

Ermittlung der Streuobstbestände Baden-Württembergs durch automatisierte Fernerkundungsverfahren

STEFAN BORNGRÄBER, ALFONS KRISMANN UND KLAUS SCHMIEDER

Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie, FG Landschaftsökologie und Vegetationskunde 320 A, August-von-Hartmann Str. 3, 70599 Stuttgart

Angenommen zur Veröffentlichung in Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg 81, LUBW 2020

Zusammenfassung	2
1 Hintergrund	2
2 Methoden	3
Übersicht	3
Photogrammetrische Aufnahmen als Datengrundlage	4
Unterschiede der 2018 verwendeten photogrammetrischen Daten zu den 2008 verwendeten Laser-Daten	4
Aufbereitung der Daten für die Klassifikation	5
Klassifikation von Gehölztypen	5
Klassifikationsparameter	6
Klassifikation von Streuobstbäumen mittels ArcGIS	7
Validation der Streuobstklassifikation mittels Felddatenerhebung	9
3 Ergebnisse	10
Validation der Klassifikationsgüte	10
Ermittlung der Anzahl der Streuobstbäume in Baden-Württemberg 2012–2015 unter Berücksichtigung der Validation	10
Anzahl und Dichte der Streuobstbäume auf Landkreisebene	10
Vergleich der Erhebungen von 2018 und 2008	12
4 Diskussion	13
Einordnung der Ergebnisse	13
Validation der Fernerkundung	13
Einsatz photogrammetrischer Luftbilder	14
Verwendung des ATKIS-DLM	14
5 Schlussfolgerungen für die Praxis	15
6 Literatur und Quellen	16

Zusammenfassung

Die von der LUBW beauftragte landesweite Erhebung der Streuobstbestände kommt zu dem Ergebnis, dass es landesweit ca. 7,1 Mio. Streuobstbäume gibt. Die Studie basiert auf der Identifizierung und Abgrenzung aller im Offenland außerhalb von Wald und Siedlung stehenden Streuobstbäume mittels halbautomatisierten Verfahren der Fernerkundung. Die hierfür genutzten digitalen Oberflächenmodelle wurden mit Hilfe spezieller Software aus photogrammetrischen Luftbilddaten (Farbbilder mit Infrarotkanal aus den Jahren 2012–2015) erzeugt. Auf Basis dieser Fernerkundungsdaten wurden anhand unterschiedlicher Klassen Einzelbäume abgegrenzt und Streuobstbäume identifiziert. Einzelbäume wurden dabei in einer Höhe von 2–30 m erfasst.

Zur Überprüfung des Fernerkundungsverfahrens wurden 2018 Kartierungen auf 13 Stichprobenflächen (1 km²) durchgeführt. Daraus wurde die Klassifikationsgüte ermittelt. Danach wurden 987 (21%) Streuobstbäume in der finalen Klassifikation nicht als solche klassifiziert. Gerade Jungbäume sind mittels der hier genutzten Verfahren nur sehr schwer zu ermitteln, weshalb es zu einer entsprechenden Unterschätzung des Streuobstbestandes kommt. Von den 4.704 im Feld kartierten Bäumen konnten mittels Fernerkundung 76% (3.572) korrekt als Streuobstbäume erkannt werden. Dagegen wurden 24% (1.128) fälschlicherweise als Streuobstbäume klassifiziert, wobei hier vor allem Artefakte, beispielsweise durch Stromtrassen, als Fehlerquellen eine Rolle gespielt haben.

1 Hintergrund

Bundesweit hat der Streuobstbestand seit den 1950er Jahren um ca. 75% abgenommen (GÜLL 2015). Sowohl als landwirtschaftliche Produktionssysteme als auch für den Naturschutz im Land haben Streuobstwiesen einen besonderen Wert. Streuobstwiesen (Abbildung 1) gelten einerseits als Hotspots der biologischen Vielfalt, andererseits sind sie als landwirtschaftliche Produktionssysteme Schlüsselemente für die regionale Entwicklung (DEUSCHLE 2000, HASSLER et al. 2004, ZEHNDER & WELLER 2006). Eine Definition des Begriffs Streuobstwiese gibt RÖSLER (1992): „Extensiv genutzte Kombination von Hochstamm-Obstbäumen und Grünland“. Die Dringlichkeit des Schutzes von Streuobstwiesen wird von Bevölkerung und Politik aktuell auf verschiedenen Ebenen intensiv diskutiert: In das Insektenschutzprogramm der Bundesregierung, das im September 2019 vom Kabinett verabschiedet wurde (BPA 2019), findet ihr Schutz ebenso Eingang wie in den Gesetzentwurf des Volksbegehrens für mehr Artenvielfalt in Baden-Württemberg 2019 (STM 2020a). Das Land Baden-Württemberg hat inzwischen auf Basis dieses Bürgerbegehrens einen Entwurf zur Änderung des Naturschutzgesetzes und des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes zur Stärkung der Biodiversität vorgelegt (STM 2020b). Demnach ist unter anderem ein Erhaltungsgebot für Streuobst geplant. Einzelbäume können wie bisher bewirtschaftet, gefällt und oder nachgepflanzt werden, ohne dass es einer Genehmigung bedarf. Eine Umwandlung eines Streuobstbestandes – voraussichtlich ab einer Mindestgröße von 1500 m² – ist künftig nur dann möglich, wenn die Gründe für die Umwandlung so maßgeblich sind, dass der Erhalt dahinter zurückstehen muss.

Für den Erhalt der Bestände und die mögliche Erschließung neuer Standorte sind regelmäßige Bestandserfassungen, wie sie bis 1965 noch in ganz Deutschland alle 5 Jahre durchgeführt wurden (STALA 1967), eine unverzichtbare Planungsgrundlage. Fernerkundungsverfahren und Stichprobenerhebungen leisten hierfür einen wesentlichen Beitrag. Bereits die landesweite Streuobsterhebung 2008, die auf Basis von Laserscandaten erfolgte und beide Verfahren kombinierte, zeigte eine drastische Verringerung der Baumbestände seit 1990 von 11,4 Mio. auf rund 9,3 Mio. Bäume (MLR 2009, SCHMIEDER et al. 2011). Zur Aktualisierung der Erhebung begann das Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim 2016 im Auftrag der LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg mit einer erneuten fernerkundlichen Untersuchung der Streuobstbestände Baden-Württembergs.

Im Rahmen des Projektes „Ermittlung der Streuobstbestände Baden-Württembergs durch automatisierte Fernerkundungsverfahren“ erfolgte die Identifizierung und Abgrenzung aller im Offenland außerhalb von Wald und Siedlung einzeln stehenden Streuobstbäume aus digitalen Oberflächenmodellen (DOM) sowie ihre quantitative Analyse und räumliche Charakterisierung innerhalb eines geografischen Informationssystems (GIS). Zur Validation der Fernerkundungsverfahren wurden auf einigen Flächen ergänzend Felddatenerhebungen durchgeführt.



Abbildung 1: Streuobstwiese am Keuperstufenrand bei Entringen (Foto: K. Schmieder)

2 Methoden

Übersicht

Aus photogrammetrischen Luftbilddaten (Farbbilder mit Infrarotkanal (IRGB)) aus dem Befliegungszeitraum 2012–2015 wurde im ersten Verarbeitungsschritt mit der Software SURE (nFrames, Stuttgart, Deutschland) eine dreidimensionale Punktwolke erzeugt. Mit der Software LasTools (rapidlasso, Gilching, Deutschland) wurden durch Überlagerung mit dem digitalen Geländemodell (DGM) des Landes ein normalisiertes Digitales Oberflächenmodell (nDOM) erzeugt, mittels einer Wald-Maske die Offenlanddaten extrahiert und erste Artefaktfilter angewendet. Aus dem nDOM wurden im nächsten Verarbeitungsschritt über objektbasierte Segmentierungsverfahren innerhalb der Software WESP (Workflow Engine for digital Surface Processing, Eigenentwicklung Universität Hohenheim, unveröffentlicht) potenzielle Streuobstbäume neben anderen Gehölztypen extrahiert und Parameter für deren weitere Klassifikation berechnet. Mittels der Software ArcGIS (ESRI, Redlands, USA) wurde nachfolgend eine weitere Artefaktbereinigung sowie aufgrund der in WESP ermittelten Gehölzparameter die abschließende Klassifikation der Streuobstbäume durchgeführt. Im Folgenden sind die Prozessierungsschritte aufgeführt.

Verarbeitungsschritte bei der Prozessierung:

1. **Sure:** Photogrammetrische Generierung von 3D-Punkten aus IRGB-Luftbildern
2. **LasTools:** Generierung eines nDOM durch Prozessierung der Hochpunkte (DOM), sowie der jeweils räumlich zuzuordnenden Tiefpunkte (DGM)
3. Extraktion der Offenlanddaten, um die zu prozessierende Datenmenge zu reduzieren. Hierzu wurde eine Waldmaske basierend auf dem ATKIS-DLM genutzt
4. **WESP:** Segmentierung und Parametrisierung der Gehölzpolygone und Baumstandorte
5. **ArcGIS:** Anwendung diverser Filter, um Artefakte zu eliminieren sowie die finale wissensbasierte Klassifikation nach Streuobst. Hierbei kommen weitere Daten des ATKIS-DLM, sowie MEKA/FAKT-Daten zum Einsatz, um eine möglichst feine räumliche Unterscheidung zwischen Offenland und Streuobst zu erreichen

Photogrammetrische Aufnahmen als Datengrundlage

Photogrammetrische Stereo-Aufnahmen sind seit mehreren Jahrzehnten im Einsatz (ALBERTZ 2009), wobei bis vor wenigen Jahren lediglich halbautomatisierte, personal- und zeitintensive Verfahren auf der Basis analoger Bildpaare für deren Auswertung zur Verfügung standen. Sie dienten vor allem der Aktualisierung topographischer Karten sowie der Erstellung von digitalen Geländemodellen (DGM). Mittlerweile wurden die analogen, panchromatischen Luftbilder durch digitale Farbinfrarotaufnahmen (IRGB-Luftbilder) abgelöst, bei denen neben dem Rot-, Grün-, Blau-Kanal (RGB) auch der Nahe Infrarot-Kanal (NIR) aufgezeichnet wird (LGB 2019). Aus den analogen Stereo-Betrachtern wurden volldigitale photogrammetrische Analysesysteme zur Automatisierung von Prozessen entwickelt. Die Software SURE (nFRAMES, Stuttgart) ermöglicht eine automatisierte Ableitung von 3D-Punktwolken (DOM) aus digitalen Farbinfrarotluftbildern. Mit einer Extraktion von bis zu einem 3D-Punkt pro Pixel generiert die Software bei der üblichen räumlichen Auflösung von Luftbildern von ca. 20 cm pro Pixel eine Detailauflösung von bis zu 25 Punkten/m². Im Vergleich zu der bei der Laserbefliegung 2000–2005 vorliegenden räumlichen Auflösung von 1 Punkt/m² ist diese damit vergleichsweise hoch. Sie liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie die heute üblichen Laserbefliegungen mit ca. 40 Punkten/m², wobei mittels Drohnenbefliegungen auch Auflösungen bis zu 400 Punkten/m² erreicht werden können (vgl. Abbildung 2). Allerdings geht mit der Erhöhung der räumlichen Auflösung auch eine Vervielfachung der Datenmenge einher, welche für die Prozessierung leistungsstarke Computer und effiziente Software voraussetzt. In der vorliegenden Untersuchung wurden deshalb Luftbilder mit einer räumlichen Auflösung von 40 cm/Pixel verwendet und hieraus ein DOM mit 6,25 Punkten/m² berechnet. Dies ist für die Erfassung von Streuobstbäumen ausreichend und verringert die Datenmenge und Rechenzeit erheblich.



Abbildung 2: DOM Punktwolke aus der SURE Software bei 5 cm Bodenauflösung. Es handelt es sich hier um die Variante „400 Punkte/m²“, gewonnen durch Drohnenbefliegung (5 cm Auflösung = 20 x 20 Punkte je m²). Im Rahmen der aktuellen Streuobsterhebung wurde jedoch die Variante „6,25 Punkte/m²“ verwendet. Dargestellt sind Streuobstbestände bei Hessigheim (Enz) im Vordergrund. Am Steilhang besteht Weinbau (Quelle: nFrames GmbH / IGI mbH)

Somit können aus photogrammetrischen Luftbildern mittels der Software SURE ähnlich den 2008 verwendeten Laserdaten ebenfalls DOM als Grundlage für die Erfassung von räumlichen Objekten wie Streuobstbäumen in der Landschaft erzeugt werden.

Unterschiede der 2018 verwendeten photogrammetrischen Daten zu den 2008 verwendeten Laser-Daten

Im Unterschied zu der Erhebung 2008, bei der flugzeuggestützte Laserscan- bzw. LiDAR-Daten (vgl. KHOSRAVIPOUR et al. 2014) mit einer räumlichen Auflösung von 1 Punkt/m² analysiert wurden, dienten

bei der aktuellen Erhebung zur Erzeugung von DOM photogrammetrische Luftbilddaten mit einer räumlichen Auflösung von 40 cm, d. h. 6,25 Punkten/m², als Grundlage. Die aktuelle Untersuchung erfolgte dadurch mit einer deutlich höheren räumlichen Auflösung als die Untersuchung 2008. Die photogrammetrischen Daten werden vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) Baden-Württemberg durch Befliegungen in mittlerweile dreijährigem Turnus erhoben, während Laserbefliegungen nicht regelmäßig landesweit durchgeführt werden. Eine Laserbefliegung, wie sie das LGL in den Jahren 2000–2005 für die Erstellung eines exakten Höhenmodelles erstmals landesweit durchführte, wurde bislang nicht wiederholt. Somit war eine methodengleiche Wiederholung der Erhebung von 2008 nicht möglich. Ein weiterer Unterschied in den Datengrundlagen sind die Befliegungszeitpunkte. Während die Laserbefliegungen im zeitigen Frühjahr im unbelaubten Zustand der Bäume durchgeführt wurden, erfolgten die Luftbildbefliegungen auch in den Sommermonaten. Hierdurch entstanden beispielsweise viele Hochpunkte auf Maisäckern, welche ähnliche Größendimensionen wie Streuobst-Jungbäume besitzen, was die korrekte Klassifikation erschwerte.

Aufbereitung der Daten für die Klassifikation

Zur Vorbereitung der folgenden Arbeitsschritte wurde ein normalisiertes Digitales Oberflächenmodell (nDOM) erstellt, bei dem das Gelände überall auf Null normiert wird. Hierzu werden einerseits die reinen Geländehöhen benötigt, welche in Form eines Digitalen Geländemodelles (DGM) vorliegen. Andererseits ist ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) notwendig, welches die Objekthöhen darstellt, die die reinen Geländehöhen überlagern, beispielsweise Höhen von Bäumen und Gebäuden. Ein nDOM entspricht der Differenz dieser beiden Modelle. Dabei gelten die Werte des DGM als Bezugshöhen. Resultierend erhält man entsprechend die Höhen der Objekte über der Geländeoberfläche (siehe Abbildung 3).

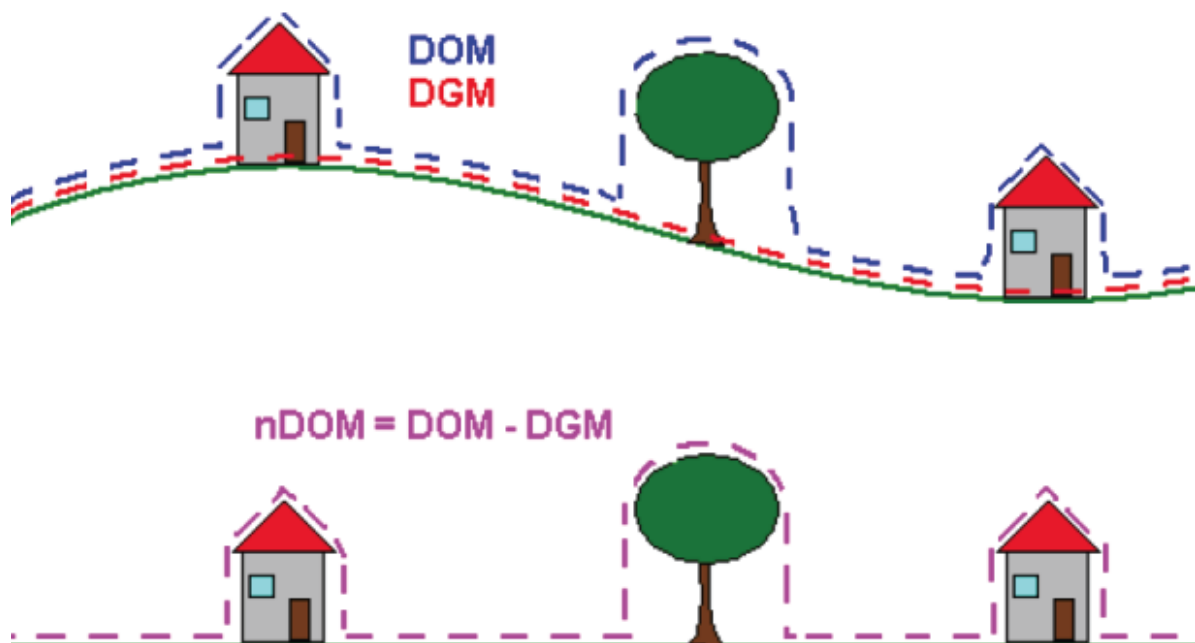


Abbildung 3: Schema der Erstellung eines nDOM (Quelle: DLR 2013 nach Mayer 2004)

Um die Rechenzeit der nun folgenden Prozessierung zu reduzieren, wurde mit Hilfe des aktuellen ATKIS-DLM (Amtliches Topographisches und Kartographisches Informationssystem-Digitales Landschaftsmodell, LGL 2015) eine Waldmaske erzeugt. Damit konnten jene Objekte bereits vorab eliminiert werden, welche innerhalb der entsprechend definierten Waldbereiche liegen.

Klassifikation von Gehölztypen

Um eine Entscheidungsgrundlage für die Klassifikation von Streuobstbäumen im Unterschied zu anderen Offenland-Gehölztypen zu schaffen, wurden neben Einzelbäumen auch weitere Gehölztypen mittels Formparametern charakterisiert.

Die Gehölztypenklassifikation orientiert sich an wissensbasierten, deduktiven Strukturregeln (Tabelle 1), die in WESP programmiert wurden. So wird z. B. eine Hecke dadurch bestimmt, dass es sich um eine Gehölzgruppe handelt, die mindestens 2,5-mal so lang wie breit, maximal 30 m breit und im Mittel maximal 9 m hoch ist (mittlere Höhe aller Einzelgehölze einer Gehölzgruppe). Ist das Gehölz im Mittel höher, gilt es als Baumhecke. Ziel ist es hierbei nicht, ein möglichst genaues Detektionsverfahren im Sinne einer Biotoptypenklassifizierung zu entwickeln, sondern standardisierte Grenzwerte für verschiedenen Gehölztypen aufzustellen, die rechnergestützt nachvollziehbar angewandt werden können.

Tabelle 1: Formparameter zur Klassifikation der sieben Gehölztypen mit Klassifizierungsreihenfolge

Parameter/ Gehölztyp	Einzel- baum	Einzel- gebüsch	Hecke	Baum- hecke	Niedriges Feldgehölz	Hohes Feldgehölz	Waldinsel
Verhältnis Breite/Länge	< 1:2,5	< 1:2,5	≥ 1:2,5	≥ 1:2,5	< 1:2,5	< 1:2,5	
Mittlere max. Höhe			< 9m	≥ 9m			≥ 9m
Maximale Höhe	> 6 m	≤ 6 m	< 9 m*	≥ 9 m*	< 9m	≥ 9 m	≥ 9 m*
Fläche	≤ 400 m ²			< 2000 m ²		< 2000 m ²	≥ 2000 m ²
Klassifikations- reihenfolge	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.

* mittlere Höhe aller Einzelgehölze einer Gehölzgruppe

Klassifikationsparameter

Mit Hilfe des Softwaresystems WESP wurden die Kronen der bestandsprägenden Einzelbäume abgegrenzt. Zur Unterscheidung von Hecken, Feldgehölzen und Einzelbäumen wurde in WESP ein Algorithmus zur Skelettierung von Gehölzstrukturen programmiert, welcher die maximale Länge und Breite auch gekrümmter Gehölzstrukturen bestimmt (Abbildung 4). Hierfür wurden zunächst die abgegrenzten Kronen der eng stehenden Einzelbäume und -sträucher zu Hecken- und Feldgehölzstrukturen gruppiert, indem diese mit einem Puffer von 0,5 m versehen wurden und überlappende Einzelpolygone zu einem Polygon zusammengeführt wurden.

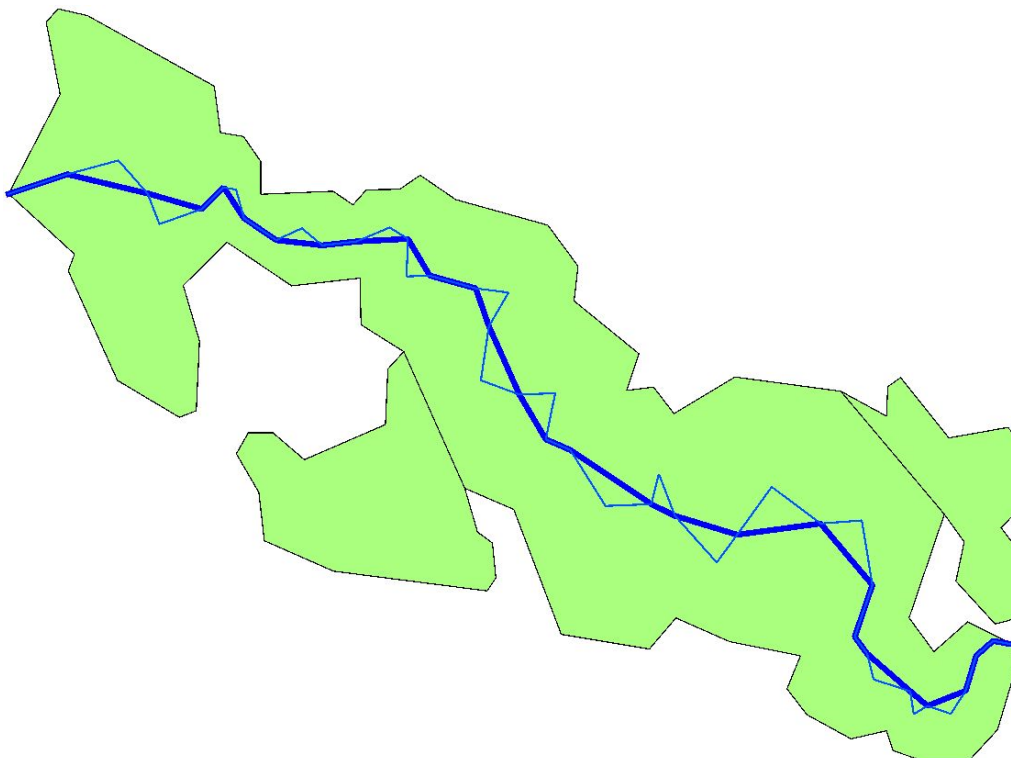


Abbildung 4: Skelettierung von Objekten/Gehölzen zur Bestimmung der Längen- und Breitenparameter. Die Gehölzgrundfläche ist grün dargestellt, die dünne blaue Linie entspricht der Mittellinie der aus der Skelettierung ermittelten Breiten der Einzelsegmente des Gehölzes, die dicke blaue Linie entspricht der geglätteten Länge des Gehölzes. Seitenarme des Gehölzes werden bei der Skelettierung abgeschnitten und bei der Längenermittlung nicht berücksichtigt (Quelle: eigene Darstellung mittels WESP)

Streuobstbestände sind, entgegen der verbreiteten Meinung, keine zufällig verstreuten Bäume in der Kulturlandschaft, sondern ursprünglich meist gezielt geplante und für das jeweilige Flurstück optimal angepasste Anlagen, wobei bestimmte Baum- und Reihenabstände eingehalten werden (Burr et al. 1930, S. 324, Zehnder & Weller 2006, S. 102). Aus dieser Eigenschaft wurde in der Software WESP ein Algorithmus entwickelt, welcher für jedes Flurstück unter Wahrung voreinstellbarer Baum- und Reihenabstände ein optimales Pflanzraster berechnet (vgl. Abbildung 5). Für die vorliegende Untersuchung wurden Baumabstände von 8–10 m und Reihenabstände von 10–12 m angenommen. Dieses Raster wurde dann mit dem tatsächlichen Baumbestand räumlich überlagert. Stimmt der Standort eines Baumes mit dem berechneten Pflanzraster innerhalb festgelegter Toleranzen, die auf Grundlage mehrerer Testdurchläufe abgeschätzt wurden, überein, so handelte es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um einen Streuobstbaum. Auch dann, wenn aufgrund fehlender Nachpflanzungen der geschlossene Charakter des Bestandes verloren gegangen war und tatsächlich der Eindruck von zufällig verstreuten Einzelbäumen entstand. Über diesen Schritt erfolgte bereits in WESP über die in Tabelle 1 dargestellten Formparameter eine Vorklassifikation zur Klasse „Potenzieller Streuobstbaum“ (Abbildung 5). In diese Klasse wurden zudem alle Einzelbäume übernommen, welche innerhalb der DLM-Maske Streuobst (LGL 2015) lokalisiert waren und von WESP zwar als Einzelbäume erkannt, aber aufgrund ihrer vom jeweiligen Pflanzraster abweichenden Standorte nicht der Klasse „Potenzieller Streuobstbaum“ zugeordnet wurden. Die Einzelbäume der Klasse „Potenzieller Streuobstbaum“ bildeten die Grundlage für die verfeinerte Klassifikation mittels ArcGIS.

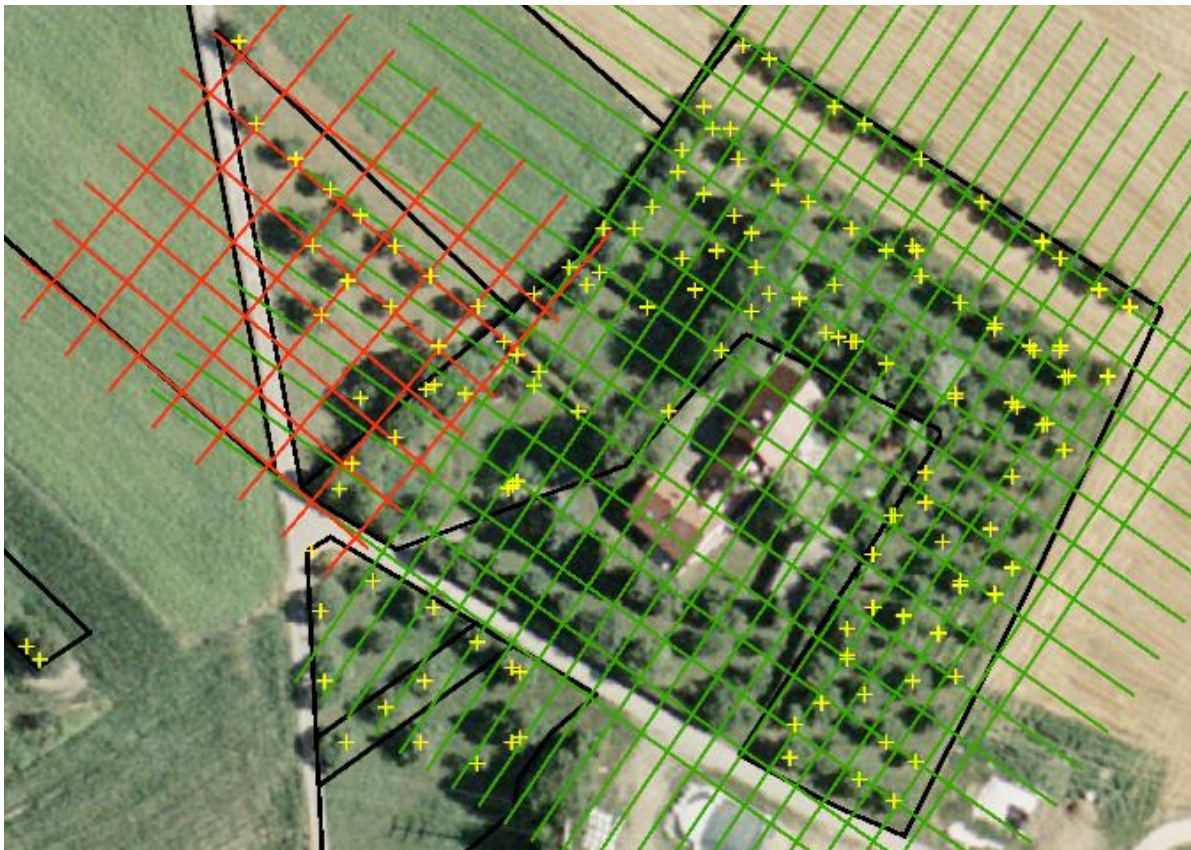


Abbildung 5: Vergleich des für das jeweilige Flurstück berechneten Pflanzrasters (rotes und grünes Gitter) mit den aus dem nDOM berechneten Stammstandorten (gelbe Kreuze). Im Hintergrund ist das entsprechende Ortho-Luftbild dargestellt (Quelle: eigene Darstellung, Luftbild: LGL Baden-Württemberg)

Klassifikation von Streuobstbäumen mittels ArcGIS

Auf Grundlage der in WESP als „Potenzieller Streuobstbaum“ klassifizierten Baumobjekte wurden mittels eines ArcGIS - Modells (10.6 ESRI, Redlands, CA, USA) regelbasiert Streuobstbäume klassifiziert. Hierfür wurden vorab vorhandene Artefakte (bezüglich Höhe und Kronendurchmesser), hervorgerufen beispielsweise durch Strommasten und Stromleitungen, eliminiert. Für die Eliminierung von Artefakten auf Ackerflächen sowie von noch vorhandenen Offenlandobjekten im Siedlungsbereich

und im Bereich von Obstplantagen wurden MEKA-Daten¹ des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR), sowie Daten des aktuellen ATKIS-DLM (Amtliches Topographisches und Kartographisches Informationssystem - Digitales Landschaftsmodell, LGL 2015) genutzt. Bei der Streuobsterhebung 2008 wurden für diesen Schritt ATKIS-Masken des Jahres 2005 verwendet, welche vor allem bezüglich der Abgrenzung von Obstplantagen erhebliche Unterschiede zu ATKIS-Masken des Jahres 2015 aufweisen. So wurden z. B. im Ortenaukreis im Jahr 2008 viele intensiv bewirtschaftete Halbstammanlagen in die Klassifikation mit einbezogen, welche 2018 aufgrund der aktuelleren ATKIS-Maske ausgeschlossen wurden.

Zur Klassendifferenzierung hinsichtlich der Zugehörigkeit von Einzelbäumen zur Klasse „Streuobstbaum“ (Klassen 3–5) wurde ein verfeinertes Klassifizierungsmodell erstellt. Dabei wurden verschiedene aufeinander folgende Parameter genutzt, die über entsprechende Grenzwerte klar voneinander abgegrenzt waren. Eine Klassenzuweisung erfolgte im Sinne einer zunehmend wahrscheinlichen Klassenzugehörigkeit zur Klasse „Streuobstbaum“. Die Zuweisung ist dabei final: Bäume die einer Klasse zugeordnet wurden, wurden nicht mehr für die weitere Klassifikation genutzt. Die im Modell genutzten Parameter sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Festgelegte Parameter zur Klassifikation von „potenziellen Streuobstbäumen“ (Klasse 1–2) und „Streuobstbäumen“ (Klasse 3–5)

Klasse	Variable / Objekt	Parameter	Wert
1	Wald	Distanz	≤ 10 m
	Bahnlinien	Distanz	< 20 m
	Straßen	Distanz	< 10 m
	Siedlungen	relative Lage	innerhalb
	Gewässer	Distanz	< 20 m
	Landwirtschaftsfläche	relative Lage	innerhalb
2	Baum	Höhe	< 3 m
	Baum	Höhe	> 20 m
	Baum	Kronendurchmesser	< 2 m
	Baum	Kronendurchmesser	> 12 m
3	Baum / Nachbarschaft	Radius (radial)	15 m
	Baum / Nachbarschaft	Mindestzahl Nachbarn	1
4	Baum / Nachbarschaft	Radius (radial)	15 m
	Baum / Nachbarschaft	Anzahl Nachbarn	0
5	Flurstück	Bewuchsdichte	> 33 %

Folgende Klassen wurden dabei gebildet:

Klasse 1: Diese Klasse umfasst all jene Bäume im direkten Umfeld von Waldpolygonen, entlang von Bahnlinien, Straßen und Gewässern, in Siedlungsbereichen sowie auf Ackerflächen, welche überwiegend keine Streuobstbäume darstellen.

Klasse 2: Für diese Klasse wird zur Klassifikation eine Kombination aus Höhe und Kronendurchmesser genutzt. Dabei werden zu niedrige oder zu hohe Bäume und Bäume mit zu großem Kronendurchmesser klassifiziert. Der Parameter „Höhe“ bezieht sich dabei nicht auf den Kronenansatz, da dieser auf Basis der hier verwandten Methoden nicht ermittelt werden konnte, sondern auf die Gesamthöhe. Als Eingangsdaten werden die Daten nach Ausschluss der Klasse 1 genutzt. Auch diese Klasse enthält überwiegend keine Streuobstbäume.

Klasse 3: Dieser Klasse fallen all jene Bäume zu, welche in einem definierten Umkreis benachbarte Bäume aufweisen und welche damit mit hoher Wahrscheinlichkeit Streuobstbäume darstellen und als Bestandsbäume angesprochen werden können.

¹ Das Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichsprogramm (MEKA) wurde 2015 vom Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl Baden-Württemberg (FAKT) abgelöst.

Klasse 4: Diese Klasse entspricht jenen Bäumen, welche keinerlei Nachbarn aufweisen und somit nicht den Kriterien von Klasse 3 entsprechen. Die Bäume dieser Klasse können also als Einzelstreuobstbäume angesprochen werden.

Klasse 5: Für diese Klasse wird Bezug auf die höhere Aggregationsebene der Flurstücke genommen. Dabei wird pro Flurstück berechnet, wie groß der Anteil der vorhandenen Bäume an der Gesamtfläche des Flurstücks ist. Zu Grunde liegt die Annahme, dass pro Streuobstbaum eine Fläche von ca. 0,01 ha beansprucht wird. Flurstücke mit einer Baumdichte über einem definierten Wert von 33 % (entspricht einer Dichte von 33 Bäumen/ha) können mit hoher Wahrscheinlichkeit als Streuobstwiesen angesprochen werden.

Zusammenfassend hier nochmals eine Übersicht der genutzten Werte, um Streuobstbäume basierend auf deren Höhe zu klassifizieren:

Bäume mit einer Höhe unter 2 m oder über 30 m wurden vorab eliminiert, da man hier von Artefakten ausgehen kann

Bäume mit einer Höhe zwischen 3 m und 20 m werden entsprechend dem Klassifikationsschema und unter Berücksichtigung der weiteren Parameter als Streuobstbäume angesprochen

Die Klassen 1 und 2 entsprechen Ausschlusskriterien, wonach „potenzielle Streuobstbäume“ dieser Klassen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht als Streuobstbäume angesprochen werden können. Die für Klasse 1 genutzten GIS-Masken (z. B. Pufferzonen an Waldgrenzen) sind teilweise unvollständig oder aber räumlich nicht exakt. Auch gibt es durchaus Streuobstbäume z.B. entlang Waldgrenzen (Klasse 1) sowie mit Höhen unter 3 m oder über 20 m (Klasse 2). Entsprechend kann es im Zuge der Zuweisung zu Klasse 1 und 2 auch dazu kommen, dass Streuobstbäume von der weiteren Klassifikation ausgeschlossen werden. Um eine ggf. später notwendige händische Korrektur einzelner Gebiete durchführen zu können, wurden jene potenziellen Fehler nicht gelöscht, sondern den angesprochenen Klassen zugewiesen.

Bei der Prozessierung der Daten wurde festgestellt, dass vereinzelt Lücken im aktuellen Einzelbaumdatensatz bestehen, was auf das Fehlen zugrundeliegender Kacheln (je 1 km²) zurückzuführen ist. Die Daten für fehlende Kacheln wurden soweit wie möglich rekonstruiert, indem für diese Gebiete alle Schritte nach der photogrammetrischen Berechnung erneut durchgeführt wurden und eine Fusion der resultierenden Klassifikation mit dem Gesamtdatensatz erfolgte. Falls dennoch weiterhin einzelne Lücken bestehen, können diese beispielsweise dadurch geschlossen werden, dass die ATKIS-Streuobstflächen im entsprechenden Bereich visuell überprüft werden und die so identifizierten Bäume mit in die Kulisse aufgenommen werden.

Validation der Streuobstklassifikation mittels Felddatenerhebung

Zur Validation der Streuobstklassifikation (vgl. CONGALTON 2001) wurden in einer Stichprobe von 13 der 94 im Jahr 2008 im Feld erhobenen Validationsflächen erneut Felderhebungen durchgeführt. Dabei besteht ein Zeitunterschied von 3–6 Jahren zu den Luftbildern, die der Klassifikation zugrundeliegen. Für die Validation wurde kartiert, ob es sich bei einem Baum um einen Streuobstbaum oder um einen sonstigen Laubbaum handelt und ob ein 2008 vorhandener Baum auch 2018 noch vorhanden war. Dazu wurden auch zwischen 2008 und 2018 neu gepflanzte Bäume ergänzt.

Insgesamt wurden so auf den 13 Validationsflächen alle vorhandenen Bäume kartiert und damit die entsprechenden Felddaten der Streuobstbäume von 2008 im GIS aktualisiert, um den aktuellen Baumbestand von 2018 zu erhalten. Auf dieser Basis wurden Baumstandorte der Felddaten von 2018 im GIS mit den fernerkundlich klassifizierten Baumstandorten räumlich überlagert und die Identität der Einzelbäume („Ist ein fernerkundlich als Streuobstbaum klassifizierter Baum auch in Realität ein Streuobstbaum?“) überprüft. Da sowohl bei der Verwendung eines GPS im Feld als auch bei der Ermittlung eines Streuobstbaumstandortes mittels Fernerkundung Lageungenauigkeiten entstehen können, erfolgte die Zuordnung auch bei geringen Lageunterschieden, sofern eine eindeutige visuelle Zuordnung möglich war. Die Auswertung wurde für die Klassen 1–2 sowie 3–5 separat durchgeführt, da in Klasse 1–2 mit hoher Wahrscheinlichkeit Nicht-Streuobstbäume abgelegt wurden, während die Klassen 3–5 mit hoher Wahrscheinlichkeit Streuobstbäume enthalten. Die Validation aller Klassen war für die Berechnung der Gesamtzahl der Streuobstbäume in Baden-Württemberg erforderlich.

3 Ergebnisse

Validation der Klassifikationsgüte

Insgesamt wurden bei der Felddatenerhebung in den 13 Validationsflächen 4.704 Bäume kartiert und mit den Klassifikationsdaten verglichen.

Für die Klassen 3–5 wurden 76,0 % der Bäume richtig als Streuobstbaum klassifiziert (Tabelle 3). Fälschlich als Streuobstbaum klassifiziert wurden 24,0 % der mittels Fernerkundung erfassten Bäume.

Tabelle 3: Validation der Klassifikationsgüte anhand von Felddatenerhebungen in 13 Flächen a 1 km²

Validation	Klasse 1–2	% Klasse 1–2	Klasse 3–5	% Klasse 3–5	Gesamt
RICHTIG	512	52,9	2.105	76,0	2.617
FALSCH	455	47,1	664	24,0	1.119
Gesamt	967	100	2.769	100	3.736

Für die Klassen 1–2 ergab die Validation einen Anteil von 52,9 % an Streuobstbäumen und 47,1 % Nicht-Streuobstbäume. Mit einer Gesamtzahl von 967 im Feld kartierten Bäumen enthalten diese beiden Klassen aber deutlich weniger Bäume als die Klassen 3–5 mit 2.769 Bäumen. Bei der Klassifikation wurden mit einer Gesamtzahl von 3.736 Bäumen 79,4 % der insgesamt 4.704 im Feld kartierten Streuobstbäume erfasst (Tabelle 3), d.h. 20,6 % der Streuobstbäume, v.a. Jungbäume, konnten mittels der Klassifikationsalgorithmen nicht als solche erkannt werden bzw. waren durch die gesetzten Parameterschwellwerte von der Klassifikation ausgeschlossen.

Ermittlung der Anzahl der Streuobstbäume in Baden-Württemberg 2012–2015 unter Berücksichtigung der Validation

Um eine genauere Bestimmung der Gesamtzahl der Streuobstbäume Baden-Württembergs vorzunehmen, müssen die Validationsdaten mit einbezogen werden. Danach weisen die Klassen 3–5 eine Überschätzung von 24,0 % auf, d.h. von den 4.362.337 klassifizierten Streuobstbäumen sind mutmaßlich lediglich 3.315.376 tatsächlich Streuobstbäume (Tabelle 4). Innerhalb der Klassen 1–2 ergab die Validation eine Überschätzung von 47,1 %, d.h. von den 4.409.614 klassifizierten Einzelbäumen sind wohl 2.332.685 Bäume Streuobstbäume.

Tabelle 4: Unkorrigierte und korrigierte Anzahl Streuobstbäume der verschiedenen Klassen sowie Gesamtzahl und Anteil nicht erfasster Bäume

Klasse	Unkorrigierte Anzahl Bäume	Güte in %	Korrigierte Anzahl Bäume
Klasse 3-5	4.362.337	76,0	3.315.376
Klasse 1-2	4.409.614	52,9	2.332.685
nicht erfasst		20,6	1.465.365
Summe	8.771.951		7.113.426

Allerdings wurden innerhalb der Klassifikation der Klassen 1–5 auch 20,6 % tatsächlich vorkommende Streuobstbäume gar nicht erfasst. Die Gesamtzahl der klassifizierten Bäume weist also eine entsprechende Unterschätzung auf. Zu den in den Klassen 1–5 enthaltenen 5.648.061 Streuobstbäumen kommen demnach nochmals 1.465.365 Streuobstbäume hinzu, welche in der Klassifikation nicht erfasst wurden. Hierin enthalten sind auch die ca. 10 % Jungbäume, welche aus den verwendeten photogrammetrischen Luftbildern nicht erfasst werden konnten². Die Zahl der Streuobstbäume in Baden-Württemberg umfasste folglich 7.113.426 Bäume bezogen auf den Zeitraum 2012–2015. Unterstellt man durchschnittlich 80 Bäume je Hektar Streuobst, resultiert daraus eine Streuobstfläche von landesweit 88.784 ha.

Anzahl und Dichte der Streuobstbäume auf Landkreisebene

² Mit Laserdaten der Auflösung von 1 Punkt/m² – wie 2008 verwendet – ist eine Erfassung von Jungbäumen ebenfalls nicht möglich.

In Tabelle 5 sind die Anzahl der Streuobstbäume sowie die Streuobstflächen und deren Dichte bezogen auf die Kreisfläche für die einzelnen Land- bzw. Stadtkreise dargestellt. Als Verwaltungsgrenzen wurden die Opensource Daten der Verwaltungsgebiete von Deutschland im Maßstab 1:250.000 VG250 (BKG 2020) zu Grunde gelegt. Auffallend sind die hohen Absolutzahlen wie auch Dichtewerte für den Rems-Murr-Kreis und den Landkreis Esslingen. Auch die Kreise Ludwigsburg und Enzkreis weisen noch hohe Baumdichten auf. Die geringsten Baumzahlen finden sich in den Stadtkreisen Mannheim und Freiburg. Die geringste Baumdichte findet sich im Schwarzwald-Baar-Kreis.

Es besteht ein Unterschied zwischen der Anzahl der Bäume der Klassen 3–5 in Tabelle 4 und der Anzahl der Bäume in Tabelle 5: 679 Punkte (potenzielle Bäume) wurden bei der Selektion zur Aggregation auf Landkreisebene nicht berücksichtigt, da sie bei einem Maßstab von 1:250.000 knapp außerhalb der Landkreisgrenzen (BKG 2020) liegen.

Ein direkter Vergleich der Daten mit der Baumanzahl im Jahr 2008 ist aufgrund der unterschiedlichen Methodik der beiden Erhebungen nicht zielführend und wird daher hier nicht vorgenommen.

Tabelle 5: Unkorrigierte Anzahl der Streuobstbäume der Klassen 3–5 auf Stadt-/Landkreisebene und Baumdichte pro Kreis. Eine Korrektur der aufgeführten Werte anhand der Validation ist für die einzelnen Kreise nicht möglich, da die 13 für die Validation der Fernerkundungsdaten verwendeten Flächen nicht repräsentativ für die einzelnen Landkreise sind

Landkreis	Anzahl	Fläche [ha]	Dichte*
Alb-Donau-Kreis	73.938	135.639,23	0,55
Baden-Baden	22.695	13.989,84	1,62
Biberach	48.051	140.891,83	0,34
Böblingen	140.988	61.671,59	2,29
Bodenseekreis	64.834	66.479,47	0,98
Breisgau-Hochschwarzwald	75.427	137.601,28	0,55
Calw	69.620	79.675,73	0,87
Emmendingen	62.799	68.000,54	0,92
Enzkreis	159.888	57.258,45	2,79
Esslingen	350.820	63.933,74	5,49
Freiburg im Breisgau	8.038	15.410,53	0,52
Freudenstadt	51.268	87.040,80	0,59
Göppingen	150.573	64.215,43	2,34
Heidelberg	14.696	10.918,70	1,35
Heidenheim	25.663	62.706,28	0,41
Heilbronn (Stadt)	182.384	10.056,23	18,14
Heilbronn	15.359	109.772,01	0,14
Hohenlohekreis	106.173	77.650,95	1,37
Karlsruhe (Stadt)	193.856	17.396,12	11,14
Karlsruhe	27.108	108.369,63	0,25
Konstanz	87.434	81.664,34	1,07
Lörrach	105.858	80.676,52	1,31

Landkreis	Anzahl	Fläche [ha]	Dichte*
Ludwigsburg	21.6467	68.605,43	3,16
Main-Tauber-Kreis	13.3665	130.397,05	1,03
Mannheim	8.022	14.501,87	0,55
Neckar-Odenwald-Kreis	76.603	112.494,92	0,68
Ortenaukreis	150.431	185.842,36	0,81
Ostalbkreis	115.956	150.935,31	0,77
Pforzheim	26.153	9.816,17	2,66
Rastatt	142.536	73.807,01	1,93
Ravensburg	83.889	163.077,89	0,51
Rems-Murr-Kreis	382.094	85.676,60	4,46
Reutlingen	168.250	109.135,47	1,54
Rhein-Neckar-Kreis	114.087	105.987,87	1,08
Rottweil	36.706	76.900,71	0,48
Schwäbisch Hall	122.339	148.302,95	0,82
Schwarzwald-Baar-Kreis	38.122	102.521,85	0,37
Sigmaringen	52.304	120.360,85	0,43
Stuttgart	67.487	20.979,31	3,22
Tübingen	158.408	51.953,25	3,05
Tuttlingen	31.410	73.342,98	0,43
Ulm	14.831	11.918,46	1,24
Waldshut	79.730	113.019,10	0,71
Zollernalbkreis	104.698	91.657,84	1,14
Gesamtzahl der Bäume: 4.361.658			

*Anzahl Bäume / ha

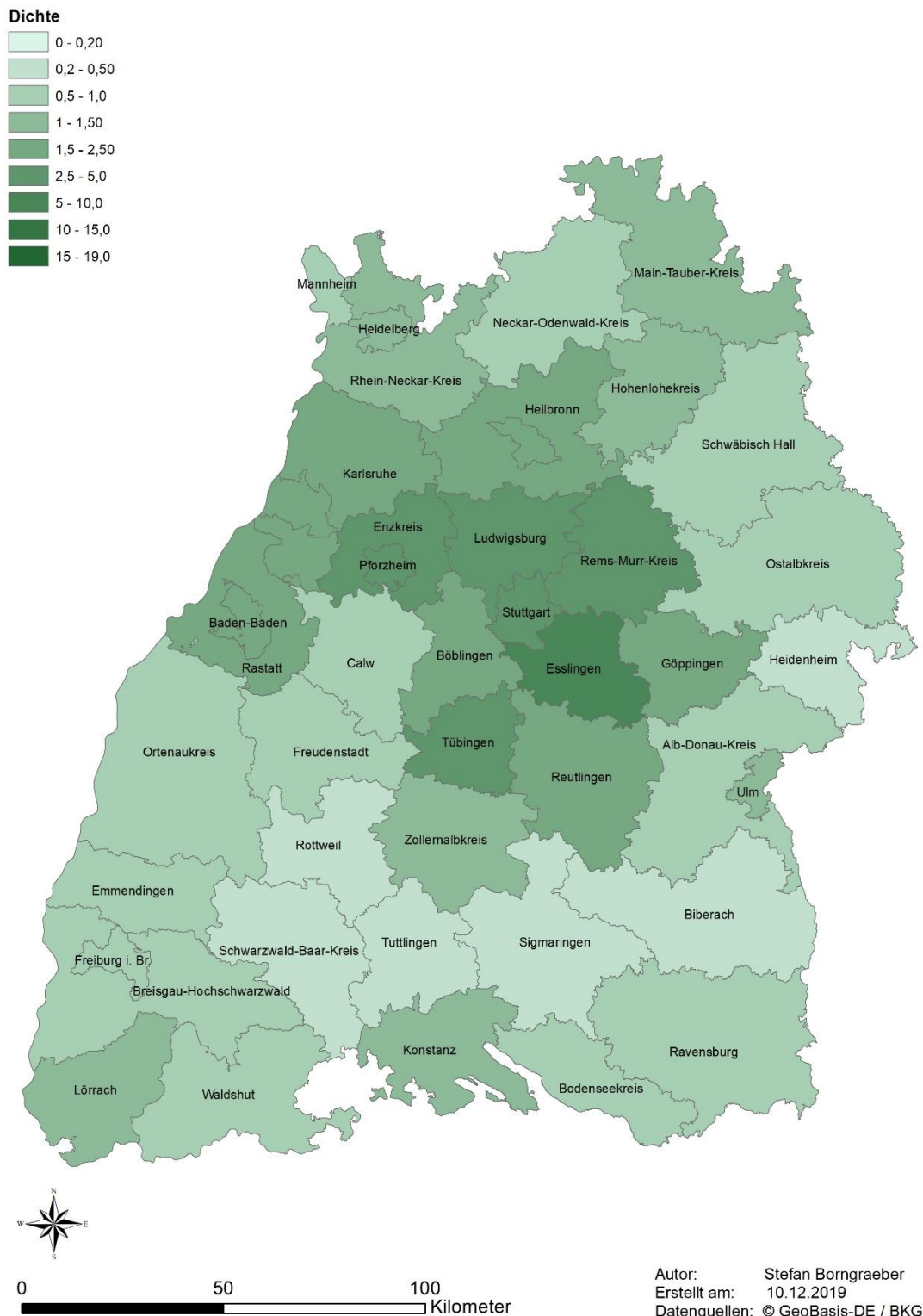


Abbildung 6: Dichte der Streuobstbäume (unkorrigierte Werte [Bäume / ha], Klassen 3–5) im Offenland bezogen auf die Fläche der einzelnen Land- bzw. Stadtkreise

Vergleich der Erhebungen von 2018 und 2008

Wird von 7.113.426 Bäume bezogen auf den Zeitraum 2012–2015 ausgegangen, ergibt dies im Vergleich zu den 9.230.999 Bäumen der Erhebung 2008, bezogen auf den Zeitraum 2000–2005, einen Verlust von 2.117.573 Bäumen bzw. 22,9 % innerhalb des vergangenen Jahrzehnts. Verwendet man für die Erhebung von 2008 dieselbe Maske der Obstplantagen wie bei der Erhebung von 2018,

liegen 656.235 Bäume der Erhebung 2008 innerhalb dieser Obstplantagen. Um eine vergleichbare Datengrundlage zu erhalten, müssen diese von den 9.230.999 Bäumen abgezogen werden. Damit ist für 2008 von einem Streuobstbaumbestand von 8.574.764 Bäumen auszugehen und der Rückgang wäre innerhalb des Zeitraumes von 10 Jahren auf 17,0 % zu beziffern.

Die Validation zur Klassifikation von 2008, welche anhand von 29.682 Einzelbäumen aus 140 Flächen³ á 1 km² durchgeführt wurde, ergab 64,3 % korrekt klassifizierte und entsprechend 35,7 % falsch klassifizierte Streuobstbäume. Eine erneute Validation der Klassifikation von 2008 anhand der 13 in 2018 verwendeten Flächen (Teilmenge der in 2008 validierten Flächen) anhand alter digitaler Orthophotos zur besseren Vergleichbarkeit der Validationsergebnisse ergab 55,9 % korrekt klassifizierte Streuobstbäume. Hingegen wurden 2018 in den Klassen 3-5 76% der Streuobstbäume korrekt klassifiziert. Die Klassifikationsgüte der Erhebung 2018 liegt damit deutlich über der von 2008. Der Anteil nicht erfasster Streuobstbäume auf den 13 Validationsflächen lag 2008 bei 53,4 % im Vergleich zu 20,6% 2018. 2018 wurde damit auch ein deutlich höherer Erfassungsgrad erreicht.

4 Diskussion

Einordnung der Ergebnisse

Die in der vorliegenden Klassifikation ermittelte Zahl an Streuobstbäumen liegt bei ca. 7,1 Mio. Hiermit ist im Vergleich zur Erhebung von 2008 innerhalb des Vergleichszeitraumes von 10 Jahren ein erheblicher Rückgang der Streuobstbäume in Baden-Württemberg zu verzeichnen. Die Gründe für den stetigen Rückgang sind vielfältig, wobei ein Hauptgrund in der fehlenden wirtschaftlichen Basis für den Streuobstbau liegt (ZEHNDER & WELLER 2006). Zudem ist das Alter der Bewirtschaftenden überwiegend weit fortgeschritten und eine Weitergabe an Nachkommen durch die oft nicht mehr gegebene familiäre, örtliche Verwurzelung sowie das geringe Interesse der Nachkommen an der Bewirtschaftung schwierig (KÜPFER 2010). Im vergangenen Jahrzehnt kam zudem noch ein erhöhter Intensivierungsdruck durch das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) hinzu. So stellte KASSUN (2018) bei Geländekartierungen fest, dass großflächigere Rodungen im vergangenen Jahrzehnt meist mit einer Intensivierung der Landnutzung in Form von Intensivgrünland oder Ackerumbruch einhergingen. Auch können Witterungsextreme mit langen Trockenperioden wie in den vergangenen Jahren im Zuge der fortschreitenden Klimaerwärmung den Bestandsrückgang beschleunigen (eigene Beobachtungen nach den Extremjahren 2003 und 2018). Damit konnte der lineare Rückgangstrend seit der Erhebung von 1965 trotz vielfältiger Förderprogramme nicht gestoppt werden. Setzt sich der lineare Trend in den kommenden Jahrzehnten fort, ist im Jahre 2050 mit kaum noch nennenswerten Streuobstbeständen in Baden-Württemberg zu rechnen.

Validation der Fernerkundung

Die Validation ergab eine vergleichsweise hohe Klassifikationsgüte für die Klassen 3–5. Die Validation zeigte allerdings, dass einige Bäume, welche in der Klassifikation als Streuobstbäume klassifiziert wurden, in der Felddatenerhebung nicht mehr vorgefunden wurden. Zwischen den für die Klassifikation verwendeten Luftbilddaten der Jahre 2012–2015 und der Felddatenerhebung 2018 liegen 3–5 Jahre in denen der Baumbestand einer gewissen Dynamik unterliegt, so dass eine exakte Validation nicht möglich ist. Auch ist die Orientierung im Gelände anhand der verwendeten analogen Luftbildkarten teilweise schwierig, so dass auch bei einer Feldkartierung Fehler unterlaufen können. Die Validation ergab weiterhin, dass etwa ein Fünftel des Obstbaumbestandes in den begangenen Flächen mit den verwendeten Klassifikationsalgorithmen nicht erfasst werden konnten. Diese Unterschätzung des Streuobstbaumbestandes ist vor allem auf Jungbäume zurückzuführen, deren Kronen in den photogrammetrischen Oberflächenmodellen in der gegebenen räumlichen Auflösung nur ungenügend abgebildet werden. Während sie bei den Geländebegehungen 2018 schon deutlich entwickelte Kronen hatten, entsprachen diese Bäume in den verwendeten Daten der Jahre 2012–2015 möglicherweise noch einem Jungstadium ohne erkennbare Krone. Jungbäume können folglich nur bei einem regelmäßigen Monitoring erfasst werden. Die erreichte Klassifikationsgüte kann also unter den gegebenen Rahmenbedingungen als vergleichsweise hoch erachtet werden.

³ Im Feld wurden wie in Kapitel 2.6 beschrieben 2008 nicht 140, sondern 94 Flächen begangen. Es erfolgten zusätzlich 26 Erhebungen aufgrund des geringen Streuobstbaumbestandes per Luftbild. 20 Flächen wurden als Nullflächen zur statistisch repräsentativen Hochrechnung hinzugefügt.

Die 2008 in den untersuchten 13 Validationsflächen erreichte Klassifikationsgüte ist im Vergleich deutlich geringer als die in der vorliegenden Untersuchung für die Klassen 3–5. Zudem konnte 2008 ein hoher Prozentsatz der Streuobstbäume gar nicht erfasst werden. Insofern wurden über die in der aktuellen Erhebung angewandten Methoden erheblich verlässlichere Ergebnisse generiert als in der Erhebung 2008.

Für die Erhebungen von 2008 und 2018 wurden unterschiedliche Datenbestände des ATKIS-DLM eingesetzt. Dies wirkt sich vor allem hinsichtlich der ausgewiesenen Obstplantagen aus. Sie nahmen 2018 (ATKIS-DLM, Stand 2015) eine deutlich größere Fläche ein als in dem 2008 eingesetzten Datenbestand (ATKIS-DLM, Stand 2005). Um die Ergebnisse beider Erhebungen vergleichen zu können, mussten die Baumzahlen der Erhebung 2008 entsprechend korrigiert werden. Auch wurde bei der Erhebung 2008 im Unterschied zur aktuellen Erhebung bei der Klassifikation die ATKIS-DLM-Maske für Streuobst nicht eingesetzt.

Einsatz photogrammetrischer Luftbilder

Die aktuelle Streuobsterhebung beruht erstmals auf der Datengrundlage photogrammetrischer Luftbilder. Im Vergleich zu LiDAR-Daten, wie sie bei der Erhebung 2008 verwendet wurden, erfordert die Verarbeitung photogrammetrischer Daten einen zusätzlichen Verarbeitungsschritt, um ein DOM zu generieren. Hierbei entstehen bei einer automatisierten photogrammetrischen Extraktion von Hochpunkten aus Luftbildern deutlich mehr Artefakte, als bei einer LiDAR-Befliegung, bei der Hochpunkte direkt aus der Zeitmessung zwischen ausgesandtem Laserstrahl und dessen Empfang nach einer Reflexion durch ein Bodenobjekt generiert werden. Die verwendeten Luftbilder wurden über einen Zeitraum von 3 Jahren erhoben und stammten zudem aus verschiedenen Jahreszeiten. Vor allem bei Bildern aus den Sommermonaten entstehen so hinsichtlich einer Gehölzklassifikation vermehrt Artefakte auf Ackerflächen (z.B. vereinzelt bei Anbau von Mais) in Form von Hochpunkten, welche in einer nachfolgenden Klassifikation von den Algorithmen als Baumpunkte interpretiert werden können. Die automatisierte Artefakt-Bereinigung nach wissensbasierten Regeln und aufgrund verschiedener Zusatzdaten (z. B. Fließgewässer, Straßen aus ATKIS-DLM, MEKA/FAKT-Daten) bei der Verwendung photogrammetrischer Daten ist damit deutlich aufwändiger als bei der Verwendung von LiDAR-Daten.

Der Vorteil photogrammetrischer Luftbilddaten für die Klassifikation von Streuobstbeständen besteht in der operationellen Generierung dieser Daten: Sie werden vom LGL auf Basis regelmäßiger landesweiter Befliegungen in dreijährigem Turnus zur Verfügung gestellt. Eine landesweite Streuobstklassifikation mittels der in der vorliegenden Arbeit entwickelten automatisierten Methoden, könnte folglich alle 3 Jahre stattfinden. Eine flächendeckende LiDAR-Befliegung fand in Baden-Württemberg aufgrund der vergleichsweise hohen Kosten bisher dagegen nur einmalig in den Jahren 2000–2005 statt.

Weitere Vorteile der Luftbilddaten gegenüber Laserscandaten liegen in der Option, die Farbreflexionswerte der einzelnen Pixel zu extrahieren und für die weitere Klassifikation der Objekte zu nutzen. Die institutseigene Software WESP importiert diese spektralen Reflexionswerte für jeden Hochpunkt, diese wurden aber im vorliegenden Projekt nicht genutzt, da hierfür umfangreiche Forschungsvorarbeiten notwendig gewesen wären. Zukünftige Erhebungen könnten bei entsprechenden Vorarbeiten hieraus auch Obstarten und Vitalität der Streuobstbäume erfassen.

Verwendung des ATKIS-DLM

Zur Reduktion der Datenmenge für die Klassifikation wurden Wald- und Siedlungsflächen, aber auch Flurstücke mit Obstplantagen nach ATKIS-DLM (2015) mittels entsprechender Masken von der nachfolgenden Prozessierung mit WESP ausgeschlossen. Allerdings sind vor allem Waldgrenzen im ATKIS-DLM oft ungenau, so dass hier teilweise Waldbestände in die Streuobstbaum-Klassifikation mit einbezogen werden und Klassifikationsartefakte entstehen. Da aber auch im Waldrandbereich häufig Streuobstbestände vorhanden sind, sollten diese Bereiche nicht von der Klassifikation ausgeschlossen werden. Die Waldgrenzen wurden deshalb gepuffert und diese Puffer ebenso wie Ackerflächen in die nachfolgende Prozessierung einbezogen. Die bei der Klassifikation innerhalb dieser Pufferflächen enthaltenen Baumpunkte wurden aber in separaten Klassen (Klasse 1 und 2) gespeichert. Diese unterliegen einem deutlich höheren Klassifikationsfehler als die außerhalb dieser Pufferzonen im Offenland gebildeten Klassen. Da aber auch hierin ein erheblicher Anteil an

Streuobstbäumen enthalten ist, wurden diese für eine eventuelle, spätere Korrektur der Datenbestände in lokalen und regionalen Anwendungen separat bereitgestellt.

Eine korrekte und standardisierte Einzelbaum- und Gehölztypenbestimmung ist sehr komplex und bedarf angepasster Algorithmen und wissensbasierter Regeln (ROLOFF 2001). Für die Segmentierung der Offenlandgehölze, die Generierung entsprechender Klassifikationsparameter und eine darauf basierende Vorklassifikation von Streuobstbäumen wurde die institutseigene Software WESP eingesetzt. Hierfür kam erstmals ein sogenannter Pflanzrasteralgorithmus zum Einsatz, welcher für jedes Flurstück unter Voraussetzung praxisüblicher Baum- und Reihenabstände ein optimales Pflanzraster berechnet und dieses mit dem Pflanzmuster des vorhandenen Baumbestandes vergleicht. Hierdurch konnten für einen Großteil der Flurstücke Streuobstbäume mit hoher Klassifikationsgüte erfasst werden. Allerdings hat auch dieser Algorithmus seine Grenzen, wenn z. B. auf sehr großen Flurstücken nur sehr wenige Obstbäume stehen oder im Waldrandbereich Nicht-Streuobstbäume einem ähnlichen Pflanzraster folgen. Auch gibt es Flurstücke auf denen die Bäume nicht einem derartigen Pflanzraster unterliegen, v. a. wenn zusätzlich Gebäude oder Ziergehölze auf den Flurstücken vorhanden sind.

Für die verfeinerte Klassifikation wurden ArcGIS-Modelle entwickelt. Hierbei wurden verschiedene Klassen definiert, in welche Streuobstbäume mit unterschiedlicher Klassifikationsgüte abgelegt wurden. In den Klassen 1–2 abgelegte Baumbestände sind mit einem großen Unsicherheitsfaktor hinsichtlich der Klassifikationsgüte behaftet. Die geringe Klassifikationsgüte in Klasse 1–2 wurde dabei im Wesentlichen durch fehlerhafte ATKIS-Daten sowie Artefakte auf landwirtschaftlichen Flächen verursacht.

Bäume, welche entsprechend der verwendeten Klassifikationskriterien mit hoher Wahrscheinlichkeit Streuobstbäume sind, wurden in den Klassen 3–5 abgelegt. Für diese Klassen wurde eine deutlich höhere Klassifikationsgüte erreicht. Allerdings sind auch hier Artefakte z. B. in Form von Stromleitungspunkten enthalten, welche sich ohne entsprechende Daten zur genauen Lage der Leitungen nicht herausfiltern lassen. Auch stehen unter solchen Leitungen mancherorts Streuobstbäume, sodass eine Trennung kaum möglich ist.

5 Schlussfolgerungen für die Praxis

Die hohe räumliche Auflösung und die vergleichsweise hohe Klassifikationsgüte der in der vorliegenden Untersuchung generierten Daten zu den Streuobstbeständen Baden-Württembergs können sowohl auf Landes- und Kreisebene als auch auf Gemeindeebene als Planungsgrundlage dienen und im Falle einer regelmäßigen Erfassung auch die jeweiligen Veränderungen räumlich explizit dokumentieren. Für Planungszwecke sollten vor allem die Klassen 3–5 herangezogen werden. Die Klassen 1–2 können nur nach einem erheblichen Korrekturaufwand verwendet werden, wobei der Aufwand für eine entsprechende Korrektur geringer ist als für eine Neudigitalisierung. Auch die Klassen 3–5 sollten jedoch im konkreten Planungsprozess durch Feldbegehungen und Kartierungen überprüft werden, da mittels Fernerkundungsverfahren nicht die Klassifikationsgüte einer Kartierung erreicht wird. Dagegen ist der personelle Aufwand bei einer landesweiten Erhebung mittels Fernerkundungsverfahren deutlich geringer. Sollen alle 5 Klassen verwendet werden, ist je nach Fragestellung auch die Arbeit mit einem Teildatensatz möglich: Im Rahmen der Aktualisierung des Fachplans landesweiter Biotopverbund (LUBW 2014) werden die aktuellen Streuobstdaten (alle 5 Klassen) beispielsweise für die Berechnung von besonders wertvollen Biotopverbundflächen (Kernflächen mittlerer Standorte) verwendet. Eine Aufnahme der Streuobstbäume aus der aktuellen Erfassung erfolgt hier voraussichtlich erst ab einer bestimmten Bestandsgröße und Mindest-Baumdicke.

Aufgrund der operationellen Durchführung von Luftbildbefliegungen durch das LGL sowie der weitgehenden Automatisierung des neu entwickelten Klassifikationsverfahrens wurde neben aktuellen Planungsgrundlagen für Maßnahmen zur Erhaltung und Förderung auch die Voraussetzung für ein automatisiertes Monitoring der Streuobstbestände Baden-Württembergs in einem möglichen dreijährigen Turnus geschaffen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund des großen ökologischen Wertes und der hohen regionalen Verantwortung Baden-Württembergs für Streuobst von besonderer Bedeutung. Neben der Erfassung der Einzelbäume und ihrer Form und Größe könnten – nach weiteren Forschungsarbeiten – in Zukunft mit spektralen Fernerkundungsverfahren auch Daten zur Obstart und zur Vitalität der einzelnen Bäume gewonnen werden. Diese Daten könnten eine wichtige Grundlage für die Abschätzung von Erntemengen sowie die Planung und Kontrolle von Erhaltungsmaßnahmen darstellen.

Neben den Vorteilen der Einzelbaumerfassung mittels Photogrammetrie zeigen die Ergebnisse der Studie allerdings auch die Grenzen der Fernerkundungsverfahren auf. So ist eine korrekte Erfassung von Jungbäumen auf der Basis der verwendeten Datengrundlage mit den eingesetzten Klassifikationsalgorithmen nicht möglich. Die Erfahrungen zeigen, dass eine Integration verschiedener Fernerkundungssensoren mit hoher räumlicher und spektraler Auflösung sowie Expertenwissen zu Geschichte und Struktur der Streuobstwiesen für die Anwendung automatisierter Fernerkundungsverfahren notwendig sind. Auch wenn mit den im vorliegenden Projekt eingesetzten wissensbasierten Verfahren bereits eine vergleichsweise hohe Klassifikationsgüte erreicht wird, bieten die sich rasant entwickelnden technischen Möglichkeiten stetig Potenzial für Optimierung. Solche Optimierungen könnten beispielsweise auf Basis von künstlicher Intelligenz (KI) erfolgen. Hierbei könnten die nun vorhandenen Referenzflächen jeweils in aktualisierter Form als Trainings- und Validierungsgebiete dienen. Zur Durchführung würden sich Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens, wie zum Beispiel der Random Forest-Algorithmus, eignen. Ein auf diese Weise optimierter Klassifikationsansatz könnte die Unterschätzung wie auch die Überschätzung nochmals minimieren. Allerdings wird eine Vergleichbarkeit von Folgeuntersuchungen bei einem Methodenwechsel erschwert. Mit einem zeitlichen Mehraufwand können aber auch vorhandene Daten mit verbesserten Methoden neu prozessiert werden, um somit eine gewisse Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

6 Literatur und Quellen

ALBERTZ, J. (2009): *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft und Satellitenbildern.* – 4. Auflage, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt: 254 S.

BKG – BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2020). *Geodaten der deutschen Landesvermessung (GeoBasis-DE): Verwaltungsgebiete 1:250.000 - VG250 und VG250-EW.*
<https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/verwaltungsgebiete-1-250-000-ebenen-stand-01-01-vg250-ebenen-01-01.html>

BPA – BUNDESPRESSEAMT (2019): *Aktionsprogramm beschlossen – Insekten besser schützen.*
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/aktionsprogramm-insektenschutz-1581358> (letzter Zugriff: 19.05.2020).

BURR, L., LUCAS, E., SIEGLOCH, C.W., & H. WINKELMANN (1930): *Christ-Lucas Gartenbuch. Anleitung zur Anlage und Pflege von Zier-, Gemüse-, und Obstgärten, zur Blumenpflege im Zimmer und zur häuslichen Obst- und Gemüseverwertung.* 24. Aufl., Eugen Ulmer Stuttgart: 472 S.

CONGALTON, R. G. (2001): *Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information.* – *International Journal of Wildland Fire*, 10: 321-328.

DEUSCHLE, J. (2000): *Besiedlungsstrategien und Dynamik der Laufkäferzönosen im Extensivgrünland kleinparzellierter Streuobstwiesen unterschiedlichen Managements.* Dissertation. Universität Hohenheim

DLR – DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (2013): *Bestimmung von Gebäude- und Vegetationshöhen im Berliner Stadtgebiet, Ergebnisdokumentation.*
https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/0610_Ausgabe2013_Endbericht_Gebaeude_Vegetationshoehen_Berlin.pdf, letzter Zugriff: 22.05.2020.

GÜLL, R. (2015): *Streuobstwiesen – Von der früheren Normalität bis zur heutigen Einzigartigkeit.* *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg* 12: 38-42

HASSLER, M., HASSLER D. & ALBERTI J. (2004): *Obstwiesen im Kraichgau.* Verlag Regionalkultur, Heidelberg: 320 S.

KASSUN, B. (2019): *Stand Comparison of Traditional Orchards in Baden-Württemberg 2008 and 2018.* MSc Thesis University of Hohenheim: 76 S.

KHOSRAVIPOUR, A., ISENBURG, M., SKIDMORE, A. K., WANG, T. & Y. A. HUSSIN (2014): *Development of an algorithm to generate a LiDAR pit-free canopy height model.* Enschede, Niederlande: University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). <https://groups.google.com/forum/#!topic/lastools/ulnVgWA6Ahl> (letzter Zugriff: 20.04.2014).

LGB – LANDESVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION BRANDENBURG (2019): *Landschaftsbasisdaten – Luftbilder.*
<https://www.geobasis-bb.de/geodaten/lubisast.htm> (letzter Zugriff: 06.12.2019).

LGL – LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDENTWICKLUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (2015): *Digitale ATKIS-DLM-Datensätze.* <https://www.lgl-bw.de> (letzter Zugriff: 20.04.2014).

LUBW – LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (2014): *Fachplan Landesweiter Biotopverbund – Arbeitsbericht*. 2. Aufl., *Naturschutz-Praxis Landschaftsplanung* 2: 72 S.

MAYER, S. (2004): *Automatisierte Objekterkennung zur Interpretation hochauflösender Bilddaten in der Erdfernerkundung*, Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.

MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2009): *Streuobstwiesen in Baden-Württemberg. Daten, Handlungsfelder, Maßnahmen, Förderung*. Stuttgart: 26. S.

MLR (2015): *Streuobstkonzeption Baden-Württemberg. Aktiv für Reichtum und Vielfalt unserer Streuobstlandschaften*. Stuttgart.

RÖSLER, M. (1992): *Erhaltung und Förderung von Streuobstwiesen*. 2. Korrigierte und ergänzte Auflage 1996, Hrsg. Gemeinde Boll: 300 S.

ROLOFF, A. (2001): *Baumkronen: Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 181 S.

SCHMIEDER, K., KRISMANN, A., BALKO, J. & C. KÜPFER (2011): *Die Streuobsterhebung in Baden-Württemberg 2009. – Berichte des Instituts für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim Beiheft 26, (Hrsg.): Schmieder, K. und Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim: 33–48.*

STALA – STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1967): *Der Obstbau in Baden-Württemberg. Ergebnisse der Obstbaumzählung 1965. Statistik von Baden-Württemberg Band 135: 161 S.*

STM – STAATSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2020a): *Beteiligungsportal Baden-Württemberg: Artenschutz – Vorgeschichte: Volksbegehren und Eckpunkte*. <https://beteiligungsportal.baden-wuerttemberg.de/de/mitmachen/lp-16/staerkung-der-biodiversitaet/volksbegehren> (letzter Zugriff: 19.05.2020).

STM (2020b): *Artenschutz – Gesetzentwurf zur Stärkung von Naturschutz und Landwirtschaft beschlossen*. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/gesetzentwurf-zur-staerkung-von-naturschutz-und-landwirtschaft-beschlossen> (letzter Zugriff: 19.05.2020).

ZEHNDER M. & WELLER F. (2006): *Streuobstbau – Obstwiesen erleben und erhalten*. Ulmer, Stuttgart: 160 S.