

# Entwicklung eines fernerkundungsbasierten Monitoringsystems für Streuobstwiesen in Hessen mit Fokus auf 3D-Laserscanningdaten (Projekt MOST<sup>3D</sup>)

André Große-Stoltenberg, Andreas Hanzl, Niklas Schnepel & Till Kleinebecker

## Einführung

Streuobstwiesen sind ein integraler Bestandteil der hessischen Kulturlandschaft und haben bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts das Landschaftsbild vieler Gemeinden geprägt (GESKE 2018). Sie weisen eine hohe Vielfalt an Standortbedingungen auf und tragen maßgeblich zur Biodiversität auf Landschaftsebene bei (STEFFAN-DEWENTER & LESCHKE 2003). Die hohe Artenvielfalt resultiert aus der Kombination von Grünlandnutzung und offenen Obstgehölzen. Die unterschiedlichen Alters- und Nutzungszustände, der offene Bewuchs und die zahlreichen Sonderstrukturen bieten Lebensraum sowohl für Arten des Offenlandes als auch für eher waldbundene Arten (DAHLEM et al. 2002). Obwohl Streuobstbestände einen einzigartigen Wert für die Biodiversität und verschiedene Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen haben, sind sie in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen. Gründe für diesen Rückgang sind hauptsächlich Umwandlungen in Siedlungs- und Gewerbegebiete oder in intensive landwirtschaftliche Nutzflächen wie Äcker, Intensivgrünland und Obstplantagen. Auch die verstärkte Nutzung durch private Wochenend- und Kleingartensiedlungen spielt eine Rolle (DENK & WITTIG 1999). Diese Faktoren haben dazu geführt, dass Streuobstbestände in der Roten Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands als „stark gefährdet“ eingestuft sind und der aktuelle Bestand weiterhin einen deutlichen negativen Trend aufweist (FINCK et al. 2017). In Hessen wird die Anzahl der hochstämmigen Obstbäume derzeit auf etwa 0,75 Millionen geschätzt, was einem Rückgang von bis zu 95 % im Vergleich zu den Beständen in den 1940er Jahren entspricht (BAUSCHMANN 2005). Um diesen Entwicklun-

gen entgegenzuwirken, gehören in Hessen Streuobstwiesen nach §25 des Hessischen Naturschutzgesetzes (HeNatG) zu den gesetzlich geschützten Biotopen (HeNatG 2023). Die Verbreitung und der Schutz dieser Bestände haben derzeit einen hohen politischen Stellenwert (HESSISCHER LANDTAG 2018). Der Erhalt und Neupflanzungen von Streuobstbeständen werden durch das Hessische Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflege-Maßnahmen HALM 2 gefördert (HMUKLV 2022). Streuobstbestände können auch Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie beinhalten (FRAHM-JAUDES et al. 2022) und unterliegen dann dem Verschlechterungsverbot und der Berichtspflicht. Streuobstbestände sind sowohl Teil der hessischen (z. B. im Rahmen des Naturschutz-12-Punkte-Programms der Landesregierung (HMUKLV 2018) als auch der nationalen Biodiversitätsstrategie (BANNAS et al. 2017). Infolgedessen haben sich in Hessen verschiedene Initiativen zum Schutz der Bestände entwickelt, und im Zuge der landesweiten hessischen Biotopkartierung wurden erstmals alle landschaftsprägenden, flächigen Streuobstbestände erfasst, insgesamt mehr als 17 000 Einzelbestände (GESKE 2018). Angesichts der großen Anzahl und der verstreuten Verteilung der Flächen in ganz Hessen ist jedoch ein effizientes Monitoring erforderlich, um einerseits Veränderungen der Flächen zeitnah zu erfassen und andererseits den Pflegezustand der Streuobstwiesen anhand zahlreicher quantitativer und qualitativer Kriterien zu bewerten. Das Hauptanliegen des aus dem Biodiversitätsforschungsfonds des Hessisches Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) finanzierten Projekts MOST<sup>3D</sup> ist es zu testen, inwiefern hessenweit verfügbare 3D-Laserscanningdaten einen Beitrag für ein landesweites Monitoring leisten können.

## Potential der Fernerkundung zum Monitoring von Streuobstwiesen

Die Anwendung von Fernerkundungsmethoden besitzt ein großes Potential, um quantitative und qualitative Veränderungen von Lebensräumen zu erfassen (LUCAS et al. 2015, OLDELAND et al. 2017, GROSSE-STOLTENBERG et al. 2018). Ein bedeutender Vorteil von fernerkundlichen Ansätzen besteht darin, dass sie die Erfassung umfangreicher und präziser Geoinformationen mit regelmäßigen Wiederholungen ermöglichen. Bisher wurden jedoch nur wenige Studien zur Verwendung von flugzeuggestützten Laserscanning- oder auch LiDAR-(Light Detection and Ranging) Daten im Zusammenhang mit mitteleuropäischen Streuobstwiesen durchgeführt. Dabei könnte ein fernerkundungsbasiertes Monitoringtool zur Erfüllung der Berichtspflichten in Hessen beitragen, und die Planung des Biotopverbunds sowie konkreter Maßnahmen zum Schutz und zur Verbesserung des Zustands von Streuobstwiesen unterstützen. Beispielsweise könnten per Fernerkundung die Bestandesdichte, der Pflegezustand und die Altersklassenverteilung abgeschätzt werden, was wiederum als Grundlage für die Berechnung des zeitlichen und finanziellen Pflegeaufwands dienen kann. Darüber hinaus eignen sich LiDAR-Daten von Streuobstwiesen hervorragend für die Visualisierung und können zur Kommunikation über Streuobstwiesen eingesetzt werden, sei es auf Websites, im Rahmen öffentlicher Veranstaltungen oder als Teil von Fortbildungen. Damit stellen die LiDAR-Fernerkundung ein hervorragendes Beispiel für den Einsatz neuer Technologien zum Schutz traditioneller Kulturlandschaften dar (Abb. 1).

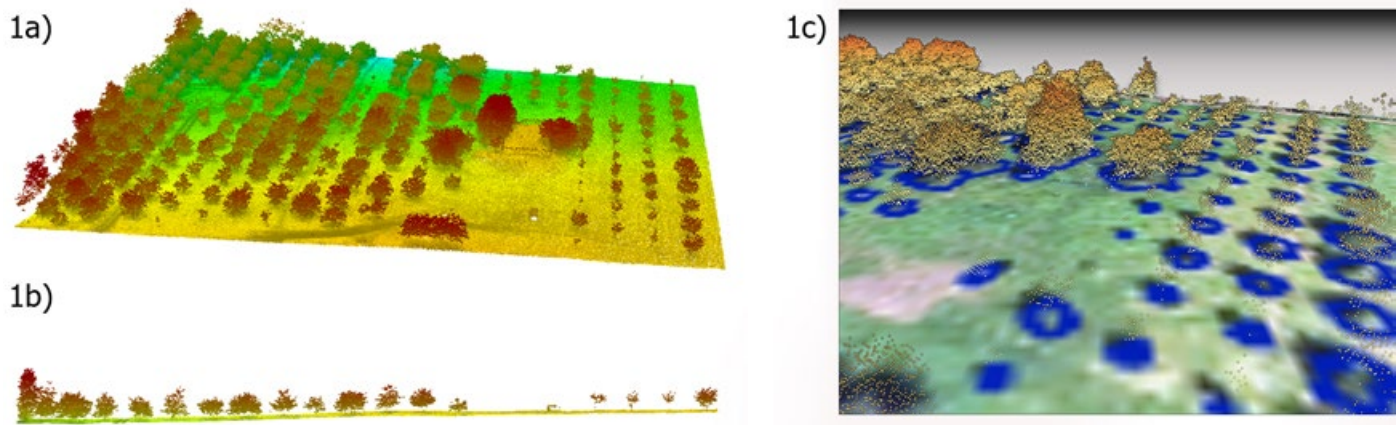


Abb. 1: Digitale, flugzeuggestützte LiDAR-Punktwolke einer Streuobstwiese in Hofheim am Taunus, Main-Taunus-Kreis, eingefärbt nach Höhe a) in der Schrägsicht, b) im Querschnittsprofil und c) projiziert auf das entsprechende digitale Orthofoto und ergänzt um die Baumkronensegmente (in blau) als Ergebnis einer automatisierten Geodatenanalyse (LiDAR-Daten und Orthofotos: © HVBG)

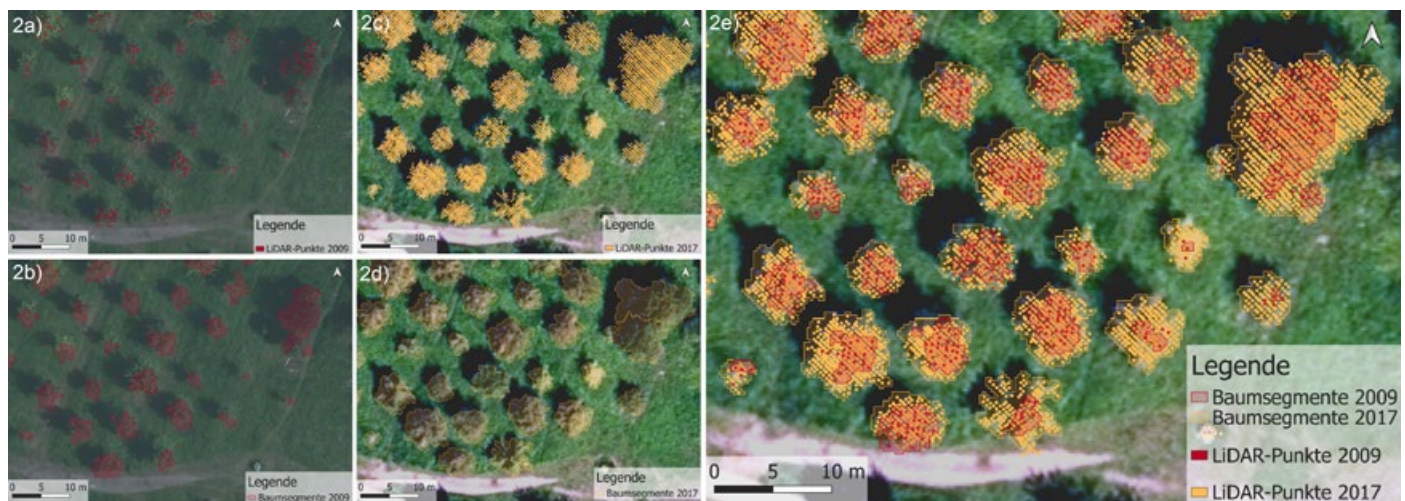


Abb. 2: Digitale, flugzeuggestützte LiDAR-Punktwolken und Baumkronensegmente auf einer Streuobstwiese in Hofheim am Taunus, Main-Taunus-Kreis, auf Basis der ersten hessenweiten LiDAR-Flugkampagne (a, b), auf Basis der zweiten hessenweiten Flugkampagne (c, d) und die entsprechende Veränderungsanalyse (e) (LiDAR-Daten und Orthofotos: © HVBG)

## Datengrundlage in Hessen

Im Rahmen des Projekts MOST<sup>3D</sup> liegt der Hauptfokus auf öffentlich verfügbaren, flugzeuggestützten Fernerkundungsdaten der Hessischen Landesvermessung (s. a. TAMM & WEISSBECKER 2021). Diese Daten umfassen aktuelle und historische digitale Luftbilder sowie LiDAR-Daten. Eine multitemporale Luftbildauswertung für die Schwäbische Alb ergab beispielsweise eine jährliche Flächenverlustrate von 0,62 % zwischen 1968 und 2009 (PLIENINGER et al. 2015). Solche Daten, die auch für das Land Hessen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung vorliegen (HVBG 2020), werden bereits in manuellen Auswertungsverfahren wie der

„Luftbildinterpretation Streuobst und Gehölze“ auf Basis digitaler Orthofotos (HLNUG 2017) sowie in der Hessischen Lebensraum- und Biotopkartierung (HLBK) zur Abgrenzung von Streuobstobjekten auf Basis von Luftbildern eingesetzt (FRAHM-JAUDES et al. 2022). Neben der quantitativen Erfassung solcher Landnutzungsänderungen spielen gerade für Streuobstwiesen auch qualitative Veränderungen eine Rolle, und flächenhafte Informationen sind für den behördlichen Naturschutz von großem Wert. Charakteristika, die sich für die Bewertung von Streuobstbeständen eignen, sind unter anderem Strukturparameter, wie Baumhöhe (korrespondiert mit dem Alter), Baumdichte oder Kronendurchmesser. Zur Erfassung sol-

cher häufig dreidimensionalen Strukturparameter eignen sich insbesondere Laserscanningdaten (LEFSKY et al. 2002). Flugzeuggestützte LIDAR-Daten wurden in Hessen in zwei Kampagnen landesweit erfasst (HVBG 2020). Bisher wird das Potential dieser Daten aber nach unserem Kenntnisstand nur in Ansätzen genutzt. Zum Beispiel wird in einer digitalen Handreichung für Forstbedienstete in Hessen auf die Möglichkeit der Identifikation von Bodendenkmälern mit Hilfe aus LiDAR-Daten generierten digitalen Geländemodellen hingewiesen (SCHADE-LINDIG & STEINBRING 2018). Automatisierte Auswerteverfahren, die Strukturparameter der Vegetation ableiten, wurden bisher noch nicht entwickelt.

## Forschungsansätze des Projekts MOST<sup>3D</sup>

LiDAR-Daten könnten also zur Erfassung der Vegetationsstruktur auf Streuobstwiesen verwendet werden. Zum Beispiel wäre es möglich, Einzelbäume vergleichend für verschiedene Zeitschnitte zu detektieren und deren Baumhöhen sowie Kronendimensionen zu berechnen (ERDODY & MOSKAL 2010). Basierend auf den Einzelbaumdaten sowie den Flächenberechnungen können dann quantitative Parameter, wie Bestandesdichte oder auch Verbuschung, räumlich explizit abgeleitet werden. Die frühzeitige Detektion einer negativen Bestandesentwicklung durch Überalterung und Verbuschung, die Identifikation von Zusammensetzung und Struktur von Streuobstbeständen in Bezug auf Art und Pflegezustand sind einige der Bereiche, in denen LiDAR-Fernerkundungsdaten ein für Streuobstwiesen noch nicht ausgeschöpftes Potential besitzen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass frei verfügbare Fernerkundungsdaten großes Potential haben, Veränderungen in Quantität und Qualität gefährdeter und geschützter Biotoptypen und insbesondere von Streuobstwiesen zu erfassen. Neue Technologien können hier somit einen wesentlichen Beitrag zur Hessischen Biodiversitätsstrategie leisten. In diesem Artikel sollen beispielhaft erste vorläufige Ergebnisse des Projekts MOST<sup>3D</sup> präsentiert werden (1) zur Einzelbaumdetektion, (2) zur Ableitung von Größenparameter (Baumhöhe und Kronendimension) und deren Veränderungen zwischen den zwei LiDAR-Kampagnen, und (3) zur Verbuschung. Ergänzend dazu werden (4) erste Ergebnisse der manuellen Interpretation der historischen digitalen Luftbilder (1952-1967) zur historischen Verbreitung der Streuobstwiesen im Vergleich zu heute gezeigt.

## Einzelbaumdetektion

Einzelne Bäume sind auf den Streuobstwiesen in den LiDAR-Daten deutlich erkennbar (Abb. 1). Das Hauptziel des Projekts MOST<sup>3D</sup> ist daher die semi-

automatisierte Einzelbaumdetektion auf Basis der landesweit verfügbaren LiDAR-Daten. Dazu wird zunächst aus den Rohdaten, also aus der LiDAR-Punktwolke, ein Digitales Geländemodell (DGM) basierend auf Bodenpunkten und ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) basierend auf allen Punkten gerechnet. Dies ähnelt den Produkten, die von der HVBG landesweit zur Verfügung gestellt werden (HVBG 2023a). Für alle Nichtbodenpunkte kann dann der Abstand zum Gelände bestimmt werden. Somit ist für jeden Punkt die Höhe bekannt, und es kann ein sogenanntes normalisiertes Oberflächenmodell (nDOM) berechnet werden, also ein Oberflächenmodell ohne Terraineffekte zur Ableitung der Höhe von Objekten wie z. B. Baumkronen. Das nDOM ist dann die Grundlage zur Identifikation und Segmentierung der Baumkronen.

In Abbildung 2 ist das Ausschneiden der Baumkronen am Beispiel einer Streuobstwiese in Hofheim am Taunus auf Basis der normalisierten LiDAR-Punktwolke dargestellt. Diese Segmentierungen werden landesweit für über 21 000 Streuobstbestände nach HLNUG (2017) für beide Laserscanning-Kampagnen durchgeführt. Die Segmentierung auf Basis der LiDAR-Basis stimmen nach erster Sichtung gut mit den digitalen Luftbildern überein (Abb. 2). Zur Validierung der automatisierten Segmentierung werden über ganz Hessen verteilt Streuobstbestände per manueller Bildinterpretation der digitalen Luftbilder kartiert. Da die automatisierten Kartierungen für zwei Zeitpunkte verfügbar sind, lassen sich auch Veränderungsanalysen für jeden Streuobstbestand durchführen, um das Baumwachstum zu quantifizieren (Abb. 2e).

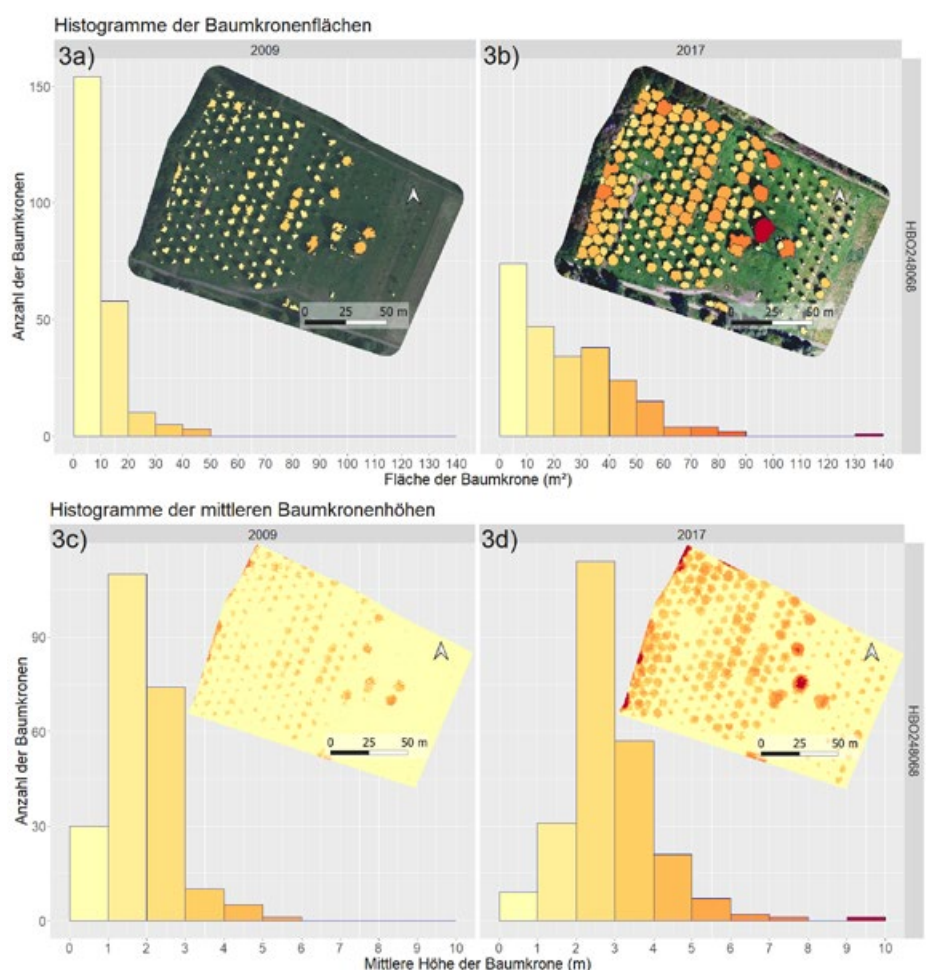


Abb. 3: Histogramme der Baumkronen auf einer Streuobstwiese in Hofheim am Taunus, Main-Taunus-Kreis, basierend auf der Baumkronenfläche für die Jahre a) 2009 und b) 2017 sowie basierend auf der mittleren Baumhöhe für die Jahre c) 2009 und d) 2017 abgeleitet aus flugzeuggestützten LiDAR-Daten (LiDAR-Daten und Orthofotos: © HVBG)

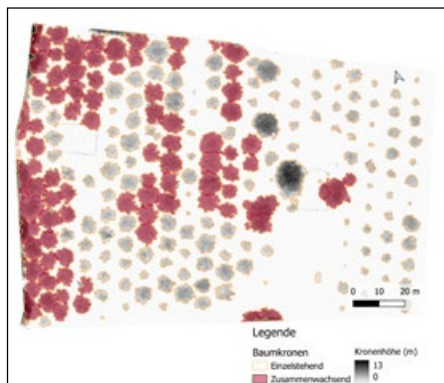


Abb. 4: Detektion von zusammenwachsenden Baumkronen („Kronenverbuchung“) auf Basis der per flugzeuggestütztem LiDAR identifizierten Kronensegmente der Einzelbäume einer Streuobstwiese in Hofheim am Taunus, Main-Taunus-Kreis (LiDAR-Daten: © HVBG)

### Ableitung von Größenparametern und Strukturanalyse

Auf Basis der Kronensegmente lassen sich für jeden Streuobstbestand flächenscharf für beiden Laserscanning-Kampagnen zusätzliche Parameter zur Vegetati-

onsstruktur ableiten wie zum Beispiel die Baumkronenfläche (Abb. 3) oder die Baumhöhe (Abb. 4) als Indikatoren für das Baumalter. So lässt sich für die Beispielsweise in Hofheim am Taunus an Hand von Histogrammen zeigen, dass der Baumbestand zwischen 2009 und 2017 gealtert und zugewachsen ist (Abb. 3, 4). Einzelbäume mit besonders großem Zuwachs lassen sich klar identifizieren. Im normalisierten Digitalen Oberflächenmodell (Abb. 4) lässt sich auch ein Zuwachsen der Wiese im Nordwesten beobachten. Potentiell kann für jeden Baum bestimmt werden, ob er bezüglich Kronenfläche und Höhe zuwächst, stagniert, oder ob es negative Entwicklungen z.B. durch Absterben oder Entnahme gibt. Weitere potentielle Auswertungsmöglichkeiten auf Baumebene, deren Ableitung aus den Punktwolken getestet werden soll, sind die Bestimmung des Kronenansatzes, der Entwicklungsphase und des Pflegezustands der Krone, wobei hierfür wahrscheinlich noch detailliertere Aufnahmen mit Drohnen oder mobilen Laserscannern notwendig sein werden. Zudem wird ak-

tuell getestet, inwiefern die LiDAR-basierten Kronenflächen und Baumhöhen mit Feldmessungen zum Stammdurchmesser korrelieren, um noch detaillierter auf die Altersstruktur der Bestände schließen zu können.

### Detektion von Verbuchung

Auf Bestandsebene ist die Verbuchung ein wichtiger qualitativer Parameter zum Zustand von Streuobstwiesen. Im Projekt MOST<sup>3D</sup> wird einerseits die Kronenverbuchung, also das Zusammenwachsen von Baumkronen (Abb. 4), und die Verbuchung in Bodennähe, z.B. durch das Aufkommen von Gebüsch, betrachtet (Abb. 5). Bezogen auf die Kronenverbuchung ist die Annahme, dass diejenigen Abschnitte einer Streuobstwiese, in denen die Einzelbäume zu Gehölzen zusammenwachsen, eine bestimmte räumliche Struktur des Kronenraums besitzen, die sich von den gepflegten, auseinanderstehenden Einzelbäumen unterscheidet und die sich aus den LiDAR-Daten ableiten lässt. Hierzu

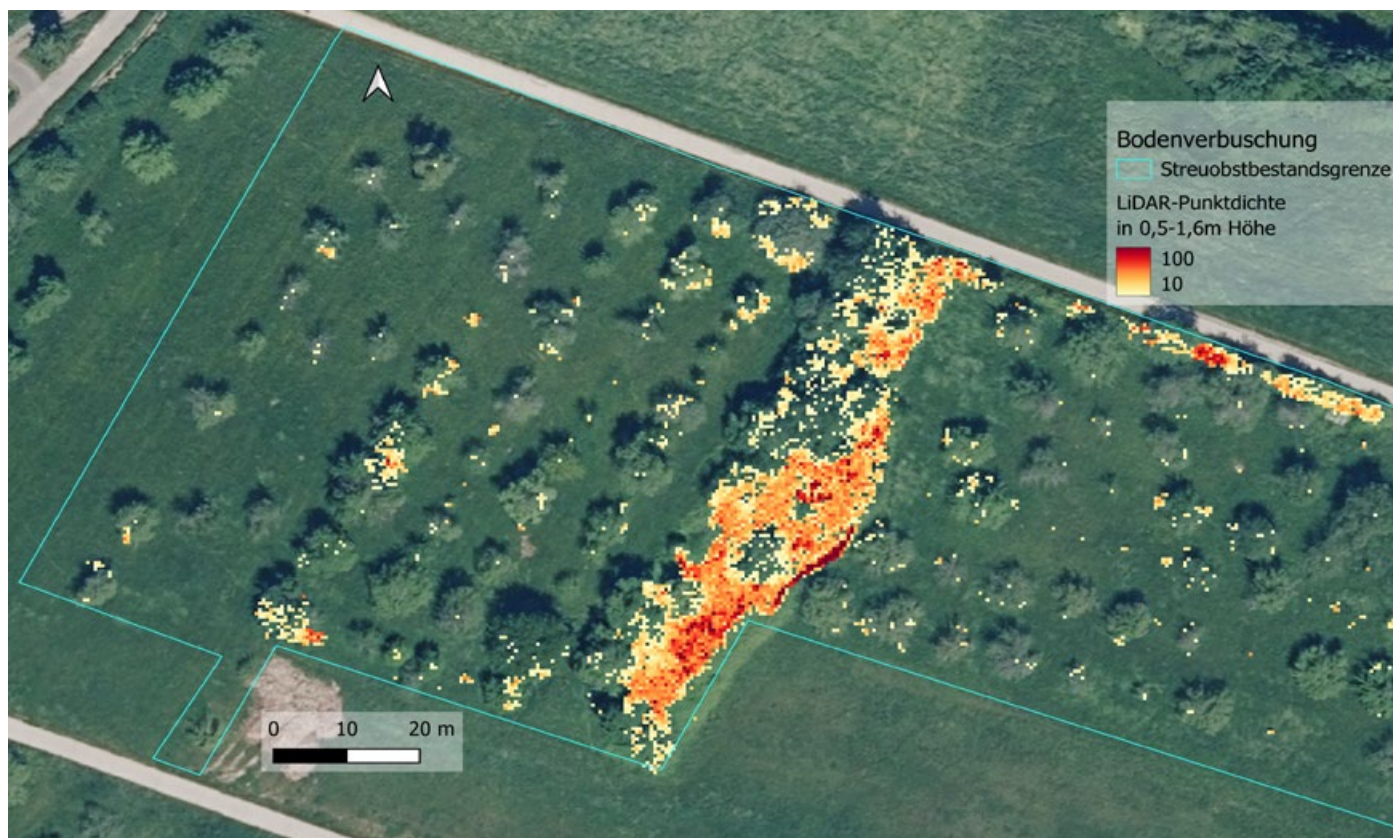
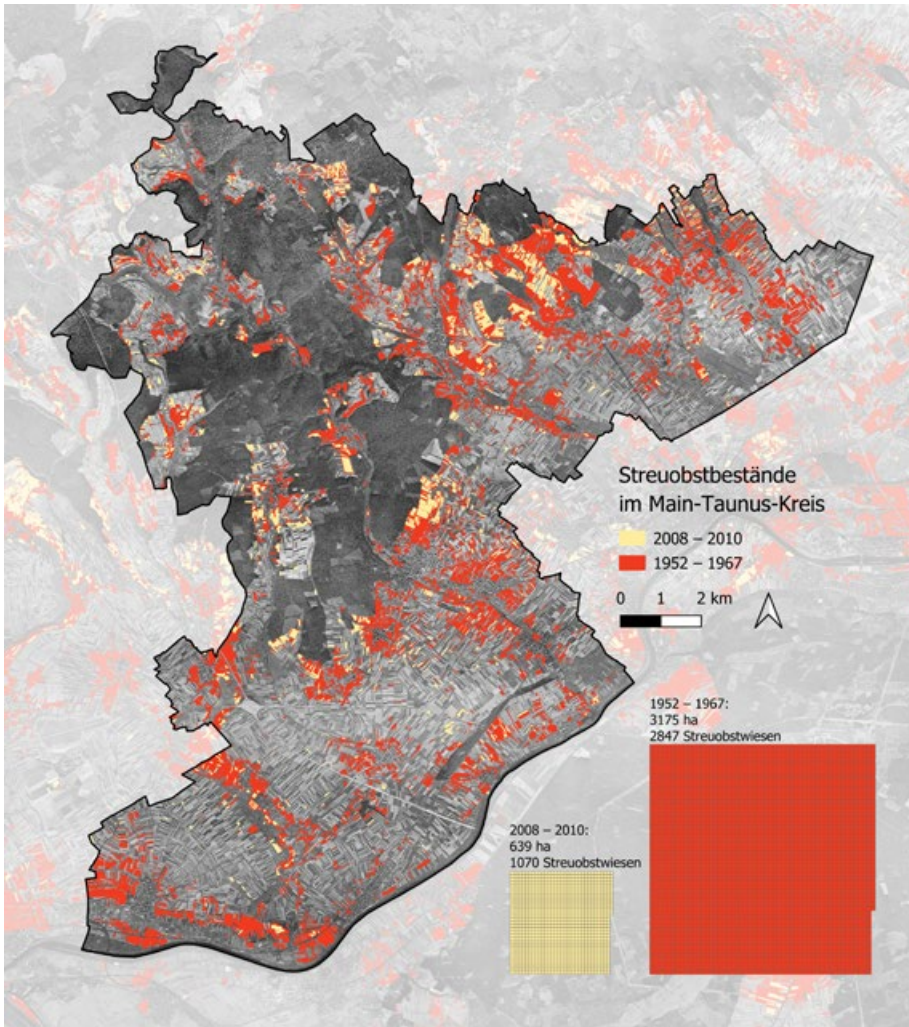


Abb. 5: Detektion von bodennaher Verbuchung durch eine höhenbasierte Filterung der flugzeuggestützten LiDAR-Punktwolke auf einer Streuobstwiese bei Kelkheim (Taunus), Main-Taunus-Kreis. Abgrenzung der Streuobstwiese nach HLNUG (2017) (LiDAR-Daten: © HVBG)



**Abb. 6:** Aktuelle Vorkommen von Streuobstwiesen im Main-Taunus-Kreis 2008-2010 auf Basis der „Luftbildinterpretation Streuobst und Gebölze“ des HLNUG (2017) und historische Vorkommen 1952 bis 1967 auf Basis manueller Bildinterpretation der landesweit verfügbaren digitalen historischen Luftbilder (Historische Luftbilder: © HVBG)

werden aktuell Indikatoren entwickelt. Bezogen auf die Verbuschung in Bodennähe können die normalisierten LiDAR-Punktwolken nach der Höhe gefiltert werden, so dass die Vegetation in Bodennähe außerhalb der Baumkronen gezielt betrachtet werden kann (Abb. 5). Wie bei der Einzelbaumdetektion wird auch die Detektion der Verbuschung basierend auf manueller Bildinterpretation validiert werden.

## Analyse historischer Luftbilder

Über die Veränderungsanalysen basierend auf den 3D-Laserscanningdaten hinaus untersucht MOST<sup>3D</sup> auch die

historische Verbreitung der Streuobstbestände in Hessen. Hierzu werden angelehnt an die Erfassung durch HLNUG (2017) Streuobstwiesen auf Basis der georeferenzierten historischen Luftbilder von 1952 bis 1967 (HVBG 2023b) landesweit per manueller Bildinterpretation kartiert. Erste Ergebnisse sollen hier am Beispiel des Main-Taunus-Kreises (MTK) präsentiert werden (Abb. 6). Die Gesamtanzahl der Streuobstbestände hat sich im MTK von 2847 in den 1950er Jahren auf 1070 Bestände im Jahr 2010 reduziert. Also sind nur noch etwas mehr als ein Drittel der Flächen vorhanden. Bezogen auf die Gesamtfläche ist der Rückgang jedoch weit negativer zu beurteilen. Hier ist ein Rückgang von ursprüng-

lich 3175 ha auf 639 ha festzustellen. Somit sind nur noch ca. 20 % der Ursprungsfläche vorhanden. Diese Kartierdaten ermöglichen weitere Analysen, zum Beispiel zur Identifikation älterer Bestände und zur räumlichen Analyse der Gründe für den Rückgang und werden nun auf landesweiter Ebene ausgewertet.

## Fazit

Die landesweit verfügbaren Laserscanningdaten haben ein großes Potential zum Monitoring von Streuobstwiesen. Viele relevante Eigenschaften auf Einzelbaum- und Bestandesebene lassen sich relativ gut von den Fernerkundungsdaten der hessischen Landesvermessungsdaten ableiten. Hierzu gehören besonders die Anzahl und Position der Bäume, Höhe und Größe der Baumkronen sowie Verbuschungstendenzen. Auch die frei verfügbaren historischen Luftbilder eignen sich sehr gut zur räumlichen Analyse von Entwicklungstendenzen auf Landesebene. Sämtliche Produkte werden landesweit verfügbar sein, und sind somit z. B. für jeden Landkreis abrufbar. Die im Projekt erzeugten Geodaten bilden eine sehr gute Grundlage für Folgeanalysen, zum Beispiel auf Basis der regelmäßig erfassten digitalen Luftbilder der Landesvermessung, mittels Drohnen oder mobiler Laserscanner für kleinräumige Studien oder mittels Satellitendaten für großräumige Untersuchungen.

## Danksagung

Unser Dank gilt dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) für die Förderung des Projekts durch den Biodiversitätsforschungsfonds, der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG) für die Bereitstellung der digitalen Orthophotos und der LiDAR-Daten, Aykut Aksoy für die manuelle Bildinterpretation der historischen Luftbilder und unseren Studierenden für ihre tatkräftige Unterstützung innerhalb ihrer Hilfskrafttätigkeiten und Abschlussarbeiten.

## Kontakt

Dr. André Grosse-Stoltenberg<sup>1,2</sup>  
Andreas Hanzl<sup>1</sup>  
Niklas Schnepel<sup>1</sup>  
Prof. Dr. Till Kleinebecker<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Justus-Liebig-Universität Gießen  
Institut für Landschaftsökologie und  
Ressourcenmanagement  
Heinrich-Buff-Ring 26-32  
35392 Gießen

<sup>2</sup>Justus-Liebig-Universität Gießen  
Zentrum für internationale Entwi-  
cklungs- und Umweltforschung (ZEU)  
Senckenbergstrasse 3  
35390 Gießen

Andre.Grosse-Stoltenberg@umwelt.  
uni-giessen.de  
Andreas.Hanzl@umwelt.uni-giessen.de  
Schnepel.Niklas@gmail.com  
Till.Kleinebecker@umwelt.uni-giessen.de

## Literatur

BANNAS, L.; LÖFFLER, J.; RIECKEN, U. (2017): Die Umsetzung des länderübergreifenden Biotopverbands - rechtliche, strategische, planerische und programmatische Aspekte. BfN-Skripten 475: 1-110.

BAUSCHMANN, G. (2005): Untersuchungen über die Vogelwelt dreier unterschiedlich strukturierter Streuobstgebiete im mittleren Hessen. Beitr. Naturk. Wetterau 11: 137-150.

DAHLEM, R.; DEHE, M.; ENGLER, C.; FIX, K.; HAGEBÖLLING, R.; HEIN, K.; LENGERT, T.; MUSCHE, F.; SCHIERENBECK, J.; SIMON, L.; WEICKEL, J. (2002): Streuobstwiesen - Ökologische Bedeutung, Pflege, Nutzung, Förderprogramm. Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LfUG). 52 S.

DENK, M.; WITTIG, R. (1999): Die Vegetation der Streuobstwiesen im Main-Taunus-Kreis. Bot. Natursch. Hessen 11: 11-40.

ERDODY, T. L.; MOSKAL, L. M. (2010): Fusion of LiDAR and imagery for estimating forest canopy fuels. Remote Sens. Environ. 114: 725-737. DOI: 10.1016/j.rse.2009.11.002

FINCK, P.; HEINZE, S.; RATHS, U.; RIECKEN, U.; SSYMANK, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotop-typen Deutschlands. Dritte fortgeschriebene Fasung. Natursch. Biol. Vielf. 156: 1-637.

FRAHM-JAUDES, E.; BRAUN, H.; ENGEL, U.; GÜMPEL, D.; HEMM, K.; ANSCHLAG, K.; BÜTEHORN, N.; MAHN, D.; WUDE, S. (2022): Hessische Lebensraum- und Biotopkartierung (HLBK) – Kartieran-leitung. Naturschutzskripte 8: 1-501. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/naturschutz/Lebensraume\\_und\\_Biotopkartierungen/HLBK\\_2022\\_Informationen\\_Karten/Anleitung\\_HLBK\\_220511\\_Web\\_DS\\_final.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/naturschutz/Lebensraume_und_Biotopkartierungen/HLBK_2022_Informationen_Karten/Anleitung_HLBK_220511_Web_DS_final.pdf)

GESKE, C. (2018): Streuobstwiesen in Hessen – ein Landschaftselement mit agrarpolitischer und ökonomischer Geschichte. Jahrb. Natursch. Hessen 17: 66-72.

GROSSE-STOLTENBERG, A.; HELLMANN, C.; THIELE, J.; WERNER, C.; OLDELAND, J. (2018): Early detection of GPP-related regime shifts after plant invasion by integrating imaging spectroscopy with airborne LiDAR. Remote Sens. Environ. 209: 780-792. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.038

HENatG (HESSISCHES GESETZ ZUM SCHUTZ DER NATUR UND ZUR PFLEGE DER LANDSCHAFT) (2023): Gesetz vom 25.5.2023 GVBl. Nr. 18, 7.6.2023 S.379-400.

HLNUG (HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE) (2017): Luftbildinterpretation Streuobst und Gehölze. [https://natureg.hessen.de/resources/recherche/Themeninfo/Metainfo\\_Streuobst.pdf](https://natureg.hessen.de/resources/recherche/Themeninfo/Metainfo_Streuobst.pdf)

HESSISCHER LANDTAG (2018): Kleine Anfrage der Abg. Hammann (Bündnis 90/Die Grünen) vom 5.2.2018 betreffend Streuobst: Verbreitung, Vielfalt, Schutz und Förderung in Hessen und Antwort der Ministerin für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Drucksache 19/6033. 10 S. <http://starweb.hessen.de/cache/DRS/19/3/06033.pdf>

HMU KL V (HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ) (2018): 12-Punkte-Programm Naturschutzkampagne Hessen: Für Natur. Für Vielfalt. Für uns. [https://biologischevielfalt.hessen.de/files/downloads/20181204-NSK\\_aktualisiert\\_12-Punkte-Programm.pdf](https://biologischevielfalt.hessen.de/files/downloads/20181204-NSK_aktualisiert_12-Punkte-Programm.pdf)

HMU KL V (HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ) (2022): Hessisches Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflege- Maßnahmen (HALM 2). 65 S. [https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2023-01/richtlinien\\_halm2\\_reinschrift\\_15.12.2022\\_final\\_mit\\_unterschriftbarrierefrei.pdf](https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2023-01/richtlinien_halm2_reinschrift_15.12.2022_final_mit_unterschriftbarrierefrei.pdf)

HVBG (HESSISCHE VERWALTUNG FÜR BODENMANAGEMENT UND GEOINFORMATION) (2020): Landesweites Laserscanning Hessen 2. 2 S. [https://hvb.g.hessen.de/sites/hvb.g.hessen.de/files/2022-09/landesweites\\_laserscanning\\_hessen\\_2.pdf](https://hvb.g.hessen.de/sites/hvb.g.hessen.de/files/2022-09/landesweites_laserscanning_hessen_2.pdf)

HVBG (HESSISCHE VERWALTUNG FÜR BODENMANAGEMENT UND GEOINFORMATION) (2023a): 3D-Daten. <https://hvb.g.hessen.de/landesvermessung/geotopographie/3d-daten>

HVBG (HESSISCHE VERWALTUNG FÜR BODENMANAGEMENT UND GEOINFORMATION) (2023b): Historische Digitale Orthofotos. <https://www.geoportal.hessen.de/map?WMC=2217>

LEFSKY, M. A.; COHEN, W. B.; PARKER, G. G.; HARDING, D. J. (2002): Lidar remote sensing for ecosystem studies: Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists. BioScience 52(1): 19-30. DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0019:LRSFE-S]2.0.CO;2

LUCAS, R.; BLONDA, P.; BUNTING, P.; JONES, G.; INGLADA, J.; ARIAS, M.; KOSMIDOU, V.; PETROU, Z. I.; MANAKOS, I.; ADAMO, M.; CHARNOCK, R.; TARANTINO, C.; MÜCHER, C. A.; JONGMAN, R. H. G.; KRAMER, H.; ARVOR, D.; HONRADO, J. P.; MAIROTA, P. (2015): The Earth Observation Data for Habitat Monitoring (EODHaM) system. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 37: 17-28. DOI: 10.1016/j.jag.2014.10.011

OLDELAND, J.; GROSSE-STOLTENBERG, A.; NAF-TAL, L.; STROHBACH, B. J. (2017): The Potential of UAV Derived Image Features for Discriminating Savannah Tree Species. In: DÍAZ-DELGADO, R.; LUCAS, R.; HURFORD, C. (Hrsg.): The Roles of Remote Sensing in Nature Conservation. Cham. S. 183-201.

PLIENINGER, T.; LEVERS, C.; MANTEL, M.; COSTA, A.; SCHAICH, H.; KUEMMERLE, T. (2015): Patterns and Drivers of Scattered Tree Loss in Agricultural Landscapes: Orchard Meadows in Germany (1968-2009). PLoS ONE 10(5). DOI: 10.1371/journal.pone.0126178

SCHADE-LINDIG, S.; STEINBRING, B. (2018): Bodendenkmäler unter Wald im LiDAR-Scan. Digitale Handreichung für Forstbedienstete. Themen der hessenAR-CHÄOLOGIE 6. DOI: 10.23787/9783898227063

STEFFAN-DEWENTER, I.; LESCHKE, K. (2003): Effects of habitat management on vegetation and above-ground nesting bees and wasps of orchard meadows in Central Europe. Biodivers. Conserv. 12: 1953-1968. DOI: 10.1023/A:1024199513365

TAMM, A.; WEISSBECKER, M. (2021): Die Sicht aus dem All – Fernerkundung im Naturschutz in Hessen. Jahrb. Natursch. Hessen 20: 167-168.