

---

# „Die schönsten Bahnstrecken Deutschlands“ zu IFC-Alignment

Felix Eickeler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation · Technische Universität München · Arcisstraße 21 · 808333 München ·  
E-Mail: [felix.eickeler@tum.de](mailto:felix.eickeler@tum.de)

Infrastrukturbauwerke gehören zu den ältesten und wichtigsten Bauwerken. Die meisten Strecken wurde vor der Digitalisierung und „BIM“ geplant und gebaut. Sind Pläne vorhanden müssen sie oft in einem langwierigen und fehleranfälligen Prozess digitalisiert werden. Dieser Konferenzbeitrag untersucht die Frage welche Daten und Qualität einzig mit photogrammetrischen Methoden erhoben werden können. Das vorgestellte Verfahren nutzt Bilder aus der Perspektive einer Führerstandsfahrt und ermittelt daraus ein 3D-Modell der Strecke. Der komplette Prozess wird exemplarisch am Beispiel der Bodenseegürtelbahn „Seehäsele“ durchgeführt und evaluiert. Anschließend werden Probleme aufgezeigt und Verbesserungen vorgestellt. Entgegen dem Bestreben, Bahnstrecken mit mobilen Laserscannern zu vermessen, wird ausschließlich auf bestehende Bilddaten zurückgegriffen – im Gedenken an „Die schönsten Bahnstrecken Deutschlands“.

*Keywords: As-built, IFC Alignment, Structure from Motion, Pointcloud*

## 1 Motivation

Ein Großteil der Investitionen in das deutsche Schienennetz entfällt auf den Bestandserhalt. Viele der Bauprojekte beinhalten alte und unzureichend dokumentierte Streckenabschnitte. Zusätzlich müssen diese Streckenabschnitte zunächst identifiziert und anschließend nötige Instandsetzungsmaßnahmen ausgewählt werden. Dies bedeutet nicht nur zusätzlichen Aufwand, sondern auch weitere Investitionen. Im Haushaltsplan sind für die Feststellung des Netzzustandes im Jahr 2017, 3,7 Millionen € vermerkt. Die Gesamtausgaben für die Bestandserhaltung der Schieneninfrastruktur beträgt ca. 3 Milliarden € (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2017). Im Gegensatz dazu sind für den Neubau von Bahnstrecken nur ca. 40% der Bundesausgaben für Schieneninfrastruktur veranschlagt. Für eine gute Planung der Instandhaltung ist eine ausreichende Bestandsdokumentation vorgeschrieben und liegt bestenfalls in einer für das Planungsbüro nutzbaren Form vor. Wenn Bestandspläne (i.d.R. papiergebunden) existieren, sind meistens keine der bereits ausgeführten Maßnahmen vermerkt und müssen retrospektiv aufwändig bestimmt werden. Planungsbüros müssen die analogen Informationen zum Bestand zunächst aufbereiten, ergänzen und digitalisieren – ein sehr anspruchsvoller und fehleranfälliger Prozess.

Aus diesen Gründen ist die „as-is“ Zustandserfassung zu einem zentralen Punkt in der Automatisierung und der Qualitätssicherung geworden. Eine Möglichkeit ist die Vermessung des Streckenabschnittes mit einem Mobile Laser Scannern (MLS). Durch die konstante Winkelauflösung des Scanners besteht die gemessene Punktwolke aus gleichmäßig verteilten Punkten, welche sich spiralförmig um die Drehachse des Scanners anordnen (AIVARS, ROODE &

TARVO 2013). Nach der Aufnahme muss die Punktwolke korrigiert werden. Ziel ist es, dass sich die Messfehler nicht im Laufe der Streckenabtastung zu einer starken Abweichung agglomerieren.(TOTH, RAJTUKOVA & ZIVCAK 2013). Hierzu werden sogenannte Passpunkten am Streckenrand geodätisch vermessen und der Scan daran orientiert (DU, TENG 2007). Der eigentliche Streckenverlauf muss in einem zweiten, nachgeschalteten Schritt in der Punktwolke erkannt und extrahiert werden. Für die Erstellung einer solchen MLS-Punktwolke muss ein Schienenfahrzeug mit spezieller Sensorik ausgerüstet und die eine Vermessungsfahrt entlang der Gleise durchgeführt werden (konstante Geschwindigkeit bei:  $\sim 22$  m/s). Obwohl lasergescannten Punktwolken die geringsten absoluten Abweichungen haben und damit eine sehr hohe Qualität aufweisen, ist der Erstellungsaufwand relativ hoch. Falls für die Visualisierung oder die Segmentierung von Streckenelementen nötig, müssen in einem nachgeschalteten Schritt, Farbinformationen über ergänzende Bilder hinzugefügt werden.

Kameras und die photogrammetrische Rekonstruktion von Punktwolken durch die Kombination von *Structure from Motion* (SfM) und *Multiview-Stereo*-Rekonstruktionen (MVS) sind eine kostengünstige und weit verbreitete Alternative (DIMITROV, GOLPARVAR-FARD 2014; ÖZYEŞIL, VORONINSKI & SINGER 2017). Für Bahnstrecken gilt dieses Verfahren aber auf Grund seiner Anfälligkeit gegenüber *warping*, der messbaren Verzerrung und Verwindung, als nicht praktikabel. Der höhere Aufwand bei der Korrektur steht ein deutlich einfacher Aufnahmeprozess gegenüber. Wird die Sensorfläche gleichzeitig belichtet (*global shutter*) ist das Verfahren sehr robust gegenüber den Geschwindigkeitsschwankungen des Aufnahmefahrzeuges (SAURER, POLLEFEYS & HEE LEE 2016). Farbinformationen werden mit ausgewertet und Erschütterungen der Sensorik über die Kamerapositionen im Prozess herausgerechnet. Damit sind die Mindestanforderungen an das Aufnahmefahrzeug verschwindend gering – eine Kamera ist ausreichend.

Die Prämisse, dass eine Kamera ausreichend ist führt zu der Frage, ob nicht aus bestehenden Bildern eine Raumkurve abgeleitet werden kann. Dieser Konferenzbeitrag beschäftigt sich mit genau dieser Frage. In der Geschichte der DACH-Film Produktionen gibt es eine Reihe von Führerstandsaufnahmen, welche als Datenbasis dienen. Besonders bekannt ist die, für das Nachtprogramm der ARD Produzierte Filmreihe, „Die schönsten Bahnstrecken Deutschlands“ welche dem Beitrag zu seinem Namen verholfen hat (Moritz Herrmann 2015).

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Structure from Motion

Structure from Motion ist der erste Schritt bei der Erstellung eines 3D-Modells aus aufgenommenen Bildern. Es ist nicht nötig kalibrierte Kamerasysteme zu nutzen, da die die extrinsischen und intrinsischen Parameter für jedes Bild einzeln berechnet werden können. In einzelnen Frames wird nach herausragenden Bereichen, sogenannte „Features“, gesucht (BOSCHÉ, HAAS & MURRAY 2008; SCHONBERGER, FRAHM 2016 - 2016). Features basieren im Allgemeinen auf den Bildgradienten und werden zwischen den einzelnen Bildern verglichen und gepaart. Aus allen Feature-Paaren wird der Verlauf eines Features über eine Bildserie bestimmt („Track“) (SCHMID, SOATTO & TOMASI 2006). Aus dieser Serie können die Kamerapositionen bestimmt und ggf. Verzerrungen des Objektivs korrigiert werden. Das initiale Bildpaar der Rekonstruktion gibt den Koordinatenursprung vor. Um die Genauigkeit der berechneten Positionen zu erhöhen, wird der Fehler von den berechneten Positionen über mehrere Aufnahmen (im Fall unseres Datensatzes 50 Bilder) minimiert. Diese

Verfahrenserweiterung ist als *Bundle Adjustment* bekannt und in allen aktuellen Softwareprodukten verfügbar. Der Vorteil bei der Rekonstruktion einer Bahnstrecke aus einer Bildserie ist, dass die Bilder entlang der Strecke aufgenommen werden. Es ist also nur nötig, Bilder auf einer Strecke von ca. 200 m miteinander zu vergleichen, da die Anzahl an Features darüber hinaus stark abnimmt. Kreuzkorrelationen zwischen den Bildern sind nicht existent was den Prozess stark beschleunigt.

## 2.2 Multi-View Stereo

Multi-View Stereo rekonstruiert aus bekannten Kamerapositionen und Bildern ein zusammenhängendes 3D-Modell. Hierzu ist eine Vielzahl von Verfahren verfügbar. Das in den meisten Softwareprodukten verwendete Verfahren, wertet für jeden Punkt im Bildraum aus wo das Pixel im Modellraum verortet werden muss. Das Resultat ist eine *dichte* Punktwolke. Die geometrische Information basieren hierbei auf den SFM-Ergebnissen und die Rekonstruktion dient hauptsächlich der Anreicherung des Modells mit Oberflächen und Flächeninformationen.

## 2.3 IFC-Alignment

Das IFC-Alignment 1.1 beschreibt Infrastrukturbaugeräte und wurde von buildingSmart in Zusammenarbeit mit dem OpenGIS Konsortium (OGC) entwickelt. Es teilt sich dabei in ein vertikales und horizontales Alignment (BORRMANN, HOCHMUTH & SINGER 2017). Ein Alignment kann in Teilelemente unterteilt werden und besteht aus einem horizontalen, einem vertikalen und einem 3D-Alignment. Für eine ausreichende Beschreibung muss entweder ein horizontales oder eine 3D-Ausrichtung vorhanden sein. Die beschriebene Trassierung ist lückenfrei und muss tangential kontinuierlich ausgeführt sein (AMANN, BORRMANN 2015).

## 2.4 Erkennung von Objekten im Bildraum

Im Bereich Bildanalyse und Objekterkennung sind durch die Entwicklung von Convolutional Neural Networks (CNN) große Fortschritte erzielt worden. Im Jahr 2012 wurde mit AlexNet (KRIZHEVSKY, SUTSKEVER & HINTON 2017) ein Fehler von nur 15,3 % im Wettbewerb ImageNet (RUSSAKOVSKY et al. 2015) erzielt. Ein weiteres, performantes System ist „*You only Look Once*“ (YOLO) (REDMON, DIVVALA & FARHADI 2016). Dieses spezielle Netz wertet mehrere Objektbereiche und Klassenwahrscheinlichkeiten auf einmal aus. Dabei teilt YOLO das Bild in mehrere Teilbereiche, in denen die Analyse durchgeführt wird. Trotz des geringen Fehlers von 13,6 % (2016), ist es nicht möglich sich überschneidende Randbereiche einer Objektklassifizierung mit YOLO zu erkennen.

# 3 Rekonstruktion am Beispiel Singen-Friedrichshafen

## 3.1 Datengrundlage

Als Eingangsdaten für unser praktisches Beispiel wird eine Führerstandsfahrt aus Youtube von Singen nach Friedrichshafen (siehe Abbildung 1) ausgewertet (Rotausleuchtung 2018). Die originale ARD Produktion von „Deutschlands schönsten Bahnstrecken“ ist nur in PAL (Auflösung 544 px × 576 px) verfügbar und ist damit nicht photogrammetrisch auswertbar. Das verwendete Video wurde mit einer GoPro aus dem Cockpit der Bodenseegürtelbahn, einer Lok der DB-Baureihe 232 aufgezeichnet. Die Auflösung beträgt 3840 px × 2160 px, die Bildwiederholungsrate 30 Bilder pro Sekunde (fps). Als SfM-Pipeline wurde die von der ETH Zürich entwickelte Software COLMAP in der Version 3.4 verwendet (SCHÖNBERGER,

ZHENG & POLLEFEYS 2016). Neben der Rekonstruktion der Gesamtstrecke mit 5 fps, wurden 2 Szenarien der Rangierbewegung (ca. 1,5 min) mit verschiedener zeitlicher Auflösung gemacht und aus den Kamerapositionen zusätzlich eine dichte Punktwolke (Multi-View-Stereo) zur optischen Kontrolle rekonstruiert.

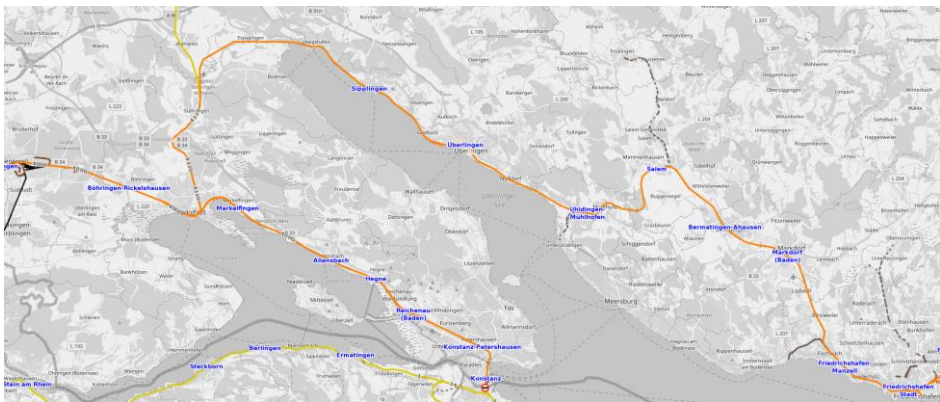


Abbildung 1: Strecke der Bodenseegürtelbahn. Fahrtdauer der BR 232 ca. 1h 10 min.

### 3.2 Performance bei der Rekonstruktion

Die Rekonstruktion mittels SfM ist sehr rechenintensiv und eine geeignete Auswahl und Reduktion der Eingangsbilder hat einen großen Einfluss. Dabei sollen die Geschwindigkeitsprofile einer Zugfahrt abgebildet werden. Zwei Extreme sind: die Rangierbewegung (eine langsame aber nicht konstante Bewegung) und die Fahrt entlang einer Hauptstreckengrade (eine schnelle aber über weite Teile gleichbleibenden Fahrt). Bei der Auslegung wurde von einer Spitzengeschwindigkeit von 90 km/h ausgegangen, was bei einer Auflösung von 5 m pro Bild zu einer minimal nötigen zeitlichen Auflösung von 5 fps führt. Daraus abgeleitet muss für die gesamte Strecke die Rekonstruktion auf der beachtlichen Datenbasis von 22605 Bildern durchgeführt werden. Die Bilder wurden untereinander über einen Bereich von 250 m miteinander verglichen, wobei sich gezeigt hat das bei ca. 120 m die Anzahl an Passpunkten stark abnimmt.

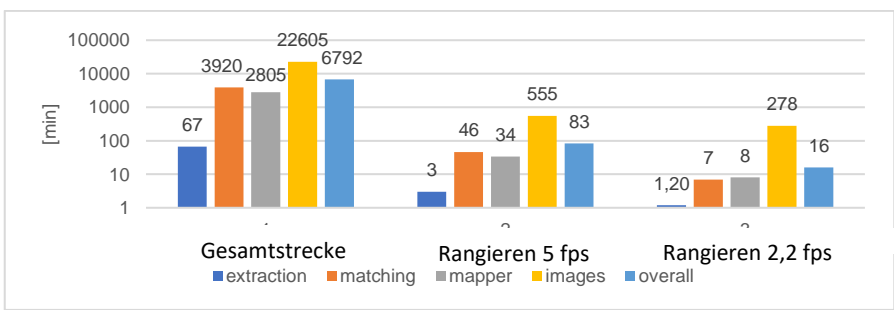


Abbildung 2: Rechenzeit im Verhältnis zur Auflösung

Zur Analyse des Einflusses der Bildwiederholrate auf Geschwindigkeit und Qualität wurde die Rangierbewegung mit zwei verschiedenen Bildsätzen rekonstruiert (5 fps und 2,2 fps). Die Geschwindigkeit der Rekonstruktion nimmt deutlich ab, wenn die Anzahl der in Betracht

gezogenen Bilder steigt. In Abbildung 2 ist die Dauer der einzelnen Schritte auf einer logarithmischen Skala zu sehen. Der Aufwand des zweiten SfM-Schrittes, dem Feature-Matching, steigt bei einer höheren räumlichen Auflösung (mehr Bildern) deutlich an. Im direkten Vergleich der Rangierszenarien konnte im Gleisverlauf kein optischer Qualitätsunterschied bei den Kamerapositionen festgestellt werden. Die Anzahl der Punkte der kompletten MVS-Rekonstruktion nimmt bei geringerer zeitlicher Auflösung um Faktor 1.8 ab und die Auflösung der Oberleitungen ist weniger gestört (Himmelartefakte). Die Artefakte können, ohne großen Aufwand, über ihren Farbwert entfernt werden (siehe Abbildung 4).

### 3.3 Schienenverlauf

Die rekonstruierten Kameraperspektiven sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Kamera, ist als fest installiertes System der Bewegung des Schienenfahrzeuges unterworfen. Das Schienenfahrzeug ist schwimmend auf den Schienen gelagert, was zu einer gewissen Abweichung zwischen Fahrzeugverlauf und eigentlichem Schienenverlauf führen kann. Dies ist besonders am Sinuslauf des Zuges beim Verlassen von Kurven zu erkennen. Durch unsere recht geringe Auflösung ist eine Filterung dieses Rauschens alleine auf Basis der Kamerapositionen nicht vollständig möglich. Aus den Kamerapositionen ist nicht nur der Verlauf, sondern auch die Neigung der Strecke abzuleiten. Dies ist besonders für das „vertical alignment“ der Strecke, das sich nach der „untersten“ Schiene richtet, wichtig. Durch das stehende Koordinatensystem können Pendelbewegungen des Schienenfahrzeugs aus der Rotation um die vertikale Achse isoliert und betrachtet werden.

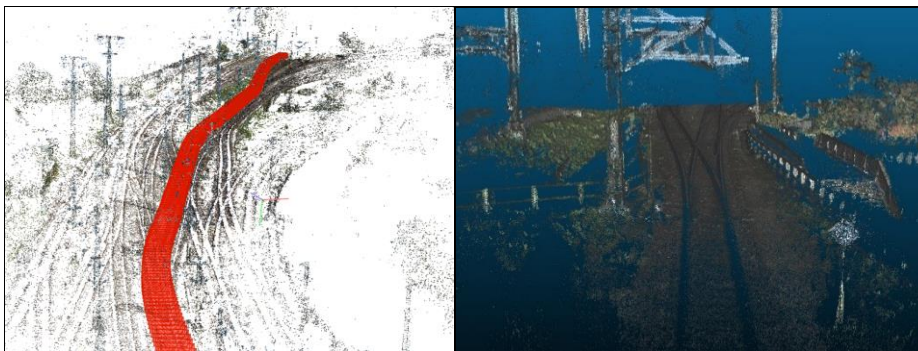


Abbildung 3 & 4: (links) SfM Rekonstruktion mit eingezeichneten Kamerapositionen. (rechts) MVS Rekonstruktion der Rangierbewegung, mittlere Qualität (MATHEISEN, REINHARDT & REICHERT 2018).

Bei der Betrachtung der MVS-Rekonstruktion der Rangierbewegung fällt vor allem die gute Qualität im Bereich des Schienengrundes auf. Weichen können soweit aufgelöst werden, dass es möglich ist ihre Stellung in der Punktwolke zu erkennen. Ab ca. 5 m Entfernung von der Kameraposition nimmt die Qualität der Punktwolke deutlich ab. Der Autor vermutet, dass die schnelleren relativ Bewegung der Objekte am Rand zu einer höheren Unschärfe der Bilder führt. Exemplarisch für schnelle, um die Bildachse geführte Bewegung, sind Erschütterungen. Erschütterungen sind bei Fahrten mit niedrigen Geschwindigkeiten festzustellen (rangieren). Der Schienenverlauf wird als Polylinie aus den der gefilterten Position der Kameras extrahiert. Hierbei wird ein fester Versatz (Kameraposition) in Betracht gezogen.

Die Gesamtstrecke ist durch mehrere Tunnel unterbrochen. In Abbildung 5 zeigt die Abweichung einer Teilstrecke im Vergleich zu Daten aus *Open Street Map*. Die Teilstrecke wurde

isoliert und mit den WGS-84 Daten überlagert (*lsqrt*, 80 % overlap). Auf der Eingangsgrade vor der ersten Kurve ist der Fehler groß. Der Abschnitt führt durch ein Waldstück mit Steigung und wurde bei erhöhter Geschwindigkeit aufgenommen. In Bereich der Hauptkurven sinkt der mittlere Fehler auf einen Wert von ca. 14  $\bar{m}$ , wobei keine Höhendaten als Vergleich zur Verfügung stehen (ca. 30 m Höhenmeter im betrachteten Streckenabschnitt).

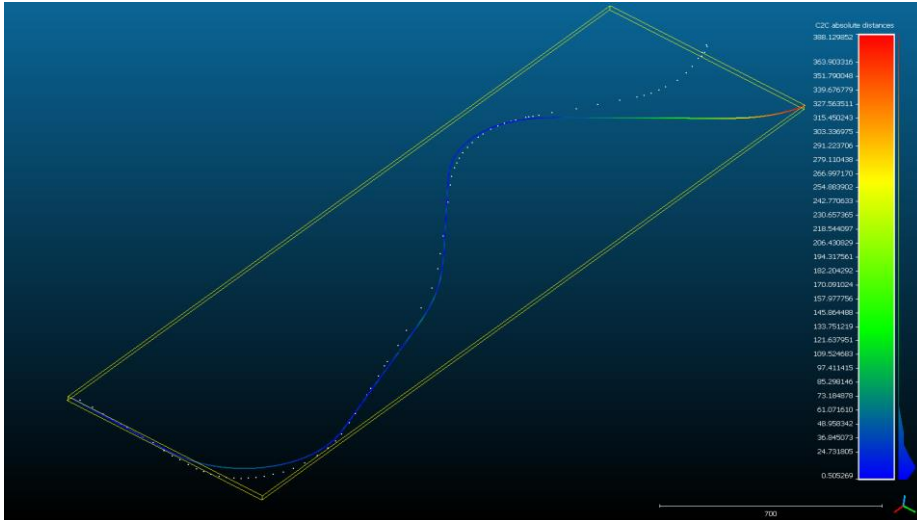


Abbildung 5: Abweichung eines 2.7 km langen Streckenabschnitt zwischen Überlingen und Salem.

Im Gegensatz zu der Länge der Bewegungsvektoren korrelieren die Richtungen mit den WGS-84 Daten. Besonders in Bereichen von besonderem Interesse (Bahnhöfe, Siedlungen und Kurven) sinkt der Fehler beträchtlich. Diese Verzerrung kann in der Rekonstruktion der gesamten Strecke bei allen Teilmodellen (Tunnel – Tunnel) gemessen werden.

Für ein erstes Alignment wurde das lokale Koordinatensystem der Rekonstruktion in ein Global gültiges Koordinatensystem überführt. Hierbei wurde der Startpunkt in WGS-84 angemessen (via Karte) und die Punkte projiziert. Um die Höhe abzubilden wurde das Koordinatensystem WGS-84 mit der höhen Information im EGM2008 erweitert. Die Höhe des initialen Punktes wurde aus der Stadtkartei von Singen übernommen. Das so entstandene Modell besteht aus einer 3D-Raumkurve (3D-Alignment) und kann von gängigen Planungstools für Infrastruktur eingelesen werden.

## 4 Verbesserung der Erkennung

### 4.1 Filterung beweglicher Objekte

Das Alignment wird ausschließlich durch die Verortung der Kamerapositionen bestimmt. Damit hängt die Genauigkeit des Alignments direkt vom Abgleich der Features zwischen den Bildern ab. Im Falle von Führerstands-aufnahmen sind nicht alle Objekte stillstehend, was bei der Optimierung, welche die Kamerapositionen bestimmt, einen signifikanten Fehler induziert. Jeder entgegenkommende Zug führt direkt zu einer messbaren Abweichung.

Eine Lösung für dieses Problem ist eine kontextbasierte Filterung der Keypoints, nach dem Feature-Extraction-Schritt. Um die Features von sich bewegenden Zügen zu entfernen muss

dieser zuerst auf den Bildern erkannt werden. Für die Objekterkennung wurde ein CNN benutzt. Wird ein Zug erkannt, wird dieser maskiert und die Keypoints mit dem Zugbereich des Folgebildes abgeglichen. Verändert sich die Perspektive dieses Objektes, d.h. verändern sich die zugrunde liegende Transformationsmatrix stärker als der außenliegende Bereich (der Zug bewegt sich), werden diese Punkte verworfen. Die Keypoints stehen im Matching-Schritt des SfM nicht mehr zur Verfügung und induzieren keinen weiteren Fehler. Im Fall unserer Bodenseegürtelbahn, wurde die Erkennung der Züge mit YOLO durchgeführt und eine sehr gute Erkennungsrate erzielt. Ein Beispiel für eine *Objektdetection* auf einem Einzelbild ist in Abbildung 6 dargestellt.



Abbildung 6: Objekterkennung mit Yolo.

## 4.2 Unbewegliche Komponenten des Schienenfahrzeugs

Ein weiterer Fehler entsteht durch nicht veränderlichen Teile des Bildes. Deutlich zu sehen ist der Scheibenwischer der Lok (Abbildung 6), weniger deutlich die Kratzer und Partikel auf der Scheibe. Die Lösung hierbei ist eine Ähnliche wie bei den beweglichen Objekten. Durch eine Analyse nicht veränderlicher Bildelemente, z.B. mit einem binären Vergleich (&) von zufällig ausgewählten Bildern, können nicht wiederkehrenden Elemente identifiziert werden. Das Filtern erfolgt analog zu 4.1.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein praktisches Beispiel von der Anwendung von SfM im Bereich Schieneninfrastruktur beschrieben. Das Paper beschreibt die besondere Herausforderung eines sehr umfangreiche Verarbeitung von 85 km Bahnstrecke anhand eines beschränkten linearen Datensatzes. Die Ergebnisse sind gemischt. Während die Orientierung der Lok sehr gut wiedergeben wird, besteht im Bereich von Graden starke Abweichungen der Translation. Die Verarbeitung von ca. 85 km Bahnstrecke unseres Beispiels führt zu einem deutlichen Fehler, welcher mit Passpunkten oder einer anderen Referenz gestützt werden muss.

Durch die Verwendung dieses Verfahrens als zusätzlichen Datenquelle und den Abgleich der Kameraposition mit der Position der Schienenpunkte kann ein lokal verbessertes Alignment erstellt und die Dynamik des Zuges ausgewertet werden. Zukünftige Schwerpunkte könnte die Ableitung von in der LuVF definierten Qualitätskennzahlen aus diesen Daten und damit eine Aussage über den Zustand der Bahnstrecke sein. Um das globale Alignment zu

verbessern sind verschiedene Verfahren zu evaluieren: 1.) Passpunkte, welche einzeln im 3D Raum angemessen werden. Die Punktwolke wird also nach der Erstellung entsprechend korrigiert. 2.) Verwendung von angemessenen Punkten bei der Rekonstruktion. Dabei ist es nötig, dass das System verschiedene Punkte erkennt und in Bildern korrekt verortet. Hierbei könnten eingemessene Bahnausrüstungsgegenstände welche mit QR-Codes markiert werden genutzt werden. Diese Funktionalität wird allerdings von keiner bestehenden SfM-Software unterstützt und erfordert starke Eingriffe. 3.) Zusätzliche Informationen über Luft- und Satellitenbilder, welche bei der Rekonstruktion für einen zusätzlichen Informationen sorgen. Besonders die Wahl der Matching-Strategie ist hier hinsichtlich der Anwendbarkeit (Performance) von großem Interesse.

## 6 Literatur

- AIVARS, A., ROODE, L. & TARVO, M. 2013. Combined 3D building surveying techniques - terrestrial laser scanning (TLS) and total station surveying for BIM data management purposes. *Journal of Civil Engineering and Management* **19**, S23-S32.
- AMANN, J. & BORRMANN, A. 2015. Open BIM for Infrastructure – mit OKSTRA und IFC Alignment zur internationalen Standardisierung des Datenaustauschs.
- BORRMANN, A., HOCHMUTH, M., KÖNIG, M., LIEBICH, T. & SINGER, D. 2017. Germany's governmental BIM initiative—Assessing the performance of the BIM pilot projects.
- BOSCHÉ, F. N., HAAS, C. & MURRAY, P. 2008. Performance of automated project progress tracking with 3D Data fusion. Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, 2008.
- Bundeshaushaushaltsplan 2017. BHPI. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 29ff. 2017. Online Supplementary Material at <https://www.bundeshaushalt-info.de>.
- DIMITROV, A. & GOLPARVAR-FARD, M. 2014. Vision-based material recognition for automated monitoring of construction progress and generating building information modeling from unordered site image collections. *Advanced Engineering Informatics* **28**, 37–49.
- DU, J.-C. & TENG, H.-C. 2007. 3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation. *Automation in Construction* **16**, 657–63.
- MATHEISEN, A., REINHARDT, P. & REICHERT, M. 2018. *OpenRailwayMap*.
- Moritz Herrmann. 2015. Schienen, die die Welt bedeuten. Online Supplementary Material at <http://reportagen.fm/schienen-die-die-welt-bedeuten/>.
- ÖZYESİL, O., VORONINSKI, V., BASRI, R. & SINGER, A. 2017. A survey of structure from motion. *Acta Numerica* **26**, 305–64.
- REDMON, J., DIVVALA, S., GIRSHICK, R. & FARHADI, A. (eds). 2016. *You only look once: Unified, real-time object detection*, 779-788.
- ROTAUSLEUCHTUNG. Führerstandsmitfahrt BR 232 - Bodenseegürtelbahn von Singen nach Friedrichshafen, 2018. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=NAB-4x5wHTo>.
- SAURER, O., POLLEFEYS, M. & HEE LEE, G. (eds). 2016. *Sparse to dense 3d reconstruction from rolling shutter images*, 3337-3345.
- SCHMID, C., SOATTO, S. & TOMASI, C. (eds). 2006. *2006 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition workshops: Cvpr workshops ; new york, new york, USA, 17 - 22 june 2006*. IEEE, 8 pp.
- SCHÖNBERGER, J. L. & FRAHM, J.-M. 27.06.2016 - 30.06.2016. Structure-from-Motion Revisited Paper presented at the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, Jun. 27-30.
- SCHÖNBERGER, J. L., ZHENG, E., FRAHM, J.-M. & POLLEFEYS, M. 2016. Pixelwise view selection for unstructured multi-view stereo. ECCV & European Conference on Computer Vision, Lecture notes in computer science no. 9907.
- TOTH, T., RAJTUKOVA, V. & ZIVCAK, J. 2013. Comparison of optical and laser 3d scanners Paper presented at the 2013 IEEE 14th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI), Budapest, Hungary, 11/19/2013 - 11/21/2013.