

Digitalisierung und Robotik für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung

Von Janine Schweier¹⁾

Viele Forschungsprojekte, Forstverwaltungen und auch Start-Ups beschäftigen sich mit dem Thema Digitalisierung in der Forstwirtschaft. Das ist gut, denn die Herausforderungen für den Wald und seine Akteure sind groß. Applikationen, welche die Datenerhebung, -verarbeitung und Entscheidungsprozesse unterstützen, werden gebraucht.

Biodiversität und vielfältige Waldeleistungen sollen langfristig erhalten und gefördert werden. Dafür bedarf es vielerorts eines adaptiven Waldbaus mit gezielter Stärkung vielfältiger Waldstrukturen, um die Resistenz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit der Wälder zu unterstützen [6]. Insbesondere die Waldverjüngung spielt hierbei eine entscheidende Rolle – oft auch verbunden mit operativen Fragestellungen der ersten Produktionsstufe sowie dem Thema Wildschutz ([2], [16]).

Zudem haben die Häufigkeit und die Intensität von Schadereignissen zugenommen. Dies ist ein weiterer Grund, auf proaktiven Waldbau zu setzen. Viele Flächen sind betroffen und es gilt, jetzt die richtigen Entscheidungen zu treffen und (schnell) zu handeln. Schadereignisse stellen die Waldeigentümer und -bewirtschaftler vor große Herausforderungen und führen zu deutlichen wirtschaftlichen Verlusten

durch Mindererlöse, Mehrkosten (Einschlag, Wiederbegründung von Kulturen, Verwaltung) sowie Schaden durch nicht absetzbares Holz und Wertzuwachs-Verlust [11]. Neben den wirtschaftlichen Verlusten führen Schadereignisse auch zu strategischen und technischen Herausforderungen. Dies zum Beispiel in Bezug auf die Organisation und Durchführung des Holzeinschlags einschließlich der Vermarktung des Holzes, der Gewährleistung der Arbeitssicherheit und der Gesundheit der Waldarbeiter, einer zeitgerechten und kosteneffizienten Verfügbarkeit von Arbeitskräften und Ausrüstung sowie einer rechtzeitigen Durchführung des Holzeinschlags zur Vermeidung einer Massenvermehrung von Borkenkäfern.

Es sind jedoch nicht nur plötzliche Schadereignisse, welche die Waldeigentümerinnen und Waldeigentümer vor Herausforderungen stellen, sondern auch die weniger offensichtlichen und schleichenden Entwicklungen, wie etwa das Eschensterben [9] oder Neophytenprobleme, die ebenfalls durch den Klimawandel begünstigt werden.

Selbst ohne die Herausforderungen des Klimawandels zu berücksichtigen, sind die Aufgaben bereits anspruchsvoll. Regionale und räumlich explizite Informationen für eine effiziente Maßnahmenplanung sind oftmals weder aktuell noch digital verfügbar. Dazu gehören z.B. digitale Geländemodelle und Oberflächenmodelle, aber auch Bestandeskarten mit Informationen über die Entwicklungsstufe und die Baumartenzusammensetzung, flächendeckende Informationen über den Standort, die Güte der Basiserschließung, die Systematik der Feinerschließung und mehr. Wünschenswert wäre, alle diese Informationen für jeden Wald digital und frei zur Verfügung zu haben, im besten Fall sogar die exakten Baumarten einschließlich Baumhöhen, Brusthöhendurchmesser, Holzqualität, Vorrats- und Sortiments-schätzung sowie Struktur und Gesundheit der Bäume.

Sowohl die strategische und langfristige Waldplanung mit vielfältigen Betriebszielen und dem wachsenden Einfluss des Klimawandels wie auch die operative und kurzfristige Planung einzelner Maßnah-



Forschungsprojekt:
Digiforest (Digital Analytics and Robotics for Sustainable Forestry)
Laufzeit: 2022 bis 2026
Projektleitung: Stefan Leutenegger, Assistenzprofessor an der TUM
Institute und Industriepartner: Smart Robotics Lab (Technische Universität München TUM); Dynamic Robot Systems (Universität Oxford); Autonomous Robots Lab (Norwegische Universität für Wissenschaft und Technologie NTNU); Robotic Systems Lab (ETH Zürich); StachnissLab (Universität Bonn); Forschungsgruppe Nachhaltige Forstwirtschaft (Eidg. Forschungsanstalt WSL); PreFor Oy; Hexagon; Moog Inc; Freie Universität Bozen
Website: digiforest.eu



men sind demnach komplex und zeitaufwendig. Sie erfordern ingenieurtechnische Fähigkeiten, waldbauliche Kenntnisse und praktische Erfahrung [4]. Es muss über den Einzelbestand hinausgedacht und die Zusammensetzung des Waldes über längere Zeit und auf einer größeren Ebene in die Planung miteinbezogen werden ([1], [13], [14]). Mit dem Aufkommen der mathematischen Programmierung und der computergestützten Berechnungen in den 1960er-Jahren konnten erste Aufgaben der Waldplanung teilweise automatisiert und seither stetig weiterentwickelt werden [4], wengleich die digitale Transformation in der Forstwirtschaft noch weit von „Industrie 5.0“ entfernt ist ([12], [7]).

Das EU-Projekt Digiforest (<https://digiforest.eu/>) mit Testflächen in Finnland und in der Schweiz ist eines der Projekte, die darauf abzielen, die Waldbewirtschaftung mittels Digitalisierung und Robotik zu unterstützen. Die Projektvision klingt einfach: Ein Roboterteam kartiert den Wald und erstellt einen digitalen Zwilling. Die Planung kann aus dem Büro gemacht werden, Arbeitsaufträge werden digital



Abb. 1: Drohne im Einsatz (hier: Leica BLK2Fly). © Bose/WSL

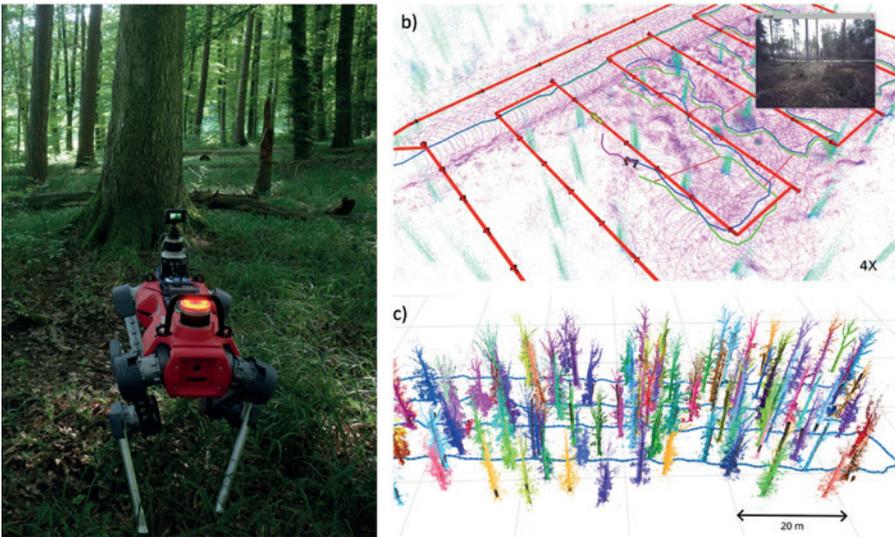


Abb. 2: **a)** Der Laufroboter ANYmal. Bildquelle Schweizer/WSL; **b)** Autonome Kartierung im Wald. Der kleine Bildausschnitt oben rechts zeigt die Sicht des Roboters. Bildquelle: Universität Oxford & ETH, siehe Mattamala et al. (2024); **c)** Die Route des ANYmal mit Karte der segmentierten Bäume. Bildquelle: Matias Mattamala/Universität Oxford



Abb. 3: Mobiler Laser Scanner. **Rechts:** der Sensor Oxford Frontier (selbstgebautes Gerät für online LiDAR SLAM). Bildquelle: Universität Oxford; **Oben:** der Sensor bei der Datenaufnahme in einem Wald im Kanton Schaffhausen. Bildquelle: Projer/WSL

verschickt und Erntemaschinen sind autonom im Einsatz. Für die Datenerhebung kommen im Projekt verschiedene boden- und luftgestützte Robotersysteme zum Einsatz. Sie alle bewegen sich autonom im Wald. Über und unter dem Kronendach fliegen verschiedene Drohnen (Abbildung 1), die für die Navigation GPS-Signale nutzen. Am Boden ist der vierbeinige Laufroboter ANYmal (Abbildung 2) unterwegs, und zusätzlich mobile Laser-Scanner (Abbildung 3), die in der Hand gehalten oder mittels Rucksack getragen werden [15].

Damit der Roboter autonom durch den Wald navigieren kann, wertet er sowohl Kamerabilder als auch die Geometrie der Umgebung mithilfe eines Lasermessgeräts aus. Dieses Gerät misst die Umgebung millimetergenau und erfasst dabei 200.000 Punkte pro Sekunde. Dementsprechend haben die vom Roboter ge-

sammelten Daten eine hohe Auflösung und enthalten präzise Informationen für die betriebliche Planung.

Anschließend werden die Daten prozessiert und daraus Karten erstellt, auch kombinierte Karten verschiedener Geräte. Das Ziel ist, möglichst viele und ganzheitliche Informationen bereitzustellen, die dann für verschiedene Fragestellungen verwendet werden. Dieser Schritt ist zwar noch aufwändig und „work in progress“, wie man umgangssprachlich sagen würde, doch es werden kontinuierlich Fortschritte erzielt, und einige Anwendungen gibt es bereits.

Im Schweizer Kanton Aargau beispielsweise stehen seit einigen Jahren flächendeckende Lidar-Daten frei zur Verfügung. Eine sorgfältig geplante und optimal angelegte Feinerschließung reduziert bekanntermaßen das Risiko von Bodenschäden

und Schäden am verbleibenden Bestand und fördert gleichzeitig die Arbeitssicherheit [3]. Daher wird empfohlen, die Erschließung digital zu erfassen. Die Waldstraßen sind systematisch für den ganzen Kanton kartiert und werden in einer GIS-Webapplikation für die Planung zur Verfügung gestellt. Für die Feinerschließung wurde eine Methode entwickelt, die erlaubt, Bodenstrukturen aus Lidar-Daten hervorzuheben (Abbildung 4, links). Auf den resultierenden Karten können die häufig gut sichtbaren Fahrspuren der Rückegassen digital nachgezeichnet werden (Abbildung 4, rechts) [3].

Eine weitere Verwendung der hochauflösenden Einzelbaumdaten, die bereits heute möglich ist, liegt in der langfristigen Planung. Die Informationen über Baumarten samt Koordinaten und Brusthöhendurchmesser können zur Initialisierung von Waldwachstumsmodellen genutzt werden

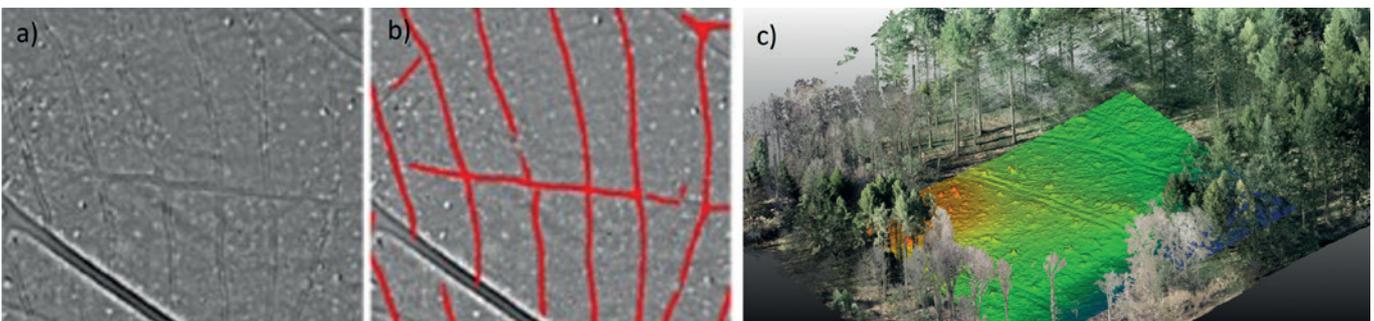


Abb. 4: **a)** Aus Lidar-Daten generierter Ausschnitt einer Bodenstrukturkarte (Eingabe ins Modell). Bildquelle: Bienz/Kt. Aargau. **b)** Bodenstrukturkarte mit Fahrspurenmaske (Resultat des Modells). Bildquelle: Bienz/Kt. Aargau. **c)** Visualisierung der Fahrspuren im digitalen Zwilling. Bildquelle: Griess/WSL

Bildquelle: Griess/WSL

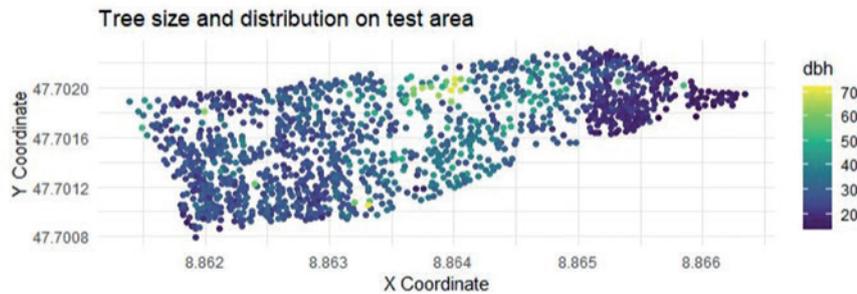


Abb. 5: Links: Durchmesserverteilung und Baumkoordinaten auf der Testfläche im Kanton Schaffhausen. Bildquelle: Blattert/WSL
Rechts: Erhebung von manuell gemessenen Referenzdaten. Bildquelle: Schweier/WSL

(Abbildung 5), etwa ForClim Version 4.1 ([5], [8]). Das erlaubt die Waldentwicklung über einen langen Zeitraum zu simulieren, um die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsstrategien und möglicher Klimaszenarien auf die verfolgten Betriebsziele abzuschätzen [14].

Wenngleich es bis zu einer digitalen Transformation der Forstdienste noch mehr Entwicklung braucht, ebenso bis zu einem autonomen Einsatz von Erntemaschinen und einem konsequenten Einsatz von Blockchain-Technologien, so funktionieren dennoch erste Ansätze. Sie unterstützen bereits heute die Waldbewirtschaftung, damit sie auch in Zukunft unsere Wälder nachhaltig bewirtschaften und Biodiversität und Waldleistungen bereitstellen kann.

Literaturverzeichnis

[1] Albert M., Hansen J. (2007): Ein Entscheidungsunterstützungssystem für die multifunktionale Forstplanung auf Landschaftsebene. *Forst und Holz* 62(12):14–18

[2] Bebi P, Leuch B. A., Bugmann H., Conedera M., Frehner M., Insinna P, Kupferschmid A. D., Lévesque M., Moos C., Muhmenthaler J., Oncelli A., Thormann J.-J., Zürcher S. (2023): Wildhuftiere und Waldverjüngung: Wenn die Zeit davonläuft. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 174(5):274–279. <https://doi.org/10.3188/szf.2023.0274>

[3] Bienz R., Freuler A. (2022): Bilderkennungssoftware für Feinerschließungen im Wald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 173(4):196–197. <https://doi.org/10.3188/szf.2022.0196>

[4] Bont L. G., Rosset C., Griess V. C., Schweier J. (2023): Neue Tools für bessere Entscheidungen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 174(6):358–361. <https://doi.org/10.3188/szf.2023.0358>

[5] Bugmann H. K. M. (1996): A Simplified Forest Model to Study Species Composition Along Climate Gradients. *Ecology* 77(7):2055–2074. <https://doi.org/10.2307/2265700>

[6] Glatthorn J., Schweier J., Streit K., Thees O., Hobi M. (2023): Adaptiver Waldbau – mit Wissen, Vorsicht und Mut. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 174(2):64–69. <https://doi.org/10.3188/szf.2023.0064>

[7] Holzinger A., Schweier J., Gollob C., Nothdurft A., Hasenauer H., Kirisits T., Häggström C., Visser R., Cavalli R., Spinelli R., Stampfer K. (2024): From Industry 5.0 to Forestry 5.0: Bridging the gap with Human-Centered Artificial Intelligence. *Curr For Rep* 10(6):442–455. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00231-7>

[8] Huber N., Bugmann H., Cailleret M., Bircher N., Lafond V. (2021): Stand-scale climate change impacts on forests over large areas: transient responses and projection uncertainties. *Ecological Applications* 31(4):e02313. <https://doi.org/10.1002/eap.2313>

[9] Langer, G., Harriehausen U., Bressemer U. (2015) Eschentriebsterben und Folgeerscheinungen. *AFZ-DerWald*, 20, 22–28.

[10] Mattamala M., Chebroli N., Casseau B., Freißmuth L., Frey J., Tuna T., Hutter M., Fallon M. (2024): Autonomous Forest Inventory with Legged Robots: System Design and Field Deployment

[11] Möhring B., Bitter A., Bub G., Dieter M., Dög M., Hanewinkel M., Graf von Hatzfeldt N., Köhler J., Ontrup G., Rosenberger R., Seintsch B., Thoma F. (2021): Schadenssumme insgesamt 12,7 Mrd. Euro: Abschätzung der ökonomischen Schäden der Extremwetterereignisse der Jahre 2018 bis 2020 in der Forstwirtschaft. *Holz-Zentralblatt* 9:155–158

[12] Müller F., Jaeger D., Hanewinkel M. (2019): Digitalization in wood supply – A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain. *Computers and Electronics in Agriculture* 162:206–218. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.002>

[13] Thrippleton T., Blattert C., Bont L. G., Mey R., Zell J., Thürig E., Schweier J. (2023a): Forstplanung in Zeiten von Klimawandel und Multifunktionalität: ein neues Werkzeug für Schweizer Forstbetriebe. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 174(1):32–39. <https://doi.org/10.3188/szf.2023.0032>

[14] Thrippleton T., Temperli C., Krumm F., Mey R., Zell J., Stroheker S., Gossner M. M., Bebi P, Thürig E., Schweier J. (2023b): Anwendung eines Entscheidungssystems für die Anpassung an Klimawandel und Störungen im Gebirgswald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 174(2):85–91. <https://doi.org/10.3188/szf.2023.0085>

[15] Wisth D., Camurri M., Fallon M. (2023): VILENS: Visual, Inertial, Lidar, and Leg Odometry for All-Terrain Legged Robots. *IEEE Trans Robot* 39(1):309–326. <https://doi.org/10.1109/TRO.2022.3193788>

[16] Zürcher-Gasser N., Frehner M., Burger T., Zürcher S., Jenal C., Kupferschmid A. D. (2023): Gutachtliche Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung unter Einbezug des Klimawandels. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 174(5):270–273. <https://doi.org/10.3188/szf.2023.0270>

Autorin:

1) Dr. Janine Schweier ist Gruppenleiterin Waldressourcen und Waldmanagement / Nachhaltige Forstwirtschaft an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL in Birmensdorf / Schweiz.