

GPS versagt in Gebäuden — wie navigiert ein autonomes Fahrzeug trotzdem?

Indoornavigation eines Autonomen UGVs

Bachelorarbeit im Studiengang Geovisualisierung
Adin Bicic-Thiboutot & Fabrice Ntwali

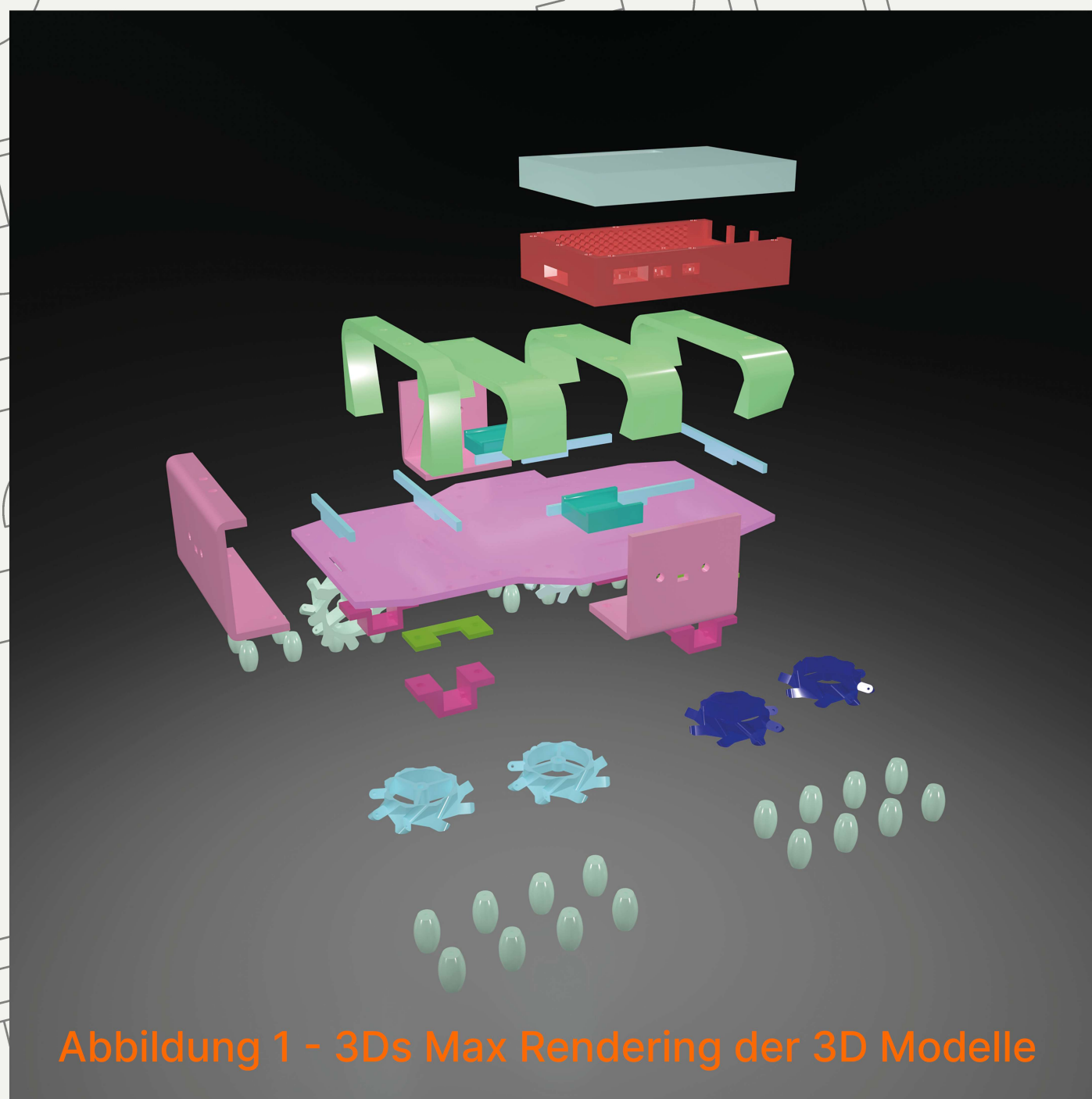


Abbildung 1 - 3Ds Max Rendering der 3D Modelle

Selbstgebaut. Autonom.

Autonome Roboter revolutionieren Logistik, Medizin und Bildung. Doch sobald sie ein Gebäude betreten, versagen klassische Navigationssysteme. GPS dringt nicht durch Wände. Die Lösung: Bluetooth Low Energy Beacons, Signalfilterung und ein selbst entwickeltes Navigationssystem auf einem Raspberry Pi.

Jede Komponente dieses UGV, vom 3D-gedruckten Chassis bis zur Flask-REST-API, wurde selbst entworfen, gebaut und programmiert. Der Kalman-Filter glättet verrauschte RSSI-Signale, RANSAC eliminiert Ausreißer, und der Dijkstra-Algorithmus berechnet den optimalen Weg durch das Gebäude. Die berechnete Position wird in Echtzeit in ArcGIS Online visualisiert. Das Ergebnis: ein funktionierender Prototyp, der zeigt, wie weit BLE-basierte Indoornavigation unter realen Bedingungen trägt, und wo die Grenzen heute noch liegen.

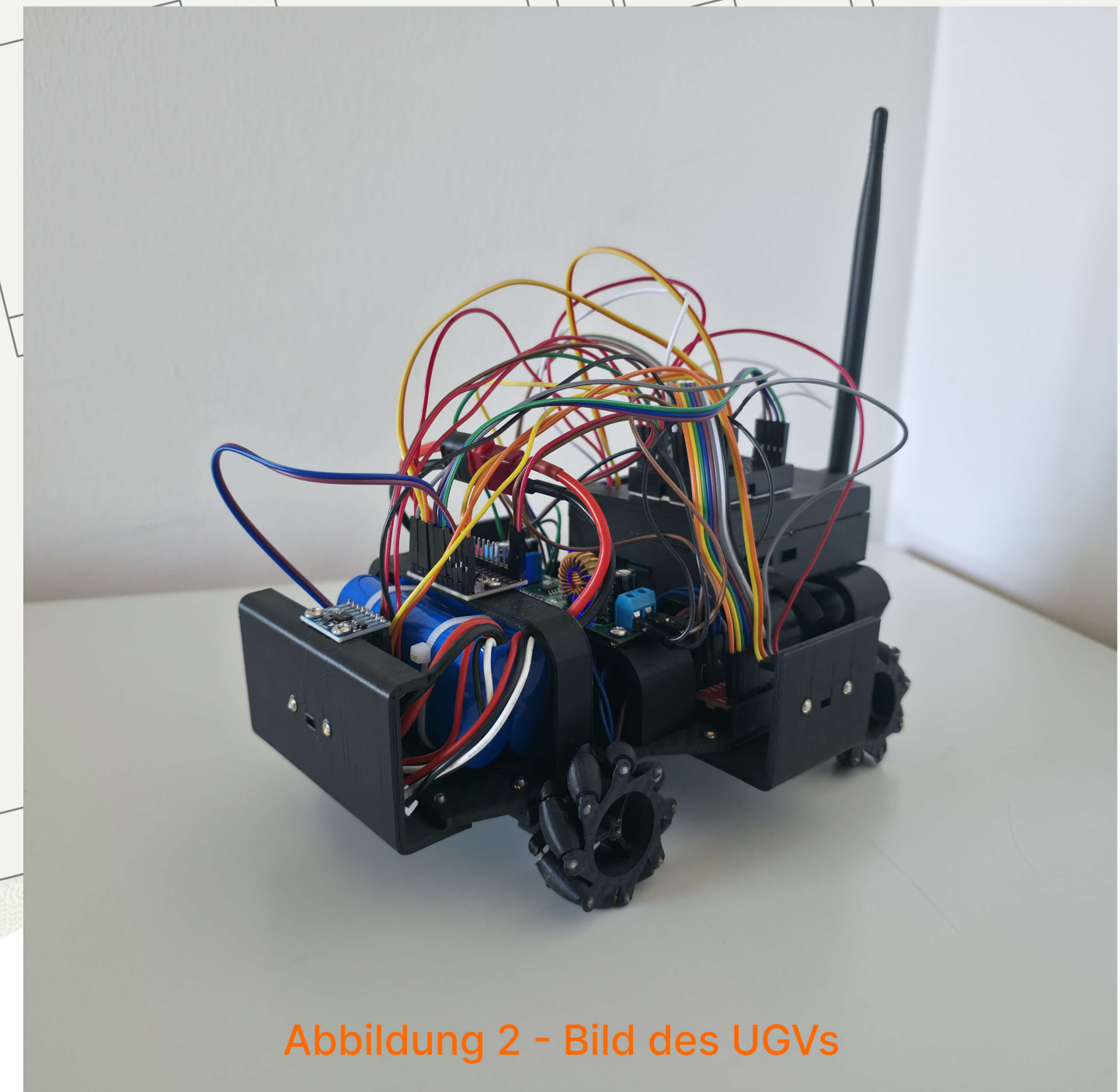


Abbildung 2 - Bild des UGVs

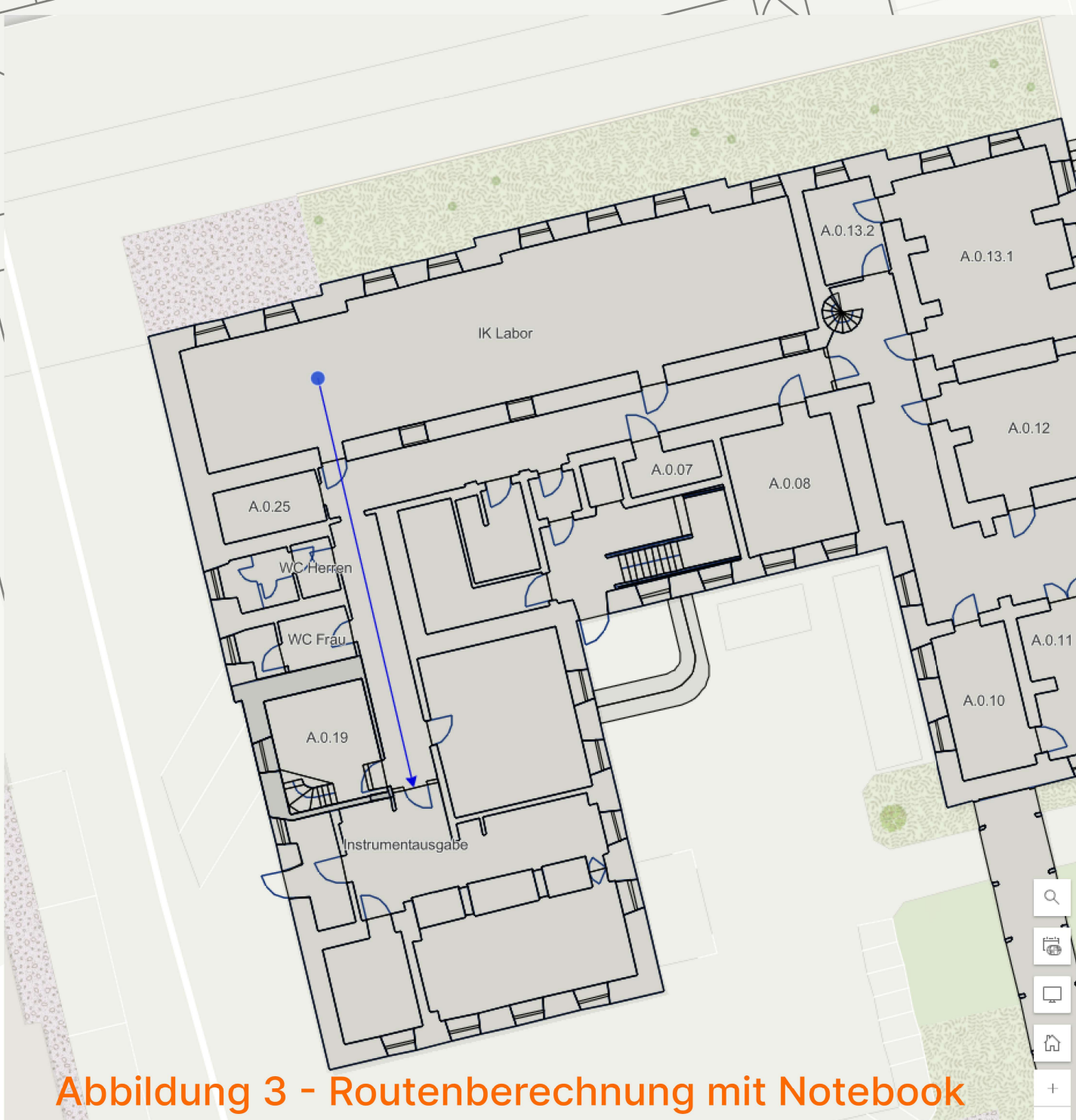
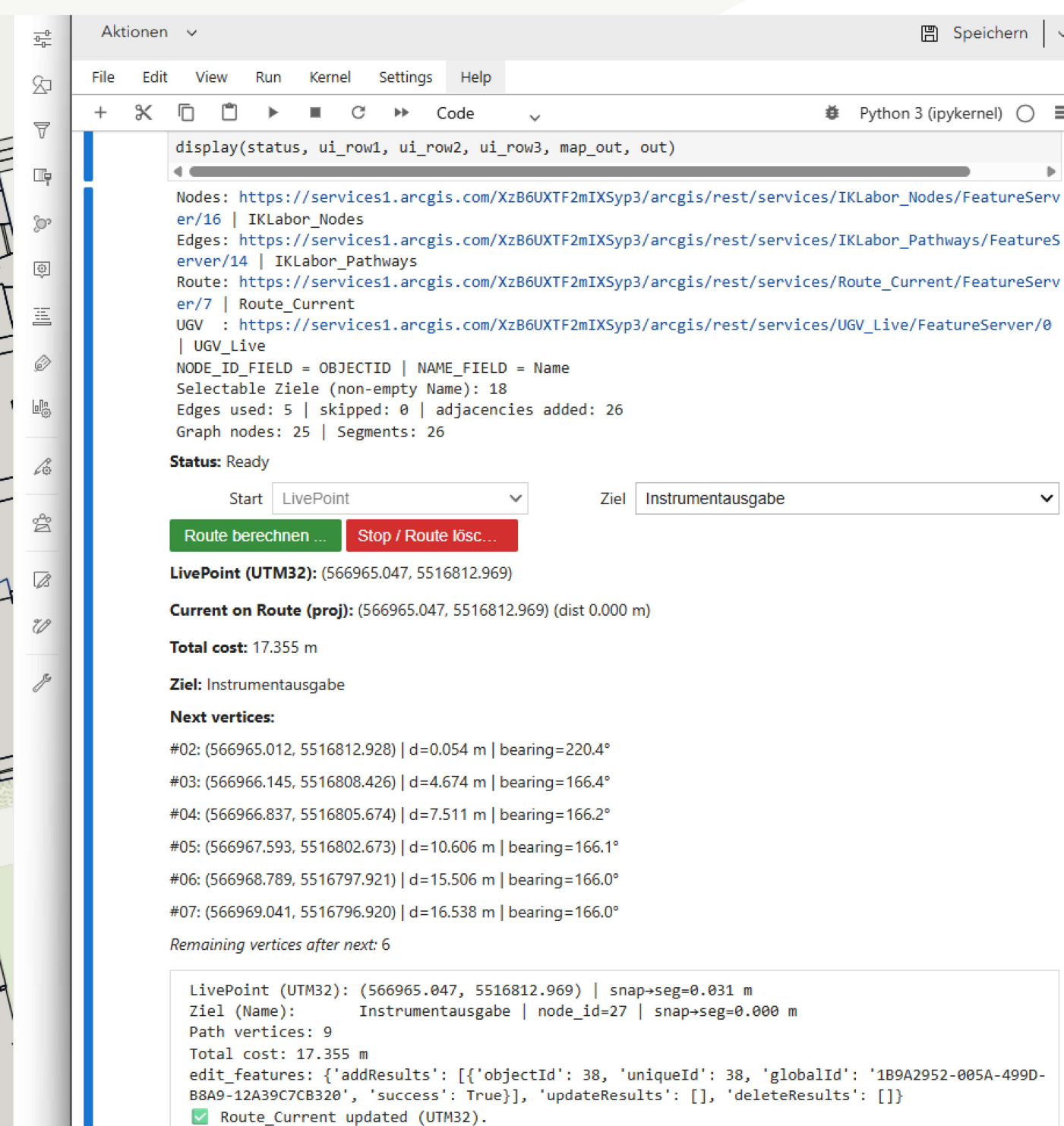


Abbildung 3 - Routenberechnung mit Notebook



Messen. Übertragen. Informieren.

Die berechnete Position des UGV wird in Echtzeit über eine Flask-REST-API an ArcGIS Online übertragen und live auf der Karte des Campus Röntgenring visualisiert. Der Datenstrom läuft über einen GeoEvent-Server, der die eingehenden Koordinaten entgegennimmt und als kontinuierlichen Live-Feed bereitstellt, sichtbar als sich aktualisierender Positionspunkt auf der Karte. Die Routenberechnung übernimmt ein Jupyter Notebook, welches die aktuelle Position empfängt, den optimalen Weg zum Ziel berechnet und sollte anschließend die Wegpunkte sequenziell zurück ans UGV schickt. Das Fahrzeug würde die Route Punkt für Punkt abarbeiten und fordert nach Erreichen eines Wegpunkts automatisch den nächsten an.

Potenzial mit Grenzen

Die GIS-seitige Integration funktioniert vollständig, Positionsübertragung, Live-Visualisierung und Routenberechnung laufen stabil. Die eigentliche Herausforderung liegt tiefer: Die BLE-RSSI-Signale schwanken unter realen Bedingungen um bis zu 8 dBm, selbst wenn das Fahrzeug still steht. Wände, Personen und Reflexionen machen eine zuverlässige Entfernungsberechnung nahezu unmöglich. Mehrere Ansätze wurden getestet und bewertet, längere Scan-Intervalle, externe Antenne, Fingerprinting und Kalman-Filter. Die besten erzielten Abweichungen lagen durchschnittlich bei 1–6 Metern, zu ungenau für eine präzise Navigation durch enge Gänge. Beim Testen lagen die Messergebnisse Teilweise besser, bei 0,31–3 Meter. Der Kalman-Filter glättet, kann aber starke Signalsprünge nicht vollständig kompensieren. Das Fazit ist klar: BLE-basierte Indoornavigation ist kostengünstig und flexibel, stößt aber in realen Gebäuden schnell an physikalische Grenzen. Für präzisere Anwendungen braucht es ergänzende Technologien wie UWB, oder ein vollständiger Ersatz der BLE Technologie0



Abbildung 4 & 5 - RSSI Messungen

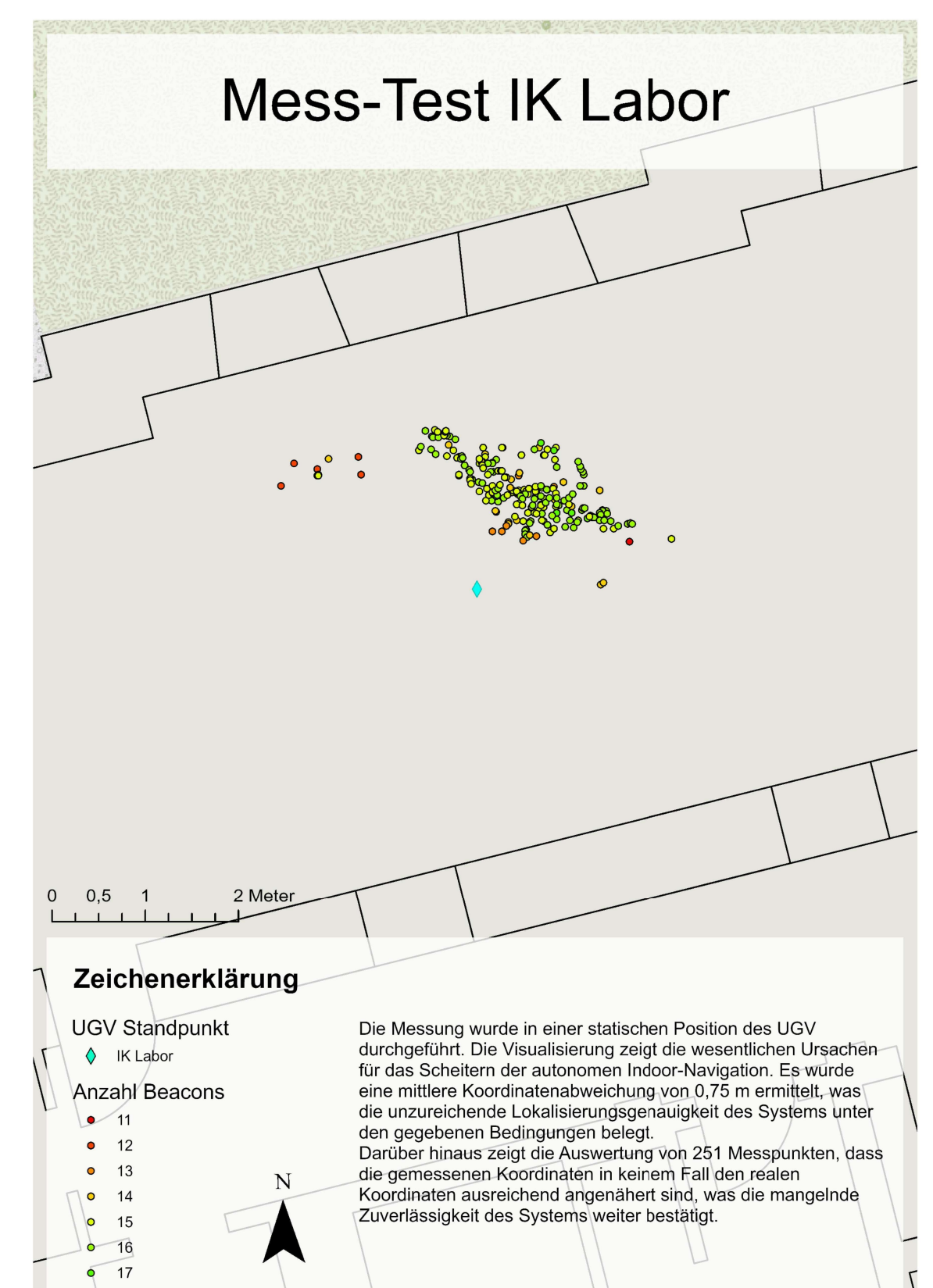


Abbildung 6 - Koordinaten Test Messung