

Autonomer Baumschnitt in Streuobstwiesen

David Reiser ¹, Jonas Straub¹ und Hans W. Griepentrog¹

Abstract: Aktuell ist der Betrieb von Streuobstwiesen in Deutschland nicht wirtschaftlich. Daher werden sie meist nur schlecht gepflegt. Streuobstwiesen gelten allerdings als ökologisch äußerst wertvoll, da sie Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten bieten. Durch Automatisierung könnte der Zeitaufwand für die Pflege minimiert, Kosten reduziert und Arbeitsunfälle vermieden werden. Das von der Baden-Württemberg Stiftung geförderte Projekt „Robotik für die Pflege von Streuobstwiesen“ untersucht, wie mithilfe von Robotik ein automatisierter Baumschnitt von Hochstammbäumen erfolgen kann. Hierfür wird in der dreijährigen Laufzeit ein Prototyp mit einem Roboterarm und Werkzeug inklusiver notwendiger Sensorik entwickelt, der einen teilautonomen Baumschnitt durchführen soll. Zuerst wird die 3D-Struktur der Baumkrone mithilfe von Kamera und Laserscanner erfasst. Aus den berechneten Punktwolken erfolgt die Modellierung der Aststrukturen des Baumes. Aus den ermittelten Strukturen kann eine Bewertung des Pflegezustandes des Baumes erfolgen. Anschließend soll ein Schnitt automatisiert oder angeleitet geplant und umgesetzt werden. Erste Ergebnisse zeigen, dass mithilfe der Sensorik Astschnittpunkte ermittelt und von dem Roboter mit seinem Werkzeug manuell angefahren werden können.

Keywords: Obstbaumschnitt, Roboter, 3D-Punktwolken, LiDAR, Photogrammetrie, Biodiversität

1 Einleitung

Besonders der Süden Deutschlands besteht aus einer kleinräumigen Kulturlandwirtschaft. Streuobstwiesen sind integraler Bestandteil dieser Struktur und sollen auch in Zukunft erhalten bleiben. Besonders der ökologische Nutzen für die Artenvielfalt ist bei Streuobstwiesen deutlich höher als bei intensiv bewirtschafteten Obstanlagen. Jedoch sind Streuobstwiesen aktuell aus ökonomischer Sicht nicht rentabel und werden daher meist nur schlecht gepflegt. Das führt dazu, dass aktuell in Baden-Württemberg über 80 % der Streuobstbäume gar nicht oder nur unregelmäßig geschnitten werden [M15]. Für den Erhalt der Bäume ist jedoch ein regelmäßiger Baumschnitt wichtig. Automatisierung kann hier einen sinnvollen Beitrag für den Erhalt der Kulturlandschaft beitragen.

Ein Problem für die Automatisierung in Obstplantagen und Streuobstwiesen ist, dass die satellitenbasierte Navigation sehr unzuverlässig sein kann. Besonders wenn die Bäume höher als die Position der Antenne sind, kann es zu Abschattungseffekten kommen, wodurch die Genauigkeit reduziert wird. Dies ist bei Streuobstwiesen häufig der Fall, was dazu führt, dass sich die Navigation nicht alleine auf Real Time Kinematic Global

¹ Universität Hohenheim, Abteilung Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart
dreiser@uni-hohenheim.de,  <https://orcid.org/0000-0003-0158-6456>, jonas.straub@uni-hohenheim.de,
hw.griepentrog@uni-hohenheim.de

Navigation Satellite Systems (RTK-GNSS) stützen kann. RTK-GNSS kann als Referenz der Position dienen, muss jedoch mithilfe zusätzlicher Sensorik ergänzt und korrigiert werden [Ha10]. Um den Baumschnitt umsetzen zu können, muss die Aststruktur mithilfe von Sensorik erfasst werden. Es gibt bereits umfangreiche Forschung zur Erkennung von Bäumen und Vegetation aus satelliten- oder luftgestützten Daten [MZL15]. Diese Informationen werden häufig für die Bestimmung von Waldbeständen sowie für die Früherkennung von Krankheiten benutzt. Auch im modernen Obstbau sind bereits verschiedene Dienste vorhanden, die eine Früherkennung von Krankheiten ermöglichen sollen. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, die Wuchshöhe und die Blattfläche mit Sensoren zu bestimmen [Sa13]. Genutzt wurden solche Informationen bisher vor allem mit dem Ziel, der Ertragsoptimierung im Plantagenanbau.

In der Forschung gibt es bereits erste Prototypen für den Schnitt von Weinreben [Bo17] und Obstbauplantagen [LS18]. Jedoch ist der Einsatz bisher nur in reihenbasierten Strukturen umgesetzt, welche leicht als 3D-Modell rekonstruiert werden können. Zusätzlich befinden sich die Schnittpunkte in Bodennähe, was die Bearbeitung vereinfacht. Um solche Maschinen passend für Streuobstwiesen einsetzen zu können, ist innovative Entwicklungsarbeit erforderlich. Ein selektiver automatisierter Baumschnitt eines einzelstehenden Obstbaumes wurde bisher noch nicht umgesetzt, ebenso wenig die 3D-Rekonstruktion eines Baumes durch eine Rundumfahrt mit einem Roboter für das Extrahieren von Schnittpunkten.

2 Konzept und Projektinhalt

Das Projekt gliedert sich in drei Arbeitspakete: 1. Navigation und Datenaufnahme, 2. Sensordaten-Auswertung und -Analyse, sowie 3. Bearbeitung von Schnittpunkten. Die Arbeitspakete des Projekts sind so gewählt, dass sie unabhängig voneinander bearbeitet werden können. Zusätzlich sollen alle Bereiche durch den Input eines Nutzers ergänzt werden können, sodass bei nicht zufriedenstellender Bearbeitung dem Roboter assistiert werden kann. Beispielsweise kann bei nicht erfolgreicher Navigation und Datenaufnahme der Nutzer die Fernsteuerung übernehmen. Ist die Auswertung der Sensordaten nicht zufriedenstellend, soll der Nutzer die Möglichkeit haben, die Schnittempfehlungen von Hand einzugeben. Falls die Bearbeitung eines Schnittpunktes misslingt, könnte der Nutzer von Hand die Arbeit des Roboters vervollständigen. In jedem Fall ist somit durch ein erfolgreich bearbeitetes Arbeitspaket ein Mehrwert für den Arbeiter sichtbar, welcher die Möglichkeit eines Assistenzsystems für den Schnitt von Hochstammbäumen unterstreicht. Die Arbeitspakete werden nun in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben.

2.1 Navigation und Datenaufnahme

Als Navigationsplattform wird der Roboter Phoenix verwendet, welcher mit einem Raupenlaufwerk ausgestattet ist [Re17]. Die Plattform verfügt über 10 kW elektrische

Antriebe und kann mithilfe von Linearmotoren das Anbaugerät anheben, kippen und seitlich verschieben. Für die Navigation nutzt das Gerät RTK-GNSS in Kombination mit Light Detection and Ranging (LiDAR), Kamera, Odometrie und IMU. Für das hier beschriebene Projekt ist die Plattform mit einem Universal Robots Roboterarm mit 5 kg Nutzlast (UR5) ausgestattet, der als Sensorträger und Werkzeugsteuerung dient. Als Steuersoftware/Middleware wird ROS verwendet [Qu09]. Der erste Prototyp ist in der folgenden Abbildung 1 zu sehen.

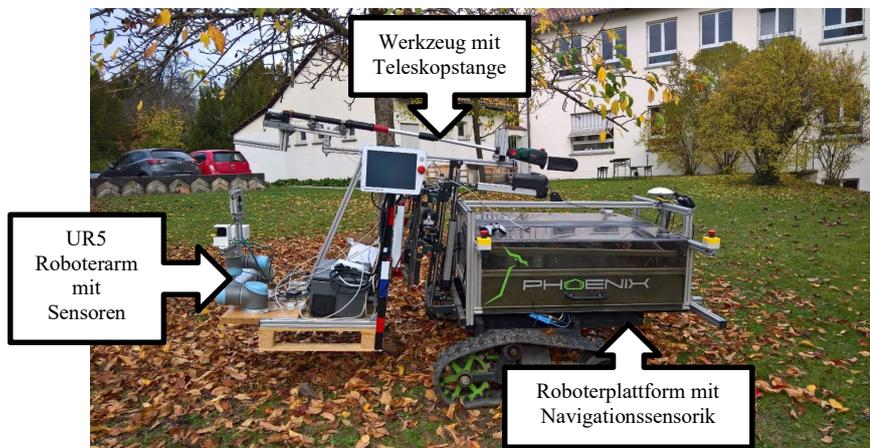


Abb. 1: Aktueller Aufbau des Prototyps in Transportstellung

Zur Bestimmung der Baumstruktur wurde eine Sensorkombination aus LiDAR und Kamera-Technik gewählt, welche auf einen UR5-Roboterarm montiert ist. Das hat den Vorteil, dass die Genauigkeit des Roboterarms für die lokale Sensordatenerfassung genutzt werden kann. Durch die Wiederholgenauigkeit des UR5 von ± 0.1 mm kann beim Stillstand der Plattform eine hochpräzise Positionierung der Sensorik erfolgen. Als LiDAR wurde ein Sick TiM 571 mit einer maximalen Reichweite von 25 m angebaut. Als Kamera wurde eine 12 Megapixel Raspberry-Pi HQ-Kamera mit C-Mount-Objektiv gewählt. Der LiDAR hat den Vorteil der robusten und effektiven Umgebungserkennung, er ist dafür aber nicht so detailliert und präzise. Die Photogrammetrie-Punktwolken aus den Kamerabildern dienen für die Bestimmung der Schnittempfehlung. Um ein möglichst vollständiges Modell des Baumes zu erhalten, soll der Roboter den Baum umrunden und von mehreren Punkten eine 3D-Punktwolke durch das Bewegen des Roboterarms erstellen. Die Schwierigkeit bei der Punktwolkenerstellung besteht in der passenden Auswahl von Aufnahmepositionen. Für einen hohen Detailgrad der Punktwolke müssen viele Aufnahmen aus unterschiedlichen Perspektiven generiert werden. Die resultierenden Teilpunktwolken werden anschließend mithilfe der Positionierung des Roboters und einem Iterative Closest Point Algorithmus zu einer Punktwolke registriert.

Zusätzlich ist der Tool Center Point (TCP) des UR5-Roboterarms mit einer Fangvorrichtung ausgestattet, um das Bewegen der Sensorik auch ohne Werkzeug zu

ermöglichen. Das Werkzeug ist mit einer Teleskopstange verbunden, um an Hochstammbäumen arbeiten zu können. Die Aufhängung mithilfe eines Gelenks ermöglicht das Ausbalancieren des Werkzeugs, sodass der Roboterarm das Werkzeug leicht an den Schnittpunkt führen kann. In der folgenden Abbildung 2 ist der Roboterarm mit Sensoren und Fangvorrichtung dargestellt.

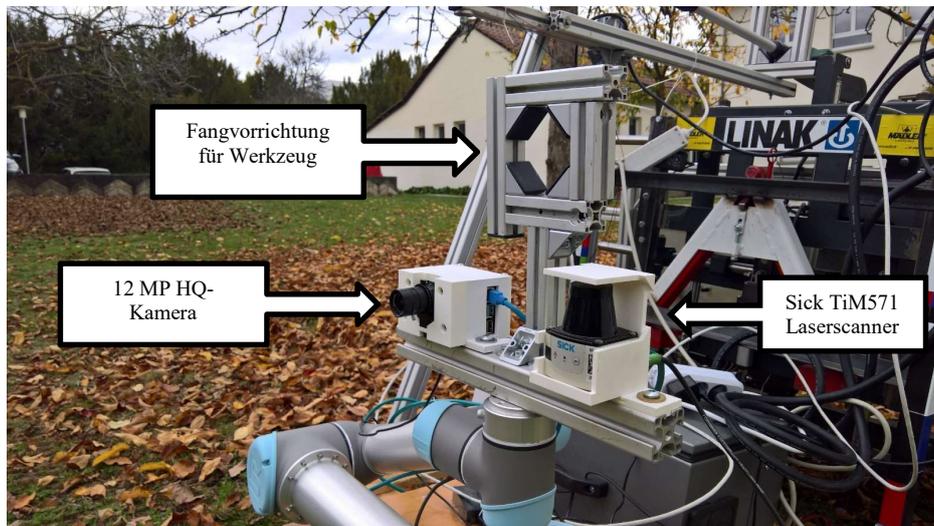


Abb. 2: TCP des UR5-Roboterarms mit Sensoranordnung und Werkzeug-Fangvorrichtung

2.2 Sensordaten-Auswertung und -Analyse

Um aus den Sensordaten die Struktur des Baumes modellieren zu können, sind nach der Datenaufnahme und Georeferenzierung der Daten mehrere Schritte notwendig. Als erstes muss der Hintergrund aus der Punktwolke segmentiert werden. Danach werden Äste, die zu klein für eine Rekonstruktion sind und vernachlässigt werden können, heraussegmentiert, sodass nur noch die relevanten Äste übrigbleiben. Als nächstes wird mithilfe der Baumposition der Leitstamm extrahiert, aus welchem die restlichen Äste herauswachsen. Anschließend können die hinterbliebenen Punkte in einzelne Segmente unterteilt werden. Diese Segmente bilden die Basis, um die Baumstruktur zu rekonstruieren. Die Schwerpunkte der einzelnen Elemente können nun als Nodes eines Graphen genutzt werden. Der daraus entstehende Graph ist die Grundlage, um Berechnungen über Winkel der einzelnen Astelemente umzusetzen. Anschließend kann aus der Verzweigung des Graphen eine Schnittempfehlung z. B. zum Ausdünnen der Baumkrone erfolgen. Die Berechnung der Schnittempfehlung erfolgt durch die Bestimmung der sich überlappenden Aststrukturen und eine vorgegebene Sollstruktur der Baumkrone. In Abbildung 3 ist beispielhaft die Vorgehensweise der Punktwolkenverarbeitung dargestellt.

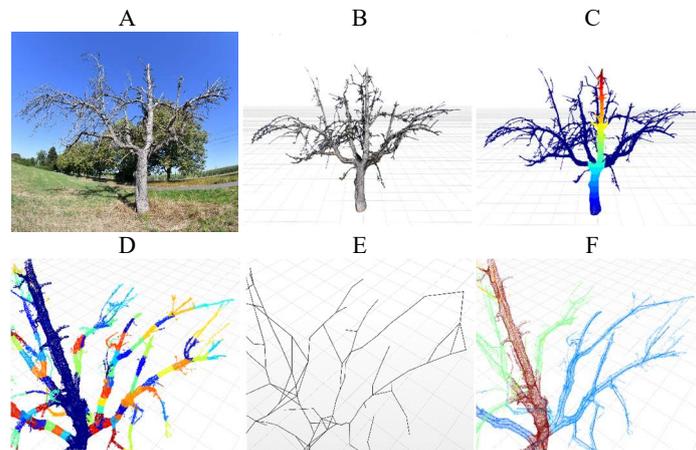


Abb. 3: Beispielhafte Extraktion der Baummerkmale aus einer Punktwolke. A – Originalbild, B – 3D-Punktwolke, C – Bestimmung des Leitstamms, D – Bestimmung der Baumsegmente, E – Graph Struktur, F – Gefilterter Graph mit Punktwolke

2.3 Bearbeitung von Schnittpunkten

Um die ermittelten Punkte zu bearbeiten, muss der Roboterarm ein passendes Werkzeug bedienen können. Dazu bietet sich der Einsatz von Teleskopwerkzeugen an, wie sie üblicherweise beim Baumschnitt eingesetzt werden. Für eine geeignete Positionierung kann bereits auf bestehende Tools aus der Industrierobotik zurückgegriffen werden. Dafür bietet ROS mit dem Package „moveit“ eine geeignete Toolbox, um Wegplanung und Kollisionsvermeidung umzusetzen. Die erste grobe Positionierung erfolgt zuerst über die fahrende Roboterplattform, anschließend durch das Positionieren des Werkzeugs mithilfe des Roboterarms. Diese Positionierung kann zusätzlich durch das Heben und Verschieben der Anbaugerätehalterung am Roboter ergänzt werden.

3 Bisherige Ergebnisse und Diskussion

Erste Tests mit dem entwickelten Prototyp zeigen, dass mithilfe der angebrachten Sensorik (Kamera und LiDAR) und Roboterarm (UR5) präzise 3D-Punktwolken von Streuobstbäumen erstellt werden können. Diese Punktwolken bieten eine ausreichende Genauigkeit, um eine Analyse der Baumstruktur mit der Bestimmung von Schnittpunkten zu ermöglichen. Der Gesamtaufbau des Roboters ist fähig, manuell Schnittpunkte anzufahren und zu bearbeiten. Dies konnte mit ersten fest einprogrammierten Abläufen umgesetzt werden. Jedoch muss für eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts eine weitere Optimierung von Werkzeug und Steuerung erfolgen, um eine geeignete Kollisionsvermeidung und Wegplanung in der Praxis umsetzen zu können. Zusätzlich

sollte der Prototyp mit einem geeigneten Sicherheitskonzept ausgestattet werden, um Gefahren für Nutzer und unbeteiligte Personen auszuschließen. Ebenso ist die Bestimmung einer geeigneten und einfach passenden Schnittempfehlung herausfordernd und wird Teil zukünftiger Forschung sein. In Zukunft könnte eine Automatisierung für den Obstbaumschnitt mithilfe von Robotik möglich sein. Ebenso ist der Einsatz des Prototyps als „Decision Support System“ denkbar, welche ungeübte Nutzer bei der Pflege unterstützen. Somit könnte Automatisierung und Robotik in Zukunft einen Beitrag zum Erhalt von biodiversen Streuobstwiesen leisten.

Danksagung

Die Autoren danken der Baden-Württemberg Stiftung für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeit im Rahmen des Eliteprogramms für Postdoktorandinnen und Postdoktoranden.

Literaturverzeichnis

- [Bo17] Botterill, Tom; Paulin, Scott; Green, Richard; Williams, Samuel; Lin, Jessica; Saxton, Valerie; Mills, Steven; Chen, Xiaoqi; u. a.: A Robot System for Pruning Grape Vines. *Journal of Field Robotics* Bd. 34 (2017), Nr. 6.
- [Ha10] Hansen, Søren; Bayramoglu, Enis; Andersen, Jens Christian; Ravn, Ole; Andersen, Nils Axel; Poulsen, Niels Kjolstad: Derivative free Kalman filtering used for orchard navigation. In: 13th international Conference on Information Fusion, 2010.
- [LS18] Long He, James Schupp: Sensing and Automation in Pruning of Tree Fruit Crops: A Review. *Agronomy* Bd. 8 (2018), Nr. 211.
- [MZL15] Mai, Chunyan; Zheng, Lihua; Li, Minzan: Rapid 3D reconstruction of fruit tree based on point cloud registration. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* Bd. 31 (2015), Nr. 2, S. 137–144.
- [M15] MLR: Streuobstkonzeption Baden-Württemberg, 2015.
- [Qu09] Quigley, Morgan; Conley, Ken; Gerkey, Brian; Faust, Josh; Foote, Tully; Leibs, Jeremy; Berger, Eric; Wheeler, Rob; u. a.: ROS: an open-source Robot Operating System. In: ICRA workshop on open source software. Bd. 3, 2009.
- [Re17] Reiser, David; Martín-López, Javier; Memic, Emir; Vázquez-Arellano, Manuel; Brandner, Steffen; Griepentrog, Hans W.: 3D Imaging with a Sonar Sensor and an Automated 3-Axes Frame for Selective Spraying in Controlled Conditions. *Journal of Imaging* Bd. 3, 2017.
- [Sa13] Sanz, R.; Rosell, J. R.; Llorens, J.; Gil, E.; Planas, S.: Relationship between tree row LIDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System. *Agricultural and Forest Meteorology* Bd. 171–172, 2013.