkte der 3D-Punktwolke erzeugt wird.
30
23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Histogramm oder in den Histogrammen lokale Maxima detektiert werden und unter den lokalen Maxima solche Maxima mit den geringsten Abständen zu einem vorgegebenen Farb-, Sättigung- und Helligkeits-Schwellenwert eines Infrastrukturelements detektiert
35 werden.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gruppe von Punkten, deren Punkte einen vorgegebenen Abstands-Schwellenwert zu den aus den detektierten lokalen Maxima zusammengesetzten Farbinformationen nicht überschreiten, iterativ durch weitere Punkte, die einen definierten geometrischen und farblichen Abstand zu denen der Gruppe nicht überschreiten, erweitert wird, um einen örtlich zusammenhängenden Bereich eines Infrastrukturelements mit ähnlichen Farbinformationen zu bilden.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung der Infrastrukturelemente und/oder zur verbesserten Distanzmessung und/oder zur Initialisierung der absoluten Orientierung ein Lichtpunkt eines Laserpointers (5) der Erfassungsvorrichtung (1) erfasst und/oder in der Anzeigerichtung (8) angezeigt wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung der Infrastrukturelemente Farb- oder Grauwertinformationen der erfassten Bilddaten, insbesondere Farb- oder Grauwertinformationen der Punkte der 3D-Punktwolke, und/oder die erfassten Tiefendaten und zugehörige Label-Informationen einem künstlichen neuronalen Netz zum Trainieren zugeführt werden.
27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für jedes detektierte Infrastrukturelement ein dazugehöriges 3D-Objekt erzeugt wird, insbesondere anhand der 3D-Punktwolke.
28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine optische Fehlstelle zwischen zwei 3D-Objekten erkannt wird und zur Schließung der optischen Fehlstelle ein Verbindungs-3D-Objekt, insbesondere als 3D-Spline, erzeugt wird.
29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass zum Erkennen der optischen Fehlstelle ein Merkmal eines ersten Endes eines ersten 3D-Objekts und dasselbe Merkmal eines zweiten Endes eines zweiten 3D-Objekts ermittelt wird, wobei das erste und zweite Merkmal miteinander verglichen werden und das erste und zweite Merkmal ein Durchmesser oder eine Farbe oder eine Orientierung oder eine Georeferenz ist.

30. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die mobile Erfassungsvorrichtung (1) in einen optischen Fehlstellenmodus versetzt wird und ausgehend von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende bewegt wird.
- 5 31. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mobile Erfassungsvorrichtung (1) eine Einrichtung zur Sprachbedienung aufweist.
32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einrichtung zur Sprachbedienung eine akustische Ausgabe von Eingabeaufforderungen und/oder
10 Informationen, insbesondere Rückmeldungen und/oder Warnungen, erfolgt.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einrichtung zur Sprachbedienung auditive Informationen erkannt und den
15 Punkten der 3D-Punktwolke die Georeferenz zusätzlich anhand der auditiven Informationen zugewiesen wird.
34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Anzeigeeinrichtung (8) der mobilen Erfassungsvorrichtung (1)
- 20 – eine Darstellung der 3D-Punktwolke und/oder
– ein auf Grundlage der 3D-Punktwolke und der Bilddaten der einen oder mehreren 2D-Kameras erzeugtes texturiertes Gittermodell und/oder
– 3D-Objekte, die Infrastrukturelementen entsprechen, und/oder
– ein 2D-Lageplan und/oder
– eine Stückliste von Infrastrukturelementen und/oder
25 – eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion eines oder mehrerer 3D-Objekte, die einem Infrastrukturelement entsprechen, und/oder
– eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion mehrerer Punkte der 3D-Punktwolke
30 angezeigt wird.
35. Mobile Erfassungsvorrichtung (1) zur lagerichtigen Erfassung von im Untergrund angeordneten, freiliegenden Infrastrukturelementen, insbesondere in einer geöffneten Baugrube, umfassend:
- 35 – eine 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) zur Erfassung von Bilddaten und/oder Tiefendaten einer Szene, die mindestens ein im Untergrund angeordnetes,

freiliegendes Infrastrukturelement enthält, und zum Erzeugen einer 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten anhand dieser Bilddaten und/oder Tiefendaten;

5 – einen oder mehrere Empfänger (2) zum Empfangen von Signalen eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme und zur Ermittlung einer ersten Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung (1) in einem globalen Bezugssystem;

10 – eine inertielle Messeinheit (3) zur Ermittlung einer zweiten Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung (1) in einem lokalen Bezugssystem und einer Orientierungsangabe der Orientierung der Erfassungsvorrichtung (1) in dem lokalen Bezugssystem, wobei die inertielle Messeinheit (3) eingerichtet ist, lineare Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems und Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung (1) um diese Hauptachsen zu erfassen;

15 und

wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) eine oder mehrere 2D-Kameras aufweist, mittels derer Bilddaten der Szene erfassbar sind, wobei eine zweite Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung in dem lokalen Bezugssystem und die Orientierungsangabe mittels visueller Odometrie anhand der Bilddaten ermittelbar ist;

20 und

wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) eine LIDAR-Messeinrichtung aufweist, mittels derer Tiefendaten der Szene erfassbar sind, wobei eine zweite Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung in dem lokalen Bezugssystem und die Orientierungsangabe mittels visueller Odometrie anhand der Tiefendaten erfolgt;

25 – wobei die Erfassungsvorrichtung eingerichtet ist, den Punkten der 3D-Punktwolke, anhand der ersten Positionsangabe und mehrerer der zweiten Positionsangaben sowie mehrerer der Orientierungsangaben jeweils eine Georeferenz zuzuweisen;

30 – wobei die mobile Erfassungsvorrichtung (1) von einer Person tragbar ist, wobei die mobile Erfassungsvorrichtung (1) mit beiden Händen einer Person, bevorzugt mit einer Hand einer Person, haltbar ist und ein Gehäuse (9) aufweist, dessen größte Kantenlänge kleiner ist als 50 cm, wobei der oder die

35

Empfänger (2), die inertielle Messeinheit (3) und die 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) in dem Gehäuse (9) angeordnet sind.

- 5 36. Mobile Erfassungsvorrichtung nach dem Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Empfänger (2) dazu eingerichtet sind, Signale eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme und/oder landbasierter Referenzstationen, bevorzugt mit Korrekturdaten aus Referenzdiensten, zu empfangen und zu verarbeiten.
- 10 37. Mobile Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass die 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) eine Time-of-Flight-Kamera, eine Structured-Light-Kamera, eine Stereokamera, eine LIDAR-Messeinrichtung, eine RADAR-Messeinrichtung und/oder eine Kombination derer untereinander, insbesondere mit einer oder mehreren 2D-Kameras, aufweist.
- 15 38. Mobile Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 37, gekennzeichnet durch eine Anzeigeeinrichtung (8) zur Anzeige von Anzeigedaten und eine Datenverarbeitungseinrichtung (6) die dazu eingerichtet ist, Anzeigedaten bereitzustellen, die
- 20 – eine Darstellung der 3D-Punktwolke und/oder
- ein auf Grundlage der 3D-Punktwolke und der Bilddaten der einen oder mehreren 2D-Kameras erzeugtes texturiertes Gittermodell und/oder
- 3D-Objekte, die Infrastrukturelementen entsprechen, und/oder
- ein 2D-Lageplan und/oder
- 25 – eine Stückliste von Infrastrukturelementen und/oder
- eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion eines oder mehrerer 3D-Objekte, die einem Infrastrukturelement entsprechen, und/oder
- eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion mehrerer Punkte der 3D-Punktwolke
- 30 umfassen.
39. Mobile Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 38, gekennzeichnet durch einen Laserpointer (5) zur optischen Markierung von Infrastrukturelementen und/oder zur erweiterten Distanzmessung und/oder zur Initialisierung der Orientierung
- 35 in der Anzeigereinrichtung.

40. Mobile Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 39, gekennzeichnet durch einen Polarisationsfilter zur Vermeidung von Glanz, Spiegelung und Reflexionen zur Qualitätssteigerung und Optimierung der Beobachtungsdaten.
- 5
41. Mobile Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 40, gekennzeichnet durch eine oder mehrere Beleuchtungseinrichtungen zur verbesserten Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung von Infrastrukturelementen.
- 10
42. Mobile Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass die mobile Erfassungsvorrichtung (1) eine Einrichtung zur Sprachbedienung aufweist.
- 15
43. Mobile Erfassungsvorrichtung nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Sprachbedienung dazu eingerichtet ist, eine akustische Ausgabe von Eingabeaufforderungen und/oder Informationen, insbesondere Rückmeldungen und/oder Warnungen, zu ermöglichen.
- 20
44. Mobile Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass die die LIDAR-Messeinrichtung der 3D-Rekonstruktionseinrichtung (4) als Festkörper-LIDAR ausgestaltet ist.