

GIS-gestützte Analyse zum Wölbäckervorkommen in der Prignitz

GIS-based Analysis for the Detection of Medieval Ridge-and-furrow Soil Cultivation Patterns within the Prignitz Region (North-Eastern Germany)

Dajana Noack

dajananoack@hotmail.de

Zusammenfassung: Wölbäcker sind agrarmorphologische Relikte, deren Entstehung bis ins Mittelalter zurückreicht. Heutzutage sind sie zumeist unter Wäldern erhalten geblieben und geben u. a. Aufschluss über siedlungsgeschichtliche Entwicklungen. Die Existenz der Altäcker innerhalb der Prignitz gilt bisher als unzureichend erfasst und kaum erforscht. Da der Einsatz des Airborne Laserscannings seit über 15 Jahren die Luftbildarchäologie bei der Auffindung historischer Objekte ergänzt, eine effiziente bzw. systematische Auswertung von LiDAR-Daten aber noch in den Anfängen steckt, befasst sich der gegenständliche Beitrag mit der Erarbeitung einer automatisierbaren Methode, um die Landschaftselemente anhand des hoch aufgelösten Geländemodells flächendeckend zu detektieren.

Schlüsselwörter: Geomorphometrie, mittelalterliche Wölbäcker, objektorientierte Bildanalyse

Abstract: *Medieval ridge-and-furrow soil cultivation patterns that have been preserved until today provide valuable information regarding early settlement development as well as cultural landscape history. Their locations within the Prignitz region, a north-eastern German landscape, have hardly been assessed and are still insufficiently researched. Although in the past numerous historic objects have been identified with the help of airborne laser scanning technology a systematic approach of LiDAR data analysis for this matter still remains at a relatively early stage. Therefore, this paper presents results of a semi-automated method for the relict based on a high-resolution digital elevation model.*

Keywords: *Geomorphometry, medieval ridge and furrow, object-based image analysis*

1 Motivation und Stand der Forschung

Wölbäckerbeete bildeten sich maßgeblich unter Anwendung des Beetpfluges infolge des wiederholten Auf- und Zusammenpflügens über einen langen Zeitraum hinweg heraus (Fries, 1995). Während die mittelalterlichen Feldfluren Wölbungshöhen von bis zu 1 m und verhältnismäßig geringe Breiten (ca. 3 bis 20 m) aufweisen, wurden die Scharen parallel verlaufender Gewanne häufig auf bis zu mehrere hundert Meter Länge angelegt und sind auf beiden Seiten durch Furchen begrenzt (Ewald, 1969; Wulf, 2001). Sie gelten als Zeugnisse historischer Bewirtschaftungsformen und dienen als bodenkundliche Archive der Siedlungs- und Kulturlandschaftsforschung (LABO, 2011). Deren Schutzwürdigkeit begründet sich in der Einmaligkeit, da sie im Laufe der Zeit durch natürliche Prozesse überprägt sowie durch anthropogene Einflüsse zunehmend zerstört wurden und nicht wiederherstellbar sind. Ihre Unterschutzstellung setzt jedoch zunächst die Kenntnis zu deren Standorten voraus.

In Brandenburg wurden Wölbäcker bisher sowohl in der Lausitz (südöstliche Region) als auch in der Prignitz (im Nordwesten des Bundeslandes) lokalisiert. Innerhalb dieses Landschaftsraums führten floristisch-vegetationskundliche Untersuchungen durch Wulf (2001) Ende der 1990er-Jahre zu einem ersten Überblick bezüglich der Verbreitung derartiger Agrarrelikte. Im Zuge dessen wurden Wölbäcker in etwa 75 Wäldern festgestellt, wobei 90 % davon auf Forstgebiete entfielen, die eine mehrhundertjährige Habitatkontinuität (200 bis 250 Jahre) aufweisen. Zu diesen sogenannten „historisch alten“ Wäldern gehört u. a. auch das etwa 550 ha große und in der Ostprignitz gelegene Forstrevier der Natteheide, auf welchem zahlreiche Wölbäcker erhalten geblieben sind und mit denen sich Nagel (1999) im Rahmen ihrer Diplomarbeit bezüglich Altersdatierung, Verbreitungskartierung und morphologischer Charakterisierung umfassend auseinandergesetzt hat.

Da Wölbäcker in der Prignitz bisher fragmentarisch dokumentiert wurden und deren Kartierung durch Feldprospektionen in zum Teil schwer zugänglichen Gebieten äußerst zeit- und arbeitsintensiv wäre, ergibt sich die Notwendigkeit, ein automatisierbares Detektionsverfahren zu entwickeln, um Rückschlüsse auf deren tatsächliche Verteilung im Untersuchungsgebiet (UG) zu ziehen und die derzeit noch bestehenden Kartierungslücken zu schließen.

Obwohl diese Spuren früherer Feldbestellung vor Ort mit bloßem Auge oftmals weniger gut erkennbar sind, zeichnen sie sich deutlich in dem aus LiDAR-Daten generierten hoch aufgelösten Digitalen Geländemodell (DGM) ab. Im Vergleich zur Luftbildauswertung besteht der enorme Vorteil dessen in der Detailgenauigkeit vor allem in bewaldeten Landschaften aufgrund der hohen Durchdringungstiefe der Laserstrahlen. Zahlreiche Beispiele aus der Literatur legen dar, wie in den letzten beiden Jahrzehnten Bodendenkmäler anhand der DGM-Auswertung erfolgreich auffindig gemacht wurden. Im Sinne einer plastischeren Darstellung solcher subtiler Strukturen werden dafür in der Praxis oft Schräglichtschummerungen erstellt. Wesentlich von Nachteil daran ist allerdings, dass die Erkennbarkeit an archäologischen Relikten von der gewählten Beleuchtungsrichtung (Azimut) und -höhe über dem Horizont abhängig ist. Wie am Beispiel eines Wölbäckerreliefs unter Wald aufzeigt, kann dies zu potenziellen Fehlinterpretationen führen (vgl. Abb. 1).

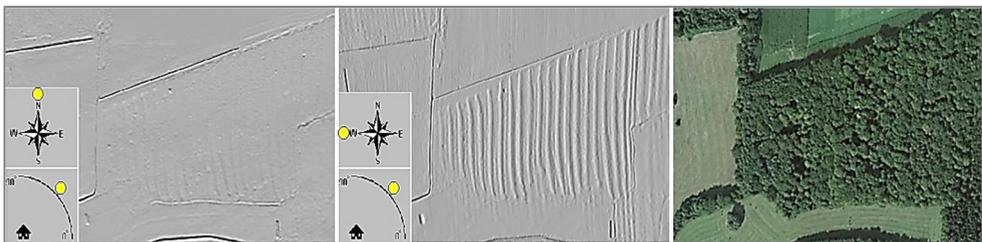


Abb. 1: Problematik der Wölbäckererkennung in Abhängigkeit der für die Reliefschattierung verwendeten Beleuchtungsquelle (Geodaten: LGB, 2012, 2017)

Wie unter anderem Devereux, Amable, and Crow (2008) beschreiben, gilt die konventionelle Schummerungsdarstellung angesichts der mit der Beleuchtungsproblematik einhergehenden verminderten Wahrnehmbarkeit für archäologische Detektionen als nicht optimal und führte in den vergangenen Jahren zur Entwicklung neuer und von der Lichtquelle unabhängiger Visualisierungstechniken. Als Beispiele hierfür sind die *sky-view-factor*-Methode (Zakšek et

al., 2011), die *openness*-Berechnung (Doneus, 2013; Yokoyama et al., 2002) oder die Erstellung eines *local relief* (Hesse, 2010) zu nennen.

Vordergründig zielen diese Techniken jedoch auf eine rein visuelle Auswertung ab, sodass die Identifizierung kulturgeschichtlicher Geländestrukturen dem Interpretationsvermögen des Betrachters unterliegt. Eine darauf basierende manuelle Digitalisierung von Bodendenkmälern ist aber stets subjektiv und auf gleiche Weise nicht reproduzierbar (Schneider et al., 2015). Angesichts dessen und auch vor dem Hintergrund, dass die genannten Visualisierungsmethoden in den letzten Jahren im Rahmen wissenschaftlicher Studien als Vorverarbeitungsschritt für halb automatisierte Klassifikationen genutzt wurden, um anthropogene Relikte unter Verwendung des Georeliefs rechnergestützt zu kartieren (Sevara et al., 2016; Trier et al., 2015), steht die DGM-basierte Erfassung der Wölbäcker der Prignitz im Fokus dieses Beitrages. Anschließend an deren Identifikation wurde außerdem den Forschungsfragen nachgegangen, wie die Landschaftselemente im UG verteilt sind und auf welchen Boden- und Vegetationstypen die Langstreifenäcker vorkommen.

2 Umsetzung

2.1 Datengrundlagen

Die vorliegende Studie erfolgte in Kooperation mit dem Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. in Müncheberg, welches den Großteil an relevanten und aus unterschiedlichen Bezugsquellen stammenden Grundlagendaten bereitstellte. Dazu gehörte zum einen das DGM1 des UGs, welches sich auf Befliegungen der Jahre 2008 (DGM Prignitz) und 2009/10 (DGM Dosse) stützt und im ASCII-Format vorlag. Zum anderen wurden zwecks Kontextwissen zur Wölbäckerextraktion Geofachdaten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) sowie Landnutzungsdaten des Digitalen Landschaftsmodells (Basis-DLM) im Vektorformat herangezogen. Die Referenzen der Genauigkeitsanalyse fußen auf den punktuellen Wölbäckerstandorten nach Wulf (2001). Boden- und vegetationskundliche Untersuchungen wurden mithilfe der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (BÜK200), Datensätzen der Biotop- und Landnutzungskartierung (BTLN) sowie Auszügen aus dem Datenspeicher Wald, Version 2 (DSW2) durchgeführt. Die für die Arbeit akquirierten Daten lassen sich der Tabelle 1 entnehmen.

Tabelle 1: Übersicht verwendeter Daten

Datensatz	Format	Stand	Bezugsquelle
DGM1 (Prignitz, Dosse)	ASCII	2008, 2009/2010	Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
ATKIS-Layer	SHP	2016	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BÜK200	SHP	2011	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BTLN (CIR-Biototypen)	SHP	2009	Ministerium für Ländliche Entwick- lung, Umwelt und Landwirtschaft
Wölbäckerstandorte	KML	2001	Wulf (2001)
Waldflächen/Bestockung	SHP	2011	DSW2, ZALF
DOP	TIFF	2018	Esri and GeoEye (2018)

2.2 Wölbäckeridentifikation

Lösungsansatz

Der technische Fortschritt von Sensorsystemen resultierte im Laufe der Zeit in einer immer höheren Präzision und somit in einer genaueren räumlichen Auflösung von Fernerkundungsdaten. Dies ist mit einer zunehmend großmaßstäbigen Detektion von Landschaftselementen verbunden und erfordert hinsichtlich der Auswertungsansätze einen Paradigmenwechsel, indem nicht mehr nur einzelne Rasterzellen, sondern vielmehr Pixelgruppen erfasst werden (Blaschke & Strobl, 2001). Anders als bei pixelbezogenen Auswertungen, welche stets das individuelle Rasterelement als Informationsträger betrachten, erfolgt bei einer objektorientierten Bildanalyse (OBIA, object-based image analysis) deren Zusammenschluss. Daraus entstandene Segmente können anschließend basierend auf nutzerspezifisch definierten Regeln, wie deren topologische Beziehungen, aggregiert und kategorisiert werden. Der entscheidende Vorteil der OBIA gegenüber der Pro-Pixel-Analyse für die Detektion von Wölbäckerböden begründet sich in der Annahme, dass bei der Objektabgrenzung aus hochaufgelösten Geländedaten eine Rasterzelle mit hoher Wahrscheinlichkeit der gleichen Kategorie wie ihr Nachbar angehört und somit der Nachteil des „salt and pepper“-Effekts (Pixelrauschen) unterbunden wird (Blaschke, 2000b; Drăguț & Eisank, 2011). Die Erfassung der Altfluren mittels OBIA wurde letztlich mithilfe der Bildanalysesoftware eCognition Developer (Version 9.2.1) der Firma Definiens Imaging GmbH umgesetzt. Die in mehrere Stufen gegliederte methodische Vorgehensweise ist im unteren Schema dargestellt (vgl. Abb. 2).

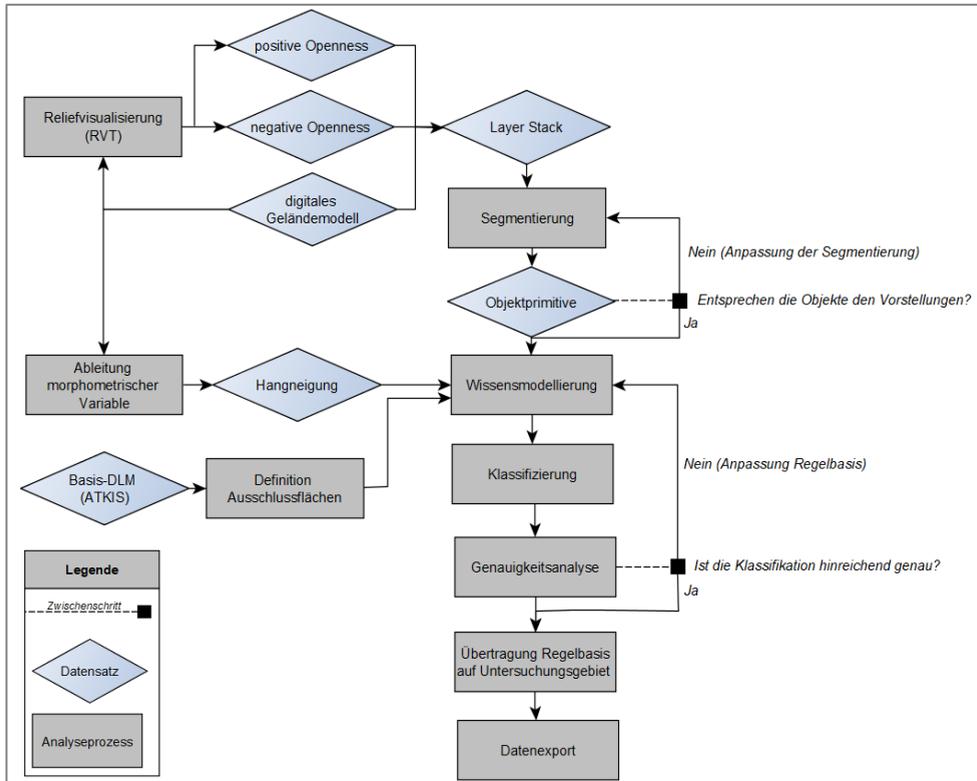


Abb. 2: Workflow-Diagramm zur Lokalisierung von Wölbäckern

Topographic Openness

Da sich laut Kocalj & Hesse (2017), Hesse (2016) und Doneus (2013) die topographic openness für die automatisierte Feature-Extraktion eignet, wurde diese schließlich zur Identifizierung der Wölbäcker herangezogen. Anders als beim schattierten Relief wird bei dieser Visualisierungsmethodik eine diffuse Beleuchtung mit homogener Helligkeit durch eine auf der Rasterzelle zentrierte Sphäre simuliert. In Abhängigkeit des gewählten Suchradius sowie der Anzahl an Radiallinien wird entlang dieser der durch die umgebende Topographie maximale Zenitwinkel bestimmt. Aus dessen Mittelwert leitet sich die positive openness ab. Bezieht man sich bei der Berechnung auf den Nadir, so ergibt der Mittelwert aller maximalen Winkel die negative openness (Hesse, 2016).

Wie die folgenden Prinzipskizzen nach Yokoyama et al. (2002) entlang zweier unterschiedlich ausgeprägter Geländeprofile in Ost ($\alpha 90, \beta 90$)-West ($\alpha 270, \beta 270$)-Ausrichtung veranschaulichen, gibt die Visualisierungstechnik Aufschluss über den Expositionsgrad von Geländestrukturen. Während negative openness Konkavität aufzeigt, verdeutlicht positive openness hingegen Konvexität.

Die DGM-Visualisierungen ließen sich anhand des Open-Source-Werkzeugs Relief Visualisation Toolbox (Version 1.3) generieren, das von Kokalj et al. (2016) am Forschungszentrum der Slowenischen Akademie der Wissenschaften und Künste in Ljubljana entwickelt wurde.

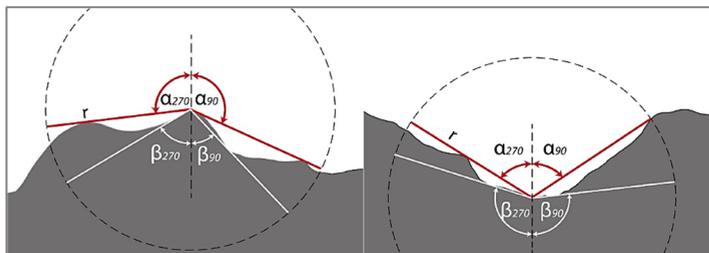


Abb. 3: Schematische Darstellung der auf einem Pixel zentrierten Sphäre zur Berechnung der positiven openess (α , rote Linie) und negativen openess (β , weiße Linie) nach Yokoyama et al. (2002)

Festlegung von Ausschlussflächen

Im Vorfeld der OBIA sollten Areale, auf denen Wölbäcker aufgrund von Überprägungen, Bodenversiegelungen oder Einebnungen nicht mehr vorkommen können (z. B. Bebauungen auf Siedlungsflächen oder Verkehrsstrassen), außer Acht gelassen werden. Um potenzielle false-positive-Klassifizierungen zu vermeiden, wurde die Bildszene um Ausschlussflächen, die auf Vektordaten des Basis-DLM beruhen, reduziert. Die Gesamtfläche der Ausschlussmaske beläuft sich auf ca. 229,4 km², was in etwa 7,7 % des UGs entspricht.

OBIA mit eCognition

Das Kernkonzept der OBIA in eCognition beruht auf dem Aufbau hierarchischer Prozessstrukturen, die eine transparente und automatisierte Verarbeitung ermöglichen. Hauptarbeitsschritte für die Erstellung eines Regelwerkes umfassen die Vorgänge der Segmentierung und der Klassifizierung.

Als initialer Schritt der OBIA wird bei der Segmentierung die Bildszene in disjunkte Regionen abgegrenzt, sodass im Zuge der Pixelgruppierungen Objekte mit semantischer Bedeutung (meaningful objects) entstehen, deren Erscheinungsbild möglichst dem der realen Landschaftselemente gleicht (Blaschke, 2000a). Eingangsdatensätze hierfür bildeten die thematischen ATKIS-Layer sowie die Bandkombination (layer stack) aus DGM und topographic openess. Der Lösungsansatz basierte auf der landschaftsanalytischen Grundannahme, dass geographische Phänomene stets abhängig vom Betrachtungsmaßstab sind und sich in homogene Einzelemente zerlegen lassen (Lang & Blaschke, 2007). Dazu schlugen O'Neill et al. (1989) sowie Hay et al. (2002) vor, zumindest drei inhärente Skalenebenen einzubeziehen, sodass, diesen Ansätzen folgend, die Lokalisierung der Feldfluren auf mehreren Ebenen erfolgte, welche horizontal und vertikal miteinander vernetzt sind (vgl. Abb. 4). Innerhalb des obersten Levels war das Ziel, Objektprimitive zu generieren, welche im Wesentlichen entlang der Parzellengrenzen verlaufen bzw. in diesen enthalten sind. Auf unterster Ebene lag das Hauptaugenmerk auf der Generierung filigraner Segmente, die Täler und Aufwölbungen der Ackerrelikte verkörpern. Das Fokallevel (Level 2), welches im Zentrum der Betrachtungen steht, umfasste schließlich die Wölbäckerfelder, die sich aus der Aggregation schmaler

Senken- und Erhebungstreifen ergaben. Da keine festen Standards zur Wahl der Segmentierungsparameter existieren, wurde iterativ vorgegangen, mit dem Ziel, die durchschnittliche Objektgröße dem Betrachtungsmaßstab anzupassen.

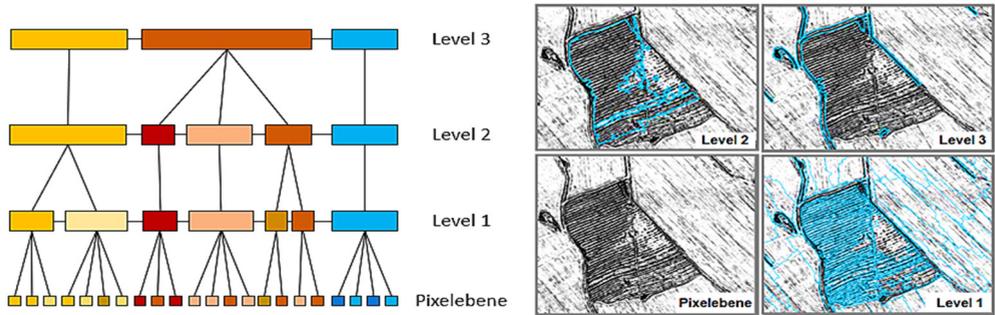


Abb. 4: Objektebenen zur Abgrenzung von Wölbäckern

Aufbauend auf den durch die Segmentierung hervorgegangenen Bildelementen erfolgte deren thematische Zuordnung. Dabei wurde a-priori-Wissen über sowie Zusammenhänge zwischen den realen Weltobjekten und features auf virtueller Ebene im Vorfeld mithilfe eines semantischen Modells konzeptualisiert. Das Schema in Abbildung 5 zeigt auf, mithilfe welcher aus Bilddaten ableitbaren Indizien sich die morphologischen Eigenschaften (Abstraktionsebene) und die räumlichen Ausprägungen der Landschaftselemente (semantische Ebene) approximieren lassen. Wie aus dem Modell ersichtlich wird, dienten Textur-, Topologie- und Formparameter als Grundlage zur Aufstellung adäquater Klassifikationsregeln.

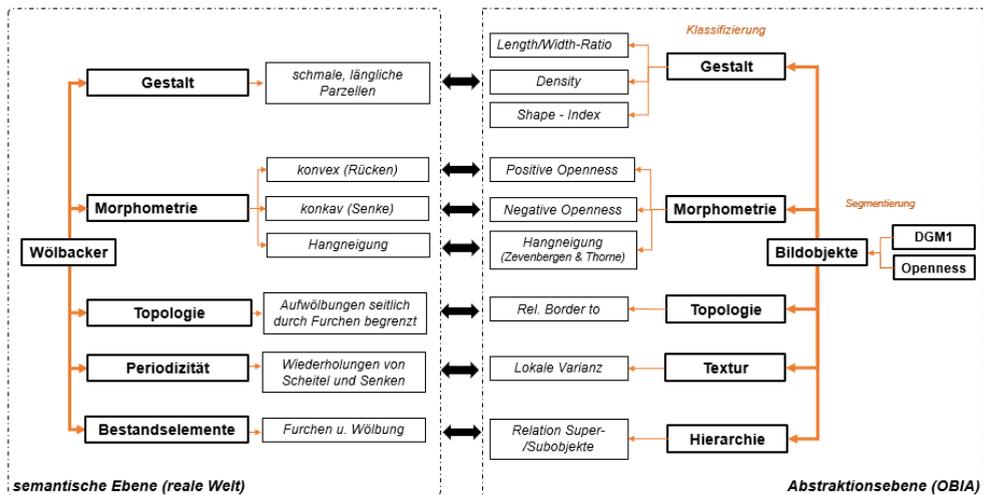


Abb. 5: Gegenüberstellung der Wölbäckermerkmale mit digitalen Objekten

Für die Klassenzugehörigkeit wurden neben der Definition binärer Entscheidungsregeln auf Grundlage von Schwellenwerten auch unscharfe Fuzzy-Logikansätze mithilfe von Zugehörigkeitsfunktionen gewählt, deren Parameterwerte iterativ bestimmt wurden. Bei den Klassendefinitionen handelt es sich um die Verdachts- und Ausschlussflächen (Level 3), die Gruppen „Wölbacker“ und „kein Wölbacker“ (Level 2) und schließlich die Klassen „Senke“ und „Erhebung“ (Level 1). Die nachfolgende Grafik verdeutlicht Hierarchie an thematischen Gruppen bzw. übergeordnete Super- und untergeordnete Subelemente.

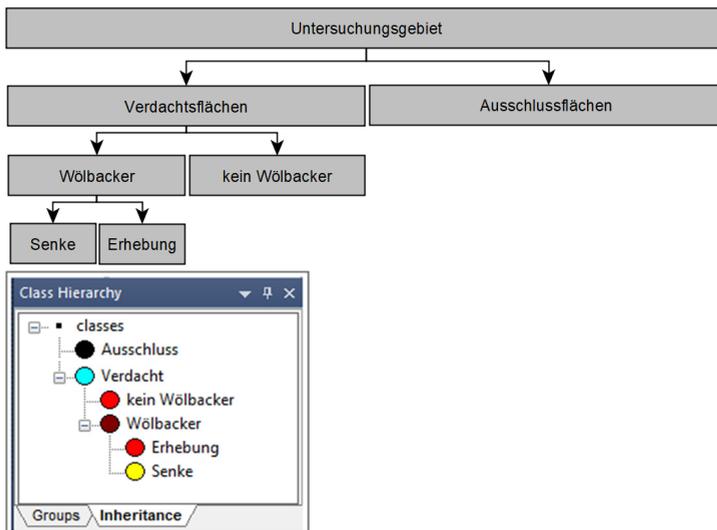


Abb. 6: Thematische Ebenen mit zugehörigen Objektklassen

Da bei der Detektion der Landschaftsphänomene Objekte der realen Welt abstrahiert werden, führt die damit verbundene Generalisierung dazu, dass deren Komplexität nie vollständig erfasst werden kann. Demzufolge war es unerlässlich, im Anschluss an die Klassifizierung eine Genauigkeitsanalyse durchzuführen, um festzustellen, inwiefern sich der gewählte Ansatz als praxistauglich erweist und zuverlässige Ergebnisse erzielt werden. Hierzu wurden sechs Testgebiete mit einer Fläche von jeweils 26 km², in denen Wölbäcker nach Wulf (2001) vorkommen, ausgewählt und innerhalb dieser Referenzflächen erstellt. Die OBIA-Ergebnisse wurden schließlich hiermit verglichen und die Güte des entwickelten Regelsatzes anhand der Konfusionsmatrix bestimmt.

2.3 Verteilung und Standortverhältnisse

Im Anschluss an die Wölbäckerdetektion wurde deren Verbreitung im UG anhand geostatistischer Techniken der Punktmusteranalyse (point pattern analysis, PPA) untersucht. Dazu wurden die erfassten Flächen im Vorfeld in punktuelle Standorte überführt. Das PPA-Grundprinzip ist der Prüfstatistik entlehnt, welches sich auf den Vergleich eines empirischen mit einem theoretischen Punktmuster stützt, wobei Letzteres einer strikten räumlichen Zufallsverteilung (complete spatial randomness, CSR) unterliegt. Dabei kam die K-Funktion (kernel density function) nach Ripley (1977) sowie deren Transformation (L-Funktion) zum

Einsatz. Diese berücksichtigt alle Distanzen zwischen den Standorten, sodass Erkenntnisse zu kleinräumigen Ausprägungen bezüglich Dispersion oder Clusterung ermöglicht werden, ohne den Gesamtkontext des UGs auszublenden (O’ Sullivan & Unwin, 2010).

Um Aussagen über Bodengesellschaften zu treffen, auf denen die Flurrelikte erhalten geblieben sind, wurden die OBIA-Klassifikationen mit der BÜK200 überlagert. Zur Klärung der Forschungsfrage bezüglich der auf den Feldfluren vorhandenen Vegetation wurde auf die landesweite Biotoptypenkartierung zurückgegriffen. Weiterhin wurde den Feldbeobachtungen von Wulf (2001), dass Wölbäcker heute zumeist unter historisch alten Wäldern vorkommen, nachgegangen, indem Verschnitte der auf Forstgebieten befindlichen Ergebnisflächen mit den Geometrien alter und historisch alter Wälder erfolgten. Darüber hinaus basiert die vegetationskundliche Analyse auf Auszügen aus dem DSW2, einem Gemeinschaftsprojekt der Landesforstverwaltungen Thüringen Forst, Landesbetrieb Forst Brandenburg und Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, welches u. a. Aufschluss über die Bewirtschaftung sowie Ausprägung der Wälder gibt.

3 Ergebnisse

Bei der Beurteilung der Übertragbarkeit des entwickelten Regelsatzes fand eine Differenzierung der Testgebiete zwecks Kalibrierung und Validierung statt. Während im Rahmen der Kalibrierung für drei Gebiete versucht wurde, geeignete Parameterwerte herzuleiten, erfolgte die Validierung für die restlichen drei Areale, um eine Aussage hinsichtlich der Allgemeingültigkeit der Methode zu treffen. Die Ergebnisse einer jeden Teilszene sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 2: Klassifikationsgenauigkeit des Regelwerks

	Gesamtgenauigkeit [%]	Kappa-Index [%]
Kalibrierung		
Testgebiet 1	96,3	78,6
Testgebiet 2	99,3	65,8
Testgebiet 3	93,7	74,1
Validierung		
Testgebiet 4	97,0	63,8
Testgebiet 5	96,8	55,9
Testgebiet 6	95,6	72,0

Aus der Gegenüberstellung mit den erstellten Bodenreferenzen lässt sich festhalten, dass insgesamt eine recht hohe Gesamtgenauigkeit erzielt wurde. Den Statistiken zufolge beläuft sich diese auf zwischen 93,7 % und 99,3 %. Der Kappa-Index, welcher Einschluss- und Auslassungsfehler berücksichtigt, variiert für alle Bereiche zwischen 55,9 % und 78,6 %, was bestätigt, dass anhand der erarbeiteten Methodik nach der Einstufung von Landis and Koch (1977) eine akzeptable bis gute Klassifikationsgenauigkeit realisiert werden konnte. Im Hinblick auf Falsch-Positiv-Zuweisungen handelte es sich oftmals um schmale, linienförmige

Objekte wie z. B. kleinere, unbefestigte Wege- und Straßenstrukturen oder Grabentrassen, welche in der Ausschluss-Klasse nicht enthalten waren. Ungenauigkeiten ergaben sich vor allem aber auch maßgeblich infolge von Verwallungen innerhalb bewaldeter Gebiete, die fälschlicherweise der Wölbäcker-Klasse zugewiesen wurden. Entsprechend dieser Qualitätsindikatoren ließen die Resultate grundsätzlich den Schluss zu, dass sich die automatisierte Erfassung anhand des erarbeiteten OBIA-Regelwerks als durchaus plausibel und realistisch erweist, sodass die Prozesskette auf das restliche UG angewandt wurde.

Im Anschluss daran erfolgte die Klärung der räumlichen Anordnung der Landschaftselemente. Gemäß schätz- und prüfstatistischer Vorgehensweise war es zielführend, die Nullhypothese, welche davon ausgeht, dass die Grundgesamtheit der letztendlich 852 identifizierten Standorte dem CSR-Vergleichsmaßstab entspricht, zu bestätigen bzw. abzulehnen. Unter Annahme einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,01$ erfolgten innerhalb des UG 199 CSR-Simulationen. Wie aus dem Graphen der Abbildung 7 hervorgeht, verläuft die empirische über der theoretischen Verteilungskurve. Dies bedeutet, dass ein Standort mehr benachbarte Elemente aufweist, als es unter einem rein zufälligen Punktprozess zu erwarten wäre, und suggeriert demnach die Tendenz zu einem räumlich geklumpten Verteilungsmuster. Die Konzentration an Wölbäckerarealen zeigt sich ebenfalls in der statistischen Oberfläche zur Kerndichteschätzung. Diese beruht auf distanzabhängigen Gewichtungen zwischen den einzelnen Standorten und ließ sich über die Normalverteilungskernfunktion ermitteln. Dabei gilt: Je dunkler der Farbton, desto höher die Anzahl der Standorte pro Quadratkilometer. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Aggregationen eher im Westen (auf Höhe der Lenzer Wische), in der zentralen sowie in der nordwestlichen Prignitz auftreten, während die Dichte im östlicheren Teil bei Weitem geringer ausfällt.

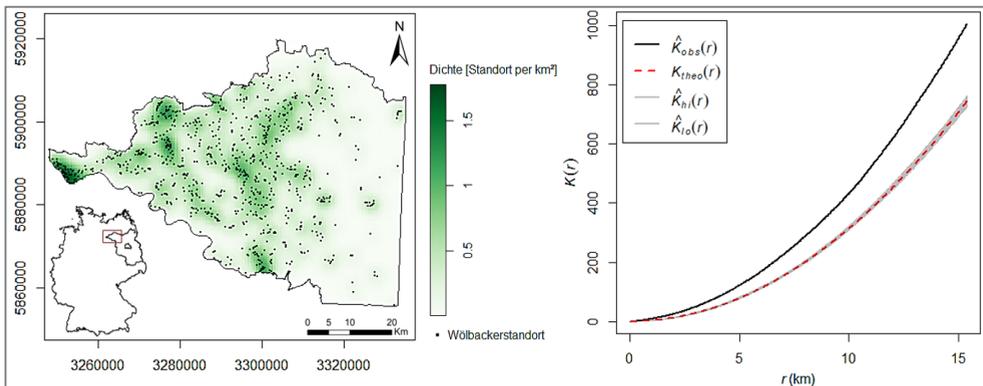


Abb. 7: Punktmusterkarte (li.) u. K-Funktion der Wölbäckerstandorte in der Prignitz (re.)

Hinsichtlich der bodenkundlichen Analyse ist zu erkennen, dass auf dem Großteil, d. h. bei über drei Viertel der erfassten Wölbäckerflächen, Braun- und Fahlerden in abgewandelter Form aus z. T. lehmigem (Geschiebe-)Decksand sowie Flugsand dominieren. Es zeigt sich weiterhin, dass auf etwa 10,9 % der Flächen Braun- und Fahlerden in Kombination mit Podsolon bzw. podsoliger Regosole sowie auch in Verbindung mit semiterrestrischen Böden wie Gleyen zumeist aus (Geschiebe-)Decksand sowie Fluss- oder Niederungssand vorkommen. Des Weiteren handelt es sich bei knapp 6,5 % der Areale um Böden der Vega- und (Pseu-

do-)Gleye aus Auenlehm und -sand. Außerdem werden auf ca. 3,3 km² der identifizierten Altfluren Anmoorgleyen sowie (Kalk-)Humusgleyen angetroffen. Geringfügig (1,7 %) kommen Wölbäcker ebenfalls auf (Erd-)Niedermooren aus Niedermoortorf über Flussand oder Mudde vor.

Die vegetationskundliche Auswertung ergab, dass den Hauptanteil an erfassten Flächen die Biotoptypen Wälder und Forsten mit etwa 60,9 km² (91,9 %), Gras- und Staudenfluren mit ca. 4,3 km² (6,5 %) sowie Äcker mit 0,8 km² (1,3 %) einnehmen. Anthropogene Rohbodenstandorte, Laubgebüsch und Feldgehölze sowie Zwergstrauchheiden beanspruchen zusammen etwa 0,2 km² (0,3 %). Den Verschnitten mit historischen Forstflächen nach zu urteilen, kommen die mittelalterlichen Feldfluren heute erwartungsgemäß nur geringfügig in rezenten Wäldern vor. Sie sind eher auf Waldstandorten vorzufinden, die gemäß Preußischer Landesaufnahme wenigstens seit etwa 1880 existieren (= alter Wald). Bei den Untersuchungsergebnissen zur Bestockungssituation der unter Wald befindlichen Feldfluren stellte sich heraus, dass in etwa die Hälfte der Landschaftselemente unter Wäldern vorkommt, in denen nach DSW2-Datenbestand allein Eichen, Birken, Buchen, Fichten und Kiefern als Hauptbaumart ausgewiesen sind. Dabei nehmen Kiefernwälder den Hauptanteil ein und sind zumeist mit der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*) bestockt. Dennoch wird ein recht weites Spektrum an Hauptbaumartenkombinationen auf Wölbäckern abgedeckt.

4 Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse des erarbeiteten OBIA-Regelwerks machen deutlich, dass es grundlegend geeignet ist, Wölbäcker basierend auf dem DGM und in Kombination mit der topographic openness-Visualisierung automatisiert zu identifizieren. Dem Abgleich der Ergebnisse mit den bekannten Wölbäckern nach Wulf (2001) ließen sich alle bis auf sieben der 61 punktuellen Standorte erfassen. Aus der untenstehenden Gegenüberstellung der Querschnitte wird ersichtlich, dass sich die ehemaligen Gewinnfluren hinsichtlich ihrer Morphologie erheblich voneinander unterscheiden und inwieweit deren Erhaltungszustand die Detektion beeinträchtigt. Im Gegensatz zu den erkannten Wölbäckern, welche einen gleichmäßigeren Wechsel an Rücken und Furchen aufweisen (schwarze Profile), schlug die Identifikation von Relikten mit unregelmäßigen bzw. stark erodierten Geländeformen oftmals fehl (rote Profile).

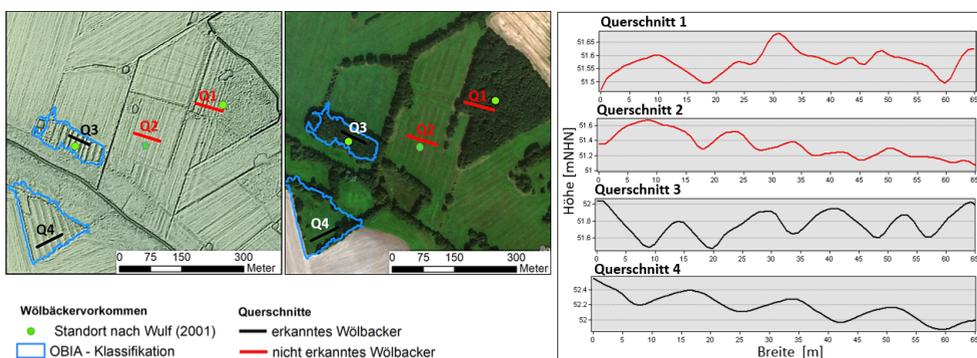


Abb. 8: Einfluss des Erhaltungszustands auf die OBIA-Erfassung (eigene Darstellung, Geodaten: Esri and GeoEye, 2018; LGB, 2012)

Resümierend bleibt festzuhalten, dass trotz hoher Genauigkeit innerhalb der Testgebiete die Automatisierung des Regelsatzes auf die restliche Prignitz zum Teil nicht so gut ausfiel wie ursprünglich erwartet. Die entwickelte Prozesskette erwies sich besonders in Gebieten mit einem recht heterogenen Geländere relief als fehleranfällig. Dementsprechend ist die erarbeitete Methodik in Bezug auf ihre Allgemeingültigkeit als eingeschränkt übertragbar anzusehen. Positiv bleibt dennoch anzumerken, dass das Verfahren dazu beitrug, zahlreiche bisher unbekannte Feldfluren in der Prignitz aufzuspüren. Im Endeffekt wurden dadurch Strukturen klassifiziert, deren aggregierte Fläche sich auf etwa 66,2 km² beläuft. Wenngleich nur zu einem geringen Anteil, gingen dabei auch Reliktparzellen innerhalb ausgewiesener Moorbereiche hervor, d. h. Standorte, auf denen bislang keine Relikts Spuren beobachtet wurden.

Im Rahmen weiterführender Studien wäre denkbar, die erfassten Flächen näher zu untersuchen, indem z. B. vor Ort Profilaufschlüsse durchgeführt werden, um Bodenbeschaffenheiten auszuwerten und (Pflug-)Horizontabfolgen zu bestimmen, sodass ein besseres Verständnis bzw. neue Rückschlüsse über die Siedlungs- und Kulturlandschaftsgeschichte oder die Entwicklung der Wald-Offenland-Verteilung erlangt werden können. In Zukunft wäre weiterhin eine auf den Ergebnissen dieser Arbeit basierende, umfassendere Unterschutzstellung der Agrarrelikte zielführend, indem diese beispielsweise als Bodendenkmäler in die landesweite Denkmalliste aufgenommen werden.

Literatur

- Blaschke, T. (2000a). Objektextraktion und regelbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten: Neue Möglichkeiten für GIS-Anwender und Planer. *CORP 2000*, 153–162.
- Blaschke, T. (2000b). Ohne Salz und Pfeffer. Objektorientierte Bildanalyse – eine Revolution in der Fernerkundung. *GeoBIT*, (2).
- Blaschke, T., & Strobl, J. (2001). What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GIS – Zeitschrift für Geoinformationssysteme*, (6), 12–17.
- Devereux, B., Amable, G., & Crow, P. (2008). Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. *Antiquity*, 82(316), 470–479.
- Doneus, M. (2013). Openness as visualization technique for interpretative mapping of airborne lidar derived digital terrain models. *Remote Sensing*, 5(12), 6427–6442.
- Drăguț, L., & Eisank, C. (2011). Object representations at multiple scales from digital elevation models. *Geomorphology*, 129(3-4), 183–189.
- Esri, D., & GeoEye, E. G. (2018). CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community (2018). *ArcGIS Online*.
- Ewald, K. C. (1969). *Agrarmorphologische Untersuchungen im Sundgau (Oberelsass) unter besonderer Berücksichtigung der Wölbäcker* (Vol. 27). Buchdruckerei Lüding.
- Fries, J. (1995). Mit dem Pflug fürs täglich Brot. *Archäologie in Deutschland*, (2), 24–27.
- Hay, G., Marceau, D., & Bouchard, A. (2002). Modeling multi-scale landscape structure within a hierarchical scale-space framework. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(4), 532–535.
- Hesse, R. (2010). LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection*, 17(2), 67–72. doi:10.1002/arp.374.
- Hesse, R. (2016). *Visualisierung hochauflösender Digitaler Geländemodelle mit LiVT*. Humboldt-Universität zu Berlin, Exzellenzcluster 264 Topoi.

- Kokalj, Ž., Zakšek, K., Oštir, K., Pehani, P., & Čotar, K. (2016). *Relief Visualization Toolbox*. Version 1.3. Manual.
- Kokalj, Ž., & Hesse, R. (2017). *Airborne laser scanning raster data visualization. A guide to good practice*. Retrieved May 6, 2019, from <https://zalozba.zrc-sazu.si/sl/publikacije/airborne-laser-scanning-raster-data-visualization#v>.
- LABO (2011). Archivböden. *Empfehlungen zur Bewertung und zum Schutz von Böden mit besonderer Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte*. Aachen: LABO.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159–174.
- Lang, S., & Blaschke, T. (2007). *Landschaftsanalyse mit GIS*. Stuttgart: Ulmer.
- LGB (2012). *Digitales Geländemodell (Gitterweite: 1 m) der Projektgebiete Prignitz und Dosse*. Potsdam: Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg.
- LGB (2017). *Brandenburg-Viewer*. Retrieved May 6, 2019, from <https://bb-viewer.geobasis-bb.de/>.
- Nagel, D. (1999). *Wölbäcker als historische Landnutzungsform in der Prignitz (Land Brandenburg) – eine kulturhistorische, boden- und vegetationskundliche Untersuchung am Beispiel der Natteheide (Ostprignitz)* (Diplomarbeit). FH Eberswalde.
- O'Neill, R. V., Johnson, A., & King, A. (1989). A hierarchical framework for the analysis of scale. *Landscape Ecology*, 3(3-4), 193–205.
- O'Sullivan, D., & Unwin, D. J. (2010). Point Pattern Analysis. *Geographic Information Analysis*, 121–154.
- Ripley, B. D. (1977). Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 172–212.
- Schneider, A., Takla, M., Nicolay, A., Raab, A., & Raab, T. (2015). A Template-matching Approach Combining Morphometric Variables for Automated Mapping of Charcoal Kiln Sites. *Archaeological Prospection*, 22(1), 45–62.
- Sevara, C., Pregesbauer, M., Doneus, M., Verhoeven, G., & Trinks, I. (2016). Pixel versus object – A comparison of strategies for the semi-automated mapping of archaeological features using airborne laser scanning data. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 5, 485–498.
- Trier, Ø. D., Zortea, M., & Tønning, C. (2015). Automatic detection of mound structures in airborne laser scanning data. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2, 69–79.
- Wulf, M. (2001). Kulturlandschaftsforschung in Brandenburg. Beispiel Wölbäcker in der Prignitz. *Kulturlandschaftsforschung und Umweltplanung. Fachtagung an der Fachhochschule Hildesheim/Holzheim/Göttingen am 9.-10. November 2000 in Göttingen*, 9 (10), 87–100.
- Yokoyama, R., Shirasawa, M., & Pike, R. J. (2002). Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(3), 257–266.
- Zakšek, K., Oštir, K., & Kokalj, Ž. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing*, 3(2), 398–415.