

Irmela Herzog – Alden Yépez

Auswertung einer Prospektionsmaßnahme am Chimborazo

Zusammenfassung

Im Jahr 2012 gewann Alden Yépez bei einer Prospektionsmaßnahme an der Südflanke des höchsten Berges von Ecuador, dem Gletscher Chimborazo, Erkenntnisse zu zwölf archäologischen Fundstellen. Diese orientieren sich an einem mittels GPS dokumentierten Altweg, der an der höchsten Fundstellengruppe, vermutlich Kultstätten der Inka, endet. Um auf Basis des Altweges die damaligen Bewegungsmuster zu ermitteln, kommen in diesem Artikel diverse Rechenmethoden zum Einsatz. Auch spätere Wege am Berghang des Chimborazo werden zum Vergleich analysiert. Die so ermittelten frühen Bewegungsmuster bilden die Grundlage für die Erstellung einer Erreichbarkeitskarte. Nur eine der Fundstellengruppen im Umfeld eines Höhleneinganges liegt in schlecht erreichbarem Gebiet. Hier spielen vermutlich Sichtbarkeitsaspekte eine wichtige Rolle.

Keywords: Wegeberechnung; Kostenfunktion; Sichtbarkeitsanalyse; Erreichbarkeit; Altweg; Chimborazo; Inka.

In 2012 Alden Yépez carried out a survey on the southern slopes of the highest mountain in Ecuador, the Chimborazo, providing new insights into the nature of twelve archaeological sites. These sites are close to a historical pathway that was tracked by GPS. This path gives access to a group of sites which the ancient Inca most probably used for worshipping. This path serves as a reference for identifying the appropriate method to reconstruct past movement patterns. For additional verification of the results, younger pathways of the same region were analyzed. The early movement patterns derived from this analysis are used to create an accessibility map. However, one group of sites in the vicinity of a cave is not well accessible. We assume that visibility issues played an important role in this case.

Keywords: Least-cost paths; cost function; viewshed analysis; accessibility; old route; Chimborazo; Inca.

Die Forschungen am Gletscher von Chimborazo wurden erst aufgrund der Finanzierung durch zwei Institutionen ermöglicht, und zwar von „Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación“ (SENESCYT) und dem „Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador“ (INPC-Ecuador). Beiden Institutionen möchten wir für ihre Unterstützung danken.

1 Einleitung

Der Gletscher Chimborazo ist mit ca. 6280 m ü.NN der höchste Berg Ecuadors. Unter anderem ist dieser Berg dadurch bekannt, dass Alexander von Humboldt versuchte, den Gipfel zu erreichen, doch bei einer Höhe von ca. 5600 m ü.NN aufgeben musste. Im Jahr 2012 führte Alden Yépez an der Südflanke des Berges eine Prospektionsmaßnahme durch, um Fundstellen zu dokumentieren, die durch Raubgrabungen bedroht sind. Dies erbrachte Erkenntnisse zu zwölf Fundstellen auf einer Höhe zwischen 3400 und 4900 m ü.NN. Dabei handelt es sich vermutlich bei einem Teil der Fundstellen um Kultstätten der Inka, die in Zusammenhang mit Menschenopfern zu sehen sind. Diese Fundstellen orientieren sich weitgehend an einem Altweg. Streckenweise ist dieser Altweg heute noch begehbar, so dass er im Zuge der archäologischen Untersuchung mit einem GPS dokumentiert werden konnte (Abb. 1).

Die Teilstrecke des Altweges, die hier betrachtet werden soll, beginnt bei einer Höhe von 3440 m ü.NN (Fo in Abb. 1). Nach etwas mehr als 7 km ist bereits eine Höhe von 3800 m erreicht, und der Weg quert eine Quebrada, das ist ein Tälchen, das zeitweise Wasser führt. An dieser Quebrada, nur etwa 650 m vom Weg entfernt, liegt eine Fundstelle mit Baustrukturen, deren Bauart man von Inka-Kulturen kennt (Abb. 2; nördlicher Punkt von Fundstellengruppe F1 in Abb. 1). Eine Frischwasserquelle im Süden dieser Fundstelle lässt vermuten, warum dieser Platz gewählt wurde. Es könnte sich um einen Rastplatz handeln – bis zum Ziel des Weges sind noch eine Strecke von mehr als 16 km und fast 1100 Höhenmeter zu bewältigen.

Der Weg gewinnt auf der nächsten Teilstrecke von 7 km nur 120 m an Höhe, dann biegt er nach Norden ab und verläuft entlang einer Quebrada. Nach diesem steilen Teilstück von 4,6 km Länge und einer durchschnittlichen Steigung von 17 % wird die Felshöhle Templo Machai erreicht (östlicher Punkt von Fundstellengruppe F2 in Abb. 1; Abb. 3). In der Nähe der Höhle konnten rechteckige, runde und ovale Einfriedungen sowie eine Quelle dokumentiert werden.

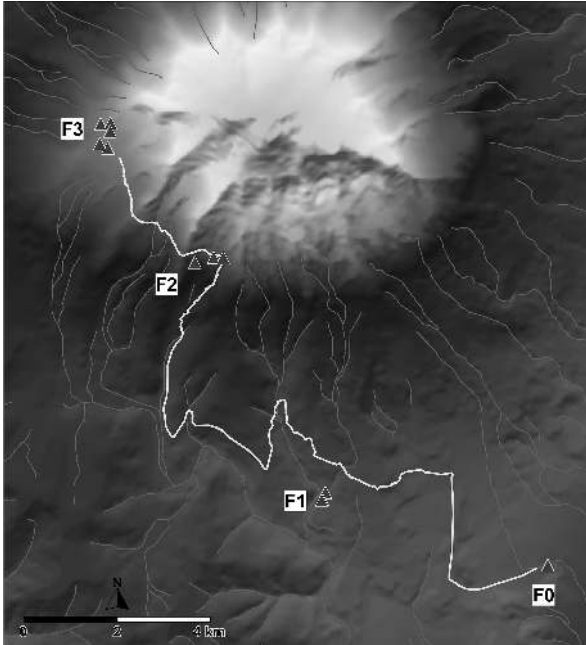


Abb. 1 Altweg und Fundstellen des Prospektionsprojektes vor dem Hintergrund von modernen Höhendaten und den Wasserläufen (Quebradas).

Hinter diesem Platz biegt der im Rahmen der Prospektionsmaßnahme vermessene Altweg nach Nordwesten ab und endet nach knapp 4 km und einem Anstieg von weiteren 150 Höhenmetern etwa 800 m vor weiteren Fundstellen. Es handelt sich um Reste von Einfriedungen (Abb. 4; nordöstlicher Punkt von Fundstellengruppe F3 in Abb. 1) sowie um Felsen mit von Menschen erzeugten Eintiefungen, die evtl. für Opfergaben an den Berg dienten (northwestlicher Punkt von Fundstellengruppe F3 in Abb. 1). Südlich dieser archäologischen Relikte findet sich ein ehemaliger See, der heute ausgetrocknet ist, und dessen Rand an zwei Stellen erfasst werden konnte. Die Menschen, die die nahegelegenen Relikte hinterließen, könnten bewusst die Nähe dieses Sees gesucht haben. Bei dieser Fundstellengruppe ist das Ziel des Altweges zu vermuten, etwa 1,4 km und 330 Höhenmeter unterhalb der heutigen Gletscherzone.

Die hier vorliegende räumliche Analyse im Prospektionsgebiet geht der Frage nach, ob sich dieser Altweg und damit die Bewegungsmuster der Menschen, die diesen Weg angelegt haben, durch entsprechende Rechenmethoden rekonstruieren lassen. Ziel ist dabei, die den Wegeverlauf bestimmenden Faktoren zu finden. Wie in vielen anderen archäologischen Studien¹ bildet die Hangneigung, abgeleitet aus einem digitalen Geländemodell (DGM), hier die Grundlage für Wegeberechnungen.

¹ Beispielsweise Batten 2007; Fallstudien in White und Surface-Evans 2012.



Abb. 2 Reste von Baustrukturen, deren Bauart aus Inka-Kulturen bekannt ist, in Fundstellengruppe Fr. Die drei schwarzen Pfeile markieren drei Ecken einer viereckigen Struktur.

2 Digitale Geländemodelle des Untersuchungsgebietes

Die anfänglich verwendete Datenbasis für die Wegeberechnung besteht aus Höhenlinien im Abstand von 40 Höhenmetern. Diese entsprechen den Höhenlinien auf den topographischen Karten im Maßstab 1:50.000 des Untersuchungsgebietes. Einige wenige Höhenzuordnungen waren falsch und konnten aufgrund der benachbarten Höhenlinien korrigiert werden. Ergänzend erfolgte die manuelle Erfassung von in den Karten eingezeichneten Höhenpunkten, dies betrifft insbesondere Gipfelpunkte. Nun ist bekannt, dass bei Erstellung eines regelmäßigen Punktrasters auf der Grundlage von Punkten auf Höhenlinien häufig unnatürliche terrassenförmige Geländemodelle entstehen.² Um dies zu vermeiden, kam zunächst ein Interpolationsverfahren zum Einsatz, das die Höhenpunkte mit ebenen dreieckigen Flächen verbindet.³ Da die Punkte auf der Höhenlinie sehr dicht beieinander liegen, entstehen so sehr schmale Dreiecke, was man

2 Beispielsweise Conolly und Lake 2006, 103–111; Wheatley und Gillings 2002, 113–119.

3 Triangulation, siehe z. B. Conolly und Lake 2006, 107–109; Wheatley und Gillings 2002, 110–112.



Abb. 3 Felsenhöhle Machai, in der auch moderne Andenbewohner Opfergaben niedergelegt haben, in Fundstellengruppe F2.

jedoch durch automatisches Ausdünnen der Höhenpunkte vermeiden kann. Das so erstellte DGM sieht noch nicht realistisch aus, sondern es treten Kanten an den Stellen auf, wo zwei Dreiecke zusammen treffen – ähnlich wie bei einem geschliffenen Diamanten. Um diese Kanten zu glätten, erfolgte eine weitere Interpolation des durch die Triangulation erstellten Höhenpunktrasters (Gitterabstand: 20 m), und zwar mit einem Inverse-Distance-Verfahren⁴ (Suchradius: 200 m). Im Ergebnis ist die Glättung gut zu erkennen, obwohl weiterhin Terrassen sichtbar sind.

Eine alternative Datenbasis stellt das auf Satellitenmessungen beruhende ASTER-GDEM dar, ein DGM, das von NASA und METI kostenlos für die Forschung bereit gestellt wird. Dieses liegt im geodätischen Referenzsystem WGS 84 vor, so dass zunächst eine Umrechnung der Höhenpunkte in ein kartesisches Koordinatensystem notwendig ist, damit die Abstände zwischen den Punkten im Höhenraster zumindest annähernd den realen Distanzen entsprechen. Im Untersuchungsgebiet, in der Nähe des Äquators, ist bei den ASTER-GDEM-Höhenpunkten der Unterschied zwischen den Punktabständen in Nord-Süd-Richtung im Vergleich zu denen in West-Ost-Richtung nicht besonders

4 Siehe z. B. Conolly und Lake 2006, 94–97.



Abb. 4 Reste von Einfriedungen in Fundstellengruppe F3.

hoch, doch in Mitteleuropa ist ein solcher Projektionswechsel zwingend, und damit eine erneute Interpolation der Daten. Um die ASTER-Daten mit den Höhendaten der topographischen Karten vergleichen zu können, war sowieso ein Projektionswechsel erforderlich, denn die zuletzt genannten Daten liegen in einer UTM-Projektion vor. In vorhergehenden Projekten zeigte sich, dass die ASTER-Daten z. T. gegenüber den anderen topographischen Daten verschoben waren. Der Vergleich von Profilen durch ASTER- und Höhenlinien-DGM ergab auch in diesem Fall, dass eine Verschiebung der ASTER-Daten um 100 m in Nord-Richtung zu einer besseren Anpassung an das Höhenlinien-DGM führt. Außerdem erschien eine Korrektur der absoluten Höhen ratsam, ist doch der Median der Punkte im Höhenlinien-DGM um 14 m größer als derjenige der entsprechenden ASTER-Daten. Nach diesen Anpassungen gleicht die Häufigkeitskurve der Differenzen zwischen den beiden Höhenmodellen sehr einer Normalverteilung mit Mittelwert nahe Null. Etwa 80 Prozent der Differenzen liegen im Bereich von ± 20 m; dies ist ein recht gutes Ergebnis, wenn man bedenkt, dass die Höhenlinien einen Abstand von 40 Höhenmetern aufweisen. Die größten Differenzen treten im Gipfelbereich des Chimborazo auf, der jedoch für die vorliegende Untersuchung keine Rolle spielt. Zu den ASTER-Daten gehört eine Karte, die angibt, wie viele Satellitenmessungen pro

Höhenpunkt durchgeführt werden konnten. Im Untersuchungsgebiet sind fast alle Höhenwerte aufgrund von fünf oder mehr Messungen ermittelt, doch für ein paar interessante Stellen des Altweges liegen nur zwei bis vier Messergebnisse vor.

Im Eifer der Berechnungen fiel zunächst gar nicht auf, dass das ASTER-DGM wie das Höhenlinien-DGM Terrassen aufweist. Da die ASTER-Daten nicht von Höhenlinien abgeleitet sind, konnte es sich nicht um ein Problem bei der Berechnung der Höhenpunkte handeln – sondern die Terrassen sind offensichtlich auf natürlichem Wege entstanden, evtl. durch Vulkanausbrüche.

Das Höhenlinien-DGM ist vermutlich zuverlässiger als das ASTER-DGM, zumal die Höhenlinien aus offiziellen topographischen Kartenwerken übernommen sind. Uns lag außerdem eine hier als Trekking-Karte bezeichnete Karte im Maßstab 1:20.000 vor, die einen Teil des Untersuchungsgebietes abdeckt. Diese an der Heinrich-Heine Universität in Düsseldorf aufgrund von Luftbildern erstellte Trekking-Karte zeigt Höhenlinien, die sich in ihrer Geometrie weitgehend mit denjenigen auf den topographischen Karten decken. Aus den soeben genannten Gründen kommt bei den nachfolgenden Analysen das Höhenlinien-DGM zur Anwendung, einzelne Berechnungen erfolgten zusätzlich auf Grundlage der ASTER-Daten.

3 Wegeberechnungen

Erste Wegeberechnungen ergaben eine im Vergleich zum dokumentierten Altweg viel direktere Route. Offensichtlich ist es wichtig, die Zwischenstationen zu berücksichtigen, zum einen wegen der Versorgung mit Frischwasser an den Quellen, zum anderen wegen der besonderen Bedeutung der Höhle Machai. Die folgende Untersuchung konzentriert sich zunächst auf eine 9808 m lange Teilstrecke des Altweges, die nur eine vergleichsweise geringe Höhendifferenz überwindet. Für diesen Abschnitt zeigt Abb. 5 insgesamt zehn verschiedene Wegeberechnungen, z. T. mit deutlich unterschiedlichen Ergebnissen. Nur eine der errechneten Route beruht auf dem ASTER-DGM (erster Eintrag in der Legende von Abb. 5), in allen anderen Fällen bildet das oben beschriebene geglättete Höhenlinien-DGM die Grundlage. Dabei wurde für alle Berechnungen allein die Hangneigung berücksichtigt, doch kamen verschiedene Funktionen zum Einsatz, um die Mühen bei der Bewältigung einer Steigung bzw. eines Gefälles zu bewerten.

Eine ausführliche Diskussion dieser sog. Kostenfunktionen ist bereits an anderer Stelle publiziert.⁵ Im vorliegenden Beitrag fanden nur solche Funktionen Berücksichtigung, die zumindest einigermaßen plausibel erscheinen. Hier noch einmal eine kurze Beschreibung dieser Funktionen: Das Polynom 6. Grades beruht auf physiologi-

⁵ Herzog 2013c.

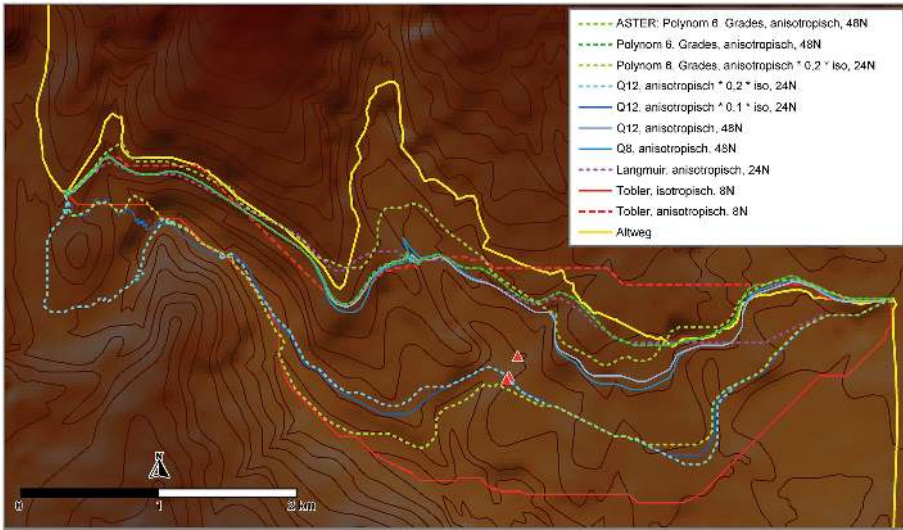


Abb. 5 Zehn unterschiedliche Wegeberechnungen für ein Teilstück des Altweges.

schen Messungen der Arbeitsgruppe von Minetti an sportlichen Männern.⁶ Quadratische Funktionen mit einer vorgegebenen kritischen Steigung werden in der Legende von Abb. 5 mit Q12 bzw. Q8 bezeichnet, wobei 12 bzw. 8 die kritische Steigung angibt.⁷ Ist eine Wegstrecke steiler als die vorgegebene kritische Steigung, so ist die Bewältigung dieser Strecke durch Serpentinien günstiger als der direkte Anstieg. Der Einsatz einer solchen quadratischen Funktion ist vor allem dann sinnvoll, wenn anzunehmen ist, dass der Altweg von Wagen befahren wurde – was im vorliegenden Fall auszuschließen ist. Langmuir⁸ stellt in seinem Buch eine nicht stetige, stückweise lineare Funktion vor, die den Zeitaufwand für die Bewältigung von An- und Abstiegen angibt. Auch die in archäologischen Studien häufiger eingesetzte Funktion von Tobler dient dazu, den Zeitaufwand zu schätzen.⁹ Da der Altweg vermutlich in beiden Richtungen genutzt wurde, ist der Aufwand für An- und Abstieg zu mitteln, so dass eine symmetrische Funktion entsteht (Abb. 6).

In Abb. 6 gibt die x-Achse die Hangneigung an, dabei entspricht $-0,1$ einem Gefälle von 10 %, $0,1$ dagegen einem Anstieg von 10 %. Die y-Achse fehlt hier bewusst, denn multipliziert man eine Kostenfunktion mit einer Konstanten, so ist das Ergebnis der Wegeberechnung unverändert. Folgende Analogie mag dies verdeutlichen: Wenn man Preise in Euro ermittelt und diese anschließend mit einem festen Umrechnungskurs in US-Dollar umrechnet – dann bleibt der billigste Preis in Euro auch nach der

6 Minetti u. a. 2002.

7 Llobera und Sluckin 2007.

8 Langmuir 2004, 40.

9 Tobler 1993.

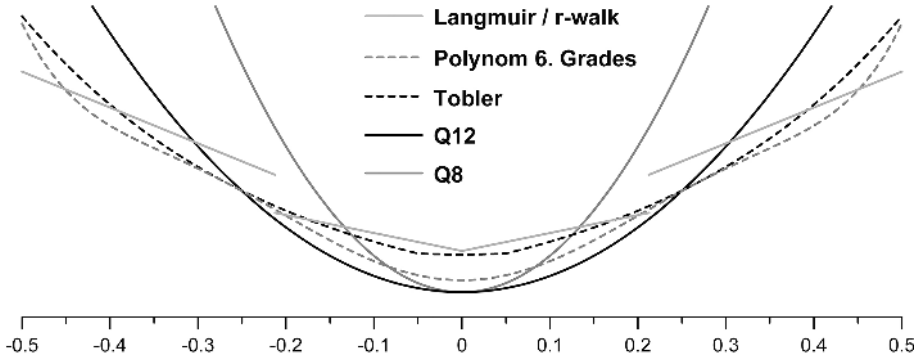


Abb. 6 Steigungsabhängige Kostenfunktionen bei Benutzung eines Weges in beiden Richtungen.

Umrechnung in Dollar der niedrigste. In Abb. 6 wurden die Multiplikationskonstanten so gewählt, dass man die unterschiedlichen Funktionen gut vergleichen kann. Bei der Kostenfunktion von Tobler fällt auf, dass sie bei Gefällen bzw. Steigungen von bis zu 5 % annähernd konstant bleibt. Die Kostenfunktion von Langmuir ist nicht stetig, es gibt einen sprungartigen Anstieg der Kosten bei etwa 21 % Gefälle bzw. Anstieg. Bei der quadratischen Kostenfunktion Q8 steigen die Kosten am schnellsten mit zunehmender Prozentzahl für Gefälle/Anstieg. Das Polynom 6. Grades weist zunächst eine recht geringe Zunahme der Kosten mit wachsendem Gefälle/Anstieg auf, doch jenseits von etwa 45 % ändert sich dies deutlich. Aus unserer Sicht ist der Energieverbrauch ein wichtigerer Faktor als der Zeitaufwand, deshalb hatten wir die Erwartung, dass eine Wegeberechnung auf Grundlage des Polynoms 6. Grades die beste Anpassung an den Altweg erzielt.

Neben der Kostenfunktion ist auch wichtig, ob es sich um eine isotropische oder anisotropische Berechnung¹⁰ handelt, bzw. um eine Mischform: Bei einem isotropischen Ansatz wird nur die aus dem DGM abgeleitete Hangneigung bewertet, unabhängig von der Richtung des Weges. Dagegen wird beim anisotropischen Ansatz der Aufwand des tatsächlichen Anstiegs ermittelt, das heißt ein Weg entlang einer Höhenlinie wird genauso bewertet wie eine ebene Strecke, unabhängig davon, wie steil der Hang ist. Letzteres ist aber nur dann plausibel, wenn der Hang nicht sehr steil ist, ansonsten sind Konstruktionsarbeiten notwendig, um einen entsprechenden Weg zu bauen. Im vorliegenden Beitrag erfolgt erstmalig eine Kombination von isotropischem und anisotropischem Ansatz, um dieser Tatsache Rechnung zu tragen. Bei einer solchen Kombination werden die anisotropischen Kosten mit einem Anteil der isotropischen Kosten multipliziert. So bedeutet „anisotropisch * 0,2 * iso“ in der Legende von Abb. 5, dass zu den

¹⁰ Wheatley und Gillings 2002, 151; Conolly und Lake 2006, 215.

anisotropischen Kosten ein Erschwernisfaktor hinzutritt, dieser beträgt 20 % der isotropischen Kosten. Dabei sollte sichergestellt sein, dass die isotropischen Kosten auf einer ebenen Strecke 1 betragen.

Das Ergebnis einer Wegeberechnung wird zusätzlich dadurch beeinflusst, auf welche Bewegungsrichtungen sich die Wegrekonstruktion beschränkt. Bei den in der Legende von Abb. 5 mit 8N bezeichneten Wegeberechnungen sind nur Richtungswechsel in eine von acht Richtungen vorgesehen – wie eine Dame auf dem Schachbrett, die auch nur in acht Richtungen ziehen darf. Mit Springer-Zügen (2 Felder in eine Richtung und 1 Feld in die Diagonalrichtung) werden auf direktem Wege 24 Nachbarzellen erreicht – entsprechend errechnete Routen sind mit 24N in der Legende von Abb. 5 bezeichnet. Der Zusatz 48N bedeutet, dass bei der Routenberechnung an jedem Rasterpunkt 48 mögliche Bewegungsrichtungen zu testen sind. Eine genauere Beschreibung der Auswirkung der Anzahl der Nachbarzellen bzw. Bewegungsrichtungen ist an anderer Stelle publiziert.¹¹ Bei jeder Erhöhung der Zahl der betrachteten Nachbarzellen steigt auch die Rechenzeit. In der Praxis reichen meist 24 Nachbarzellen aus.

Bis vor kurzem haben viele Archäologen und Archäologinnen ihre Wegerekonstruktion nach der Art „Tobler, isotropisch, 8N“ gerechnet, denn solche Ergebnisse können mit der GIS-Software ArcGIS, Methode CostDistance, recht einfach erzeugt werden.¹² Wie Abb. 5 zeigt, ist im vorliegenden Fall das Ergebnis von „Tobler, isotropisch, 8N“ recht weit von der tatsächlichen Route entfernt. Die ArcGIS-Methode PathDistance erlaubt dagegen auch anisotropische Berechnungen. Dieser Ansatz wird neuerdings von recht vielen archäologischen Studien verfolgt,¹³ obwohl die Auswahl der Parameter für PathDistance nicht trivial ist. Hier ist sicherlich hilfreich, dass Tripcevic eine entsprechende Anleitung im Internet veröffentlicht hat.¹⁴ In Abb. 5 liegt das Rechenergebnis „Tobler, anisotropisch, 8N“ schon deutlich näher an dem Altweg. Dabei fällt auf, dass die anisotropische Berechnung mit knapp 6,9 km eine kürzere Route ergibt als der isotropische Ansatz, der eine Weglänge von fast 8,0 km erzielt.

Die beiden Tobler-Wege zeigen augenfällig den Nachteil von nur acht Nachbarzellen: Alle Wegteilstücke verlaufen entweder in Nord-Süd- bzw. Ost-West-Richtung oder diagonal zu diesen Richtungen. Bei einer Drehung der Koordinatenachsen um einen kleinen Winkel ist ein deutlich anderes Ergebnis zu erwarten.

Die Kostenfunktion von Langmuir ist in der GRASS-GIS-Prozedur `r.walk` implementiert, und diese erlaubt es, mit 24 Nachbarzellen zu rechnen. Zwar unterstützt GRASS-GIS eine Anpassung der Parameter für die drei vorgesehenen linearen Teilstücke der Kostenfunktion (steil abwärts, moderat abwärts und ansteigend), doch damit

11 Herzog 2013b.

12 Beispielsweise Kantner und Hobgood 2003; Batten 2007.

13 Allein acht von elf Beiträgen in White und Surface-Evans 2012.

14 Tripcevic 2009.

ist es in r.walk nicht möglich, den Mittelwert für den Aufwand von An- und Abstieg zu bilden, wie dies in Abb. 5 für alle steigungsabhängigen Kostenfunktionen erfolgt ist. Das Ergebnis der Wegeberechnung mit dem Kostenmodell „Langmuir, anisotropisch, 24N“ ist in manchen Teilen evtl. etwas besser als „Tobler, anisotropisch, 8N“, aber sicher nicht optimal.

Alle Rechenergebnisse, die primär anisotropisch ermittelt sind, aber isotropische Kosten der Steigung zu 10 bzw. 20 % einbeziehen (Legendeneinträge mit „0,1 * iso“ bzw. „0,2 * iso“) verlaufen anders als der Altweg, ihnen ist jedoch gemeinsam, dass sie die Quelle der Fundstellengruppe F1 in geringem Abstand (maximal 65 m) passieren. Die Frage, ob dies Zufall ist, kann heute noch nicht beantwortet werden. Westlich der Fundstellengruppe F1 folgen diese errechneten Routen einer Quebrada, und wechseln dabei mehrfach von einem Ufer des Wasserlaufs auf das andere – was sicherlich nicht realistisch ist.

Abb. 5 zeigt nur eine Auswahl der 24 Rechenergebnisse zur Wegrekonstruktion, bei allen anderen ergaben sich erhebliche Überschneidungen mit den gezeigten Routen. Alle Ergebnisse wurden mit selbst entwickelter Software erstellt. Bisher ist unseres Wissens keine kommerzielle oder frei verfügbare Software in der Lage, alle genannten Methoden zu unterstützen. Die Software erzeugt Polylinien im MapInfo Interchange Format, ein ASCII-Format, das sich leicht in das GIS-System MapInfo importieren lässt. Eine Veröffentlichung der Software als *Freeware* ist geplant.

Keines der Rechenergebnisse ist an allen Stellen nah am Altweg. In keinem Fall wird der weite Bogen bei Querung der Quebrada nordwestlich von Fundstellengruppe F1 richtig rekonstruiert. Die beste Annäherung erzielt hier die Route, die auf Grundlage des ASTER-DGM mit der Kostenfunktion „Polynom 6. Grades“ errechnet wurde. Doch gerade an dieser Stelle ist das ASTER-DGM vermutlich recht ungenau.

4 Andere Faktoren

Bei Wegeberechnungen ist es gute Praxis, mit einem einfachen Modell zu beginnen und dieses sukzessive zu verfeinern.¹⁵ Deshalb haben wir versucht, zusätzlich zur Hangneigung andere Kostenfaktoren zu identifizieren, die den Weg mitbestimmen könnten. Wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, erzeugt die lange spitze Kurve des Altweges in der Mitte von Abb. 5 den Eindruck, dass vorher keine geeignete Stelle vorliegt, um die Quebrada zu überqueren. Auch weiter im Westen gibt es in Abb. 5 eine Quebrada, bei der der Altweg eine Kurve nimmt (siehe auch Abb. 1, in der die Quebradas als hellgraue Linien eingezeichnet sind). Dagegen beeinflussen zwei kleine Wasser-

15 Siehe z. B. Batten 2007.

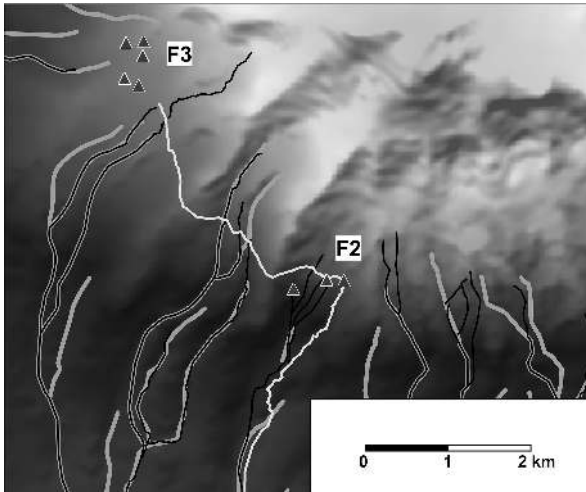


Abb. 7 Wasserläufe auf der topographischen Karte (dicke hellgraue Linien) im Vergleich mit denjenigen auf der Trekking-Karte (dünne schwarze Linien).

läufe im oberen, nördlichen Bereich des Altweges den Wegeverlauf nicht offensichtlich. Vor Ort war die Querung der Quebradas ohne Mühe mithilfe von Trittsteinen möglich. Die lange spitze Kurve in der Mitte von Abb. 5 ist am einfachsten dadurch zu erklären, dass der Weg eine einmal erreichte Höhe möglichst beibehält und deshalb nicht in das Bachtal hinabsteigt.

Vergleicht man die Wasserläufe der Trekking-Karte mit denjenigen auf den topographischen Karten, gibt es deutliche Abweichungen: So beginnt gemäß dieser Karte ein Wasserlauf im oberen Bereich des Altweges deutlich höher, so dass der Altweg diesen kreuzt – was auf der topographischen Karte so nicht verzeichnet ist (Abb. 7). Da die Trekking-Karte nur einen Teilbereich des Untersuchungsgebietes abdeckt, konnte diese nicht für vergleichende Berechnungen genutzt werden. Aufgrund dieser Problematik haben wir uns entschlossen, die Wasserläufe nicht in die Berechnung einzubeziehen.

Ein weiterer möglicher Faktor ist die Exposition, die angibt, wie das Gelände zur Sonne ausgerichtet ist. Denn von manchen Wegen im europäischen Raum ist bekannt, dass sie gewisse Expositionen bevorzugen. Deshalb wurde mit dem MapInfo-Plugin Vertical Mapper eine Expositionskarte erzeugt. Doch von dieser Karte ließ sich keine regelhafte Bevorzugung einer bestimmten Exposition ablesen.

In letzter Zeit gibt es einige archäologische Untersuchungen, die Sichtbarkeitsaspekte bei der Wegeberechnung berücksichtigen.¹⁶ Wir nutzen das MapInfo-Plugin Vertical Mapper, das nur recht einfache Sichtbarkeitsanalysen unterstützt. Diese erlauben zumindest eine grobe Einschätzung, ob Sichtbarkeitsaspekte relevant sein könnten. Aufgrund der so ermittelten Sichtfelder gilt: Von keiner der Fundstellen ist eine der Fund-

¹⁶ Beispielsweise Zakšek u. a. 2008; Lock und Pouncett 2010.

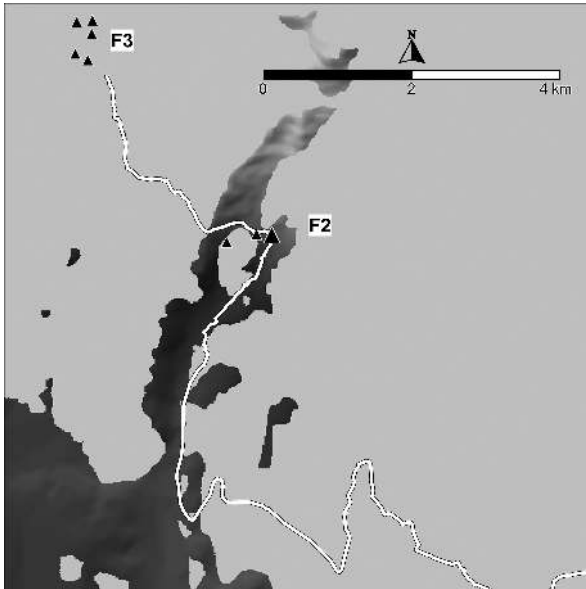


Abb. 8 Sichtfeld von der Höhle Machai (großes Dreieck). Nicht sichtbare Bereiche sind durch eine einheitlich hellgraue Fläche abgedeckt.

stellen aus einer anderen Fundstellengruppe sichtbar. Meist ist auch nur ein geringer Teil des Altweges von den Fundstellen auch zu beobachten: Von F₀ aus sieht eine Person kein Stück des Altweges, von den F₁-Fundstellen sind bis zu 1,3 km und von den F₃-Fundstellen maximal 0,2 km des Altweges zu überblicken. Von einem Beobachtungspunkt bei der Höhle Machai (Fundstellengruppe F₂) ist der größte Ausschnitt des Altweges im Blickfeld, nämlich bis zu 4,5 km (Abb. 8).

Dieses Ergebnis ist mit Vorsicht zu interpretieren, da der Altweg am Rand des errechneten Sichtfeldes verläuft. Bewuchs, Ungenauigkeiten im Geländemodell etc. könnten hier zu einem anderen Resultat führen. Für alle Sichtfeld-Berechnungen wurde eine Augenhöhe von 2 m angenommen. Doch vielleicht war es viel wichtiger, dass die Felshöhle im Blickfeld der Person ist, die den Weg in Richtung Höhle hinaufsteigt.

Die Höhle ist deutlich höher als 2 m (vgl. Abb. 3), und sollte deshalb sichtbar sein. Am einfachsten wäre es, dies vor Ort zu untersuchen. Ansonsten bieten sich verfeinerte Methoden der Sichtbarkeitsanalyse an.¹⁷

17 Siehe z. B. Posluschny 2008; Wheatley und Gillings 2002, 201–216.

5 Eis- und Trekking-Wege

Um das Bewegungsmuster auf dem Altweg weiter zu analysieren, werden zum Vergleich andere Wege in der Umgebung des Chimborazo herangezogen, nämlich Wege, die dem Transport von Gletschereis dienen (*Camino de los Hieleros*) und Trekking-Wege. Den Transport von Gletschereis vom Chimborazo ins Tal ist in mehreren YouTube-Beiträgen dokumentiert.¹⁸ Heutzutage übernehmen Esel den Transport des Gletschereises zu den Märkten im Tal – dies war vor der Ankunft der Spanier in Südamerika nicht möglich. Auf der Trekking-Karte ist ein Weg explizit als *Camino de los Hieleros* bezeichnet, ein anderer Weg mit gleicher Signatur endet ebenfalls in der Gletscherzone – weshalb auch in diesem Fall anzunehmen ist, dass es sich um einen Eisweg handelt. Es ist zu vermuten, dass für den Gletschereis-Transport der optimale Weg genutzt wird, weil das Eis möglichst schnell und ohne Umwege ins Tal gebracht werden sollte. Doch alle Versuche, die auf den Trekking-Karten verzeichneten Eiswege durch Rechenmethoden zu rekonstruieren, waren wenig erfolgreich. Leider gibt es auch recht wenig Fachliteratur zum Transport mit Eseln, aus der man eine entsprechende Kostenfunktion ableiten könnte.

Die Trekking-Wege der modernen Karte nutzen nicht den Altweg (Abb. 9), obwohl sie fast parallel verlaufen.

6 Erschließungswege

Erschließungswege werden im Folgenden die Wege genannt, die bei einem vorgegebenen Kostenlimit eine möglichst weite Strecke zurücklegen. Auf solchen Routen kommt man besonders gut voran, weshalb man sie als wahrscheinliche Wegführungen ansehen kann. Solche errechneten Wege rekonstruieren idealerweise für eine zentrale Siedlungsstelle die Wege, die zu dieser Siedlung führen. Voraussetzung ist, dass ein entsprechendes Kostenmodell bekannt ist.¹⁹

In der Regel gibt es für einen Ausgangspunkt nur einen Weg, der bei vorgegebenem Kostenlimit die weiteste Strecke zurücklegt. Der zweitbeste Weg ist dann meist sehr nah beim besten Weg. Um dies zu verhindern, kann man festlegen, dass der zweitbeste Weg einen Minimalabstand zum besten Weg einhält. So erhält man schließlich ein radiales Netzwerk für einen gegebenen Ausgangspunkt, wobei die zuerst gewählten Wege die effektivsten und deshalb auch die wahrscheinlichsten sind.

18 Englischsprachig: Carlyn Kormann, 12.12.2007: http://www.youtube.com/watch?v=YFBhd-d_Xso (zuletzt besucht am 01/10/2015)

19 Genaueres zur Errechnung von Erschließungswegen und eine erfolgreiche Anwendung ist in Herzog 2013a publiziert.

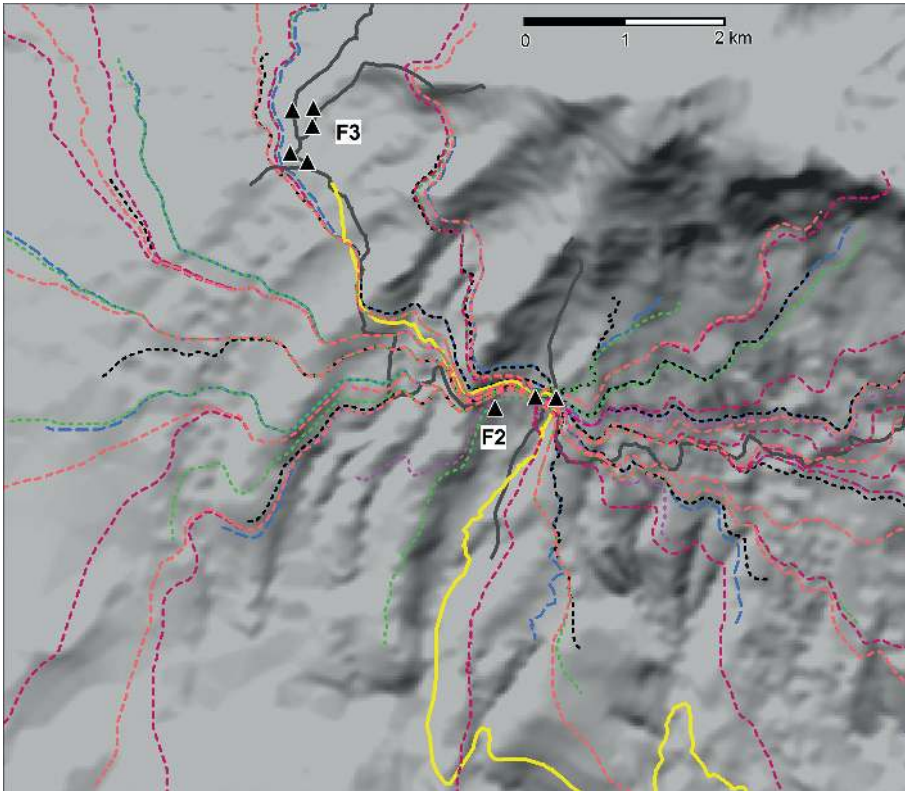


Abb. 9 Errechnete Erschließungswege für zwei Ausgangspunkte in Fundstellengruppe F2: Höhle Machai und Einfriedungen. Der Altweg ist wie in Abb. 5 in gelb dargestellt, eine Auswahl der Trekking-Wege in dunkelgrau.

Abb. 9 zeigt jeweils drei radiale Netzwerke für zwei Ausgangspunkte, nämlich die Höhle Machai und die nahe gelegenen archäologischen Relikte. Die sechs Netzwerke wurden mit folgenden Parametern erstellt: Höhle Machai: 5(3), 6(2), 7(2) km; Relikte: 7(2), 10(3), 12(3) km. Dabei gibt die erste Zahl das Kostenlimit an und der Wert in Klammern den Minimalabstand zwischen den Zielpunkten der errechneten Routen. Ein Kostenlimit von 5 km besagt, dass der Aufwand für die Route demjenigen für eine flache Strecke von 5 km entspricht. Als Kostenfunktion kam das Polynom 6. Grades zum Einsatz.

Ein Teil dieser Erschließungswege führt zur Fundstellengruppe F3, dabei beschreiben diese Wege im näheren Umfeld der Ausgangspunkte einen Korridor, in dem sich auch der Altweg befindet. Der Trekking-Weg, der die beiden Fundstellengruppen verbindet, ist dagegen nicht so nah an den errechneten Routen. Auch in der Fortsetzung nach Osten wird der Trekking-Rundweg um den Chimborazo durch die Erschließungswege nicht gut angenähert, die errechneten Wege erscheinen viel glatter. Keiner der

errechneten Wege steigt so zum Gletscher hinauf wie der Trekking-Weg von der Höhle Machai nach Norden.

Aber auch der Altweg in südlicher Richtung wird von keinem der errechneten Wege annähernd rekonstruiert. Deshalb liegt die Vermutung nahe, dass andere Faktoren die Konstruktion dieser Teilstrecke des Altweges bestimmt haben – und aufgrund des vorhergehenden Abschnittes erscheint es wahrscheinlich, dass die Sichtbarkeitsbeziehungen in diesem Bereich des Altweges eine wesentliche Rolle spielten.

7 Erreichbarkeitskarte

Eine Erreichbarkeitskarte gibt nicht nur Aufschluss darüber, ob die Fundstellen sich an Orten hoher Erreichbarkeit befinden, sondern auch, ob die betrachteten Wege Zonen hoher Erreichbarkeit bevorzugen. Dabei ist Erreichbarkeit in Bezug auf ein Kostenmodell zu definieren, das bewertet, wie hoch die Kosten für das Zurücklegen einer Strecke sind. Die Erreichbarkeitskarte in Abb. 10 basiert wieder auf dem Polynom 6. Grades, das die Kosten für die Bewältigung unterschiedlicher Hangneigungen schätzt. Als Methode wurde hier eine Kosten-basierte Kerndichteschätzung angewendet. Dieses Verfahren wird an anderer Stelle ausführlicher beschrieben²⁰ und ist mit selbst entwickelter Software implementiert, die auch in naher Zukunft als *Freeware* zur Verfügung gestellt werden soll. Für dieses Verfahren ist festzulegen, wie weit die Erreichbarkeit eines jeden Punktes durch umliegende Punkte beeinflusst werden soll. Diese Größe wird durch ein Kostenlimit angegeben; in Abb. 10 ist dies der Aufwand, der zur Bewältigung einer Strecke von 1 km auf flachem Gelände notwendig ist. Bei geringem Kostenlimit können viele kleine Inseln hoher Erreichbarkeit entstehen, die bei höheren Werten zu einem größeren Gebiet verschmelzen. Je höher das Kostenlimit, desto länger dauern die Berechnungen. Abb. 10 zeigt nur einen Ausschnitt aus der tatsächlich errechneten Erreichbarkeitskarte, um einen Nachteil der Methode zu vermeiden: Denn für die Randbereiche des Untersuchungsgebietes werden zu geringe Erreichbarkeitswerte ermittelt.

Die Erreichbarkeitskarte (Abb. 10) ist auf Grundlage des ASTER-DGM erstellt und zeigt – trotzdem – Terrassenstrukturen (vor allem im Umfeld des Gipfels). Kleine runde Einbrüche in der Erreichbarkeit treten meist an den Stellen auf, an denen für das ASTER-DGM nur eine kleine Anzahl Messwerte vorliegt. Dies betrifft jedoch den Altweg, die anderen Wege und die Fundstellen nur in geringem Maße. Die mithilfe des Höhenlinien-DGM errechnete Erreichbarkeitskarte zeigt im Wesentlichen die gleiche Verteilung der Werte (nicht abgebildet).

²⁰ Herzog und Yépez 2013; Herzog 2011.

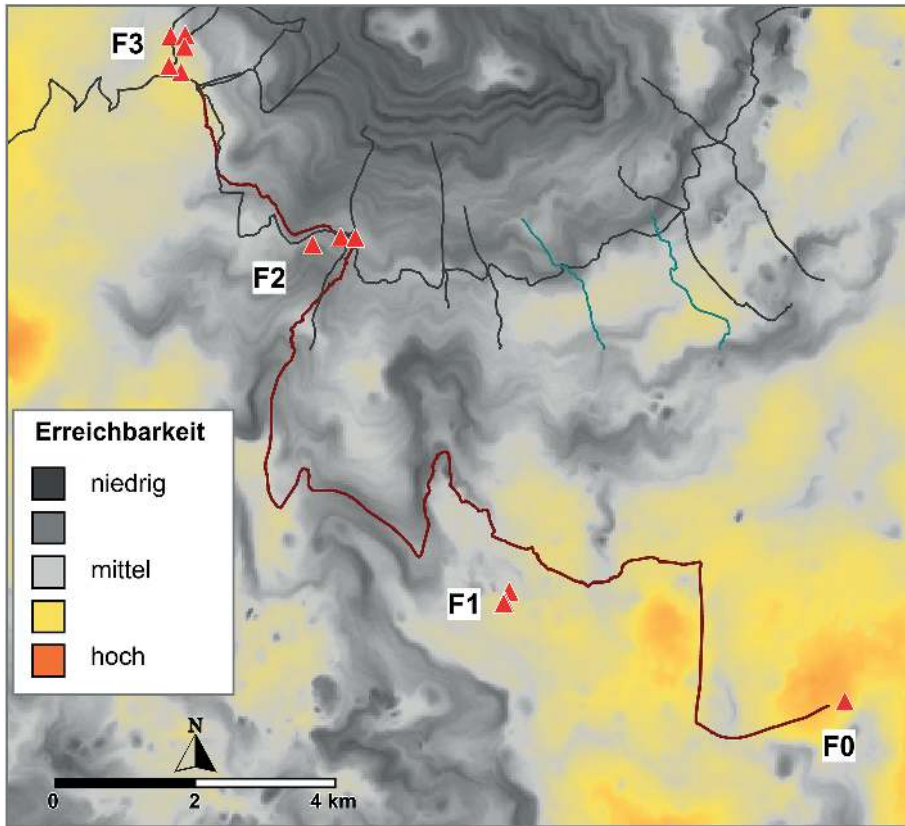


Abb. 10 Fundstellen, Altweg (braun), Trekking-Wege (dunkelgrau) und Eiswege (türkis) vor dem Hintergrund einer Erreichbarkeitskarte, die mit Kosten-basierter Kerndichteschätzung errechnet wurde. Grundlage: ASTER-DGM.

Gemäß der Erreichbarkeitskarte (Abb. 10) sind die Fundstellengruppen F₀, F₁ und F₃ überdurchschnittlich gut erreichbar, F₂ dagegen unterdurchschnittlich. Steht man vor der Aufgabe, einen Weg von F₀ zu F₃ durch Zonen hoher Erreichbarkeit zu führen, so liegt sicherlich die Fundstellengruppe F₁ an dem Weg, F₂ jedoch nicht. Ein Aufstieg zu F₃ von Süden oder Südwesten (wie der moderne Trekking-Weg) erscheint viel sinnvoller. Demnach liegt der Schluss nahe, dass es wichtig war, auf dem Weg die Höhle Machai zu besuchen, die nun mal unverrückbar in schlecht erreichbarem Gebiet liegt.

Die Wege zum Transport von Gletschereis befinden sich dagegen in Zonen verhältnismäßig hoher Erreichbarkeit. Zu beachten ist dabei, dass es in der Gletscherzone nur schlecht erreichbare Gebiete gibt, man also relativ zur Umgebung vergleichen sollte. Unter dieser Voraussetzung führen unserer Meinung nach auch die meisten Trekking-Wege

durch relativ gut erreichbare Zonen – ohne dass wir dies bisher rechnerisch nachweisen können.

8 Fazit

Eine exakte Rekonstruktion der Kostenfaktoren für den Altweg ist nicht gelungen. Dies kann an vielerlei Gründen liegen, zumal bei Wegen aus kultischem Anlass eine Optimierung der Wegstrecke nicht zwingend Vorteile erbringt wie bei Transportwegen. Da aber auch die Wege zum Transport von Gletschereis nicht gut rekonstruierbar waren, obwohl sie streckenweise durch Gelände mit hohen Erreichbarkeitswerten verlaufen, ist zu vermuten, dass die Datenbasis zu ungenau oder unvollständig ist. Dies bedeutet, dass entweder die Höhendaten in zu geringer Auflösung vorliegen oder dass weitere Faktoren einzubeziehen sind, die noch nicht identifiziert werden konnten.

Das beste Rekonstruktionsergebnis für einige Teilstrecken des Altweges liefert unseres Erachtens eine Kostenfunktion, die die Hangneigung bewertet und auf physiologischen Messungen an sportlichen Männern beruht. Zumindest eine andere Teilstrecke ist durch andere Faktoren geprägt: Der Aufstieg zur Felsenhöhle Machai verläuft durch schwieriges Gelände und ist wohl eher durch die Sichtbarkeitsbeziehungen bestimmt. Höchstwahrscheinlich sehen Wandernde die Höhle schon von Ferne beim Aufstieg, ähnlich wie bei vielen europäischen Kirchen oder Kapellen, die als Pilgerziel dienten und immer noch dienen. Die Lage der Höhle hat somit den Verlauf des Weges entscheidend geprägt.

Bibliographie

Batten 2007

David C. Batten. „Least-Cost Pathways, Exchange Routes, And Settlement Patterns in Late Prehistoric East-Central New Mexico“. In *Digital Discovery. Exploring New Frontiers in Human Heritage*. CAA 2006. Hrsg. von Jeffrey T. Clark und Emily M. Hagemeister. Budapest: Archaeolingua, 2007, 167–174.

Conolly und Lake 2006

James Conolly und Mark Lake. *Geographical Information Systems in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

Herzog 2011

Irmela Herzog. „Erreichbarkeit im Bergischen Land“. *Archäologie im Rheinland* 2010 (2011), 29–31.

Herzog 2013a

Irmela Herzog. „Least-cost Networks“. In *Archaeology in the Digital Era*. CAA 2012 – *Proceedings of the 40th Conference*. Hrsg. von Graeme Earl, Tim Sly, Angeliki Chrysanthi, Patricia Murrieta-Flores, Constantinos Papadopoulos, Iza Romanowska und David Wheatley. Amsterdam: Amsterdam University Press, 2013, 237–248.

Herzog 2013b

Irmela Herzog. „The Potential and Limits of Optimal Path Analysis“. In *Computational Approaches to Archaeological Spaces*. Hrsg. von Andrew Bevan und Mark Lake. Left Coast Press, 2013, 179–211.

Herzog 2013c

Irmela Herzog. „Theory and Practice of Cost Functions. In Fusion of Cultures. CAA 2010 – Proceedings of the 38th Conference“. In *Fusion of Cultures*. CAA 2010 – *Proceedings of the 38th Conference*. Hrsg. von Francisco Contreras, Mercedes Farjas und Francisco Javier Melero. BAR International Series 2494. Granada, 2013, 375–382.

Herzog und Yépez 2013

Irmela Herzog und Alden Yépez. „Least-Cost Kernel Density Estimation and Interpolation-Based Density Analysis Applied to Survey Data“. In *Fusion of Cultures*. CAA 2010 – *Proceedings of the 38th Conference*. Hrsg. von Francisco Contreras, Mercedes Farjas und Francisco Javier Melero. BAR International Series 2494. Granada, 2013, 367–374.

Kantner und Hobgood 2003

John Kantner und Ronald Hobgood. „Digital Technologies and Prehistoric Landscapes in the American Southwest“. In *The Reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies*. Hrsg. von M. Forte und P.R. Williams. BAR Int. Ser. Vol. 1151. Proc. 1st Italy-United States Workshop, Boston, Massachusetts, USA, Nov. 1–3 2001. Oxford: Archaeopress, 2003, 117–124.

Langmuir 2004

Eric Langmuir. *Mountaineering and Leadership*. Revised Third Edition. Leicester: Cordee, 2004.

Llobera und Sluckin 2007

Marco Llobera und T.J. Sluckin. „Zigzagging: Theoretical Insights on Climbing Strategies“. *Journal of Theoretical Biology* 249 (2007), 206–217.

Lock und Pouncett 2010

Gary Lock und John Pouncett. „Walking the Ridgeway Revisited: The Methodological and Theoretical Implications of Scale Dependency for the Derivation of Slope and the Calculation of Least-Cost Pathways“. In *Making History Interactive*. CAA 2009 – *Proceedings of the 37th Conference*. Hrsg. von Bernhard Frischer, Jane Webb Crawford und David Koller. BAR International Series S2079. Oxford: Archaeopress, 2010, 192–203.

Minetti u. a. 2002

Alberto E. Minetti, Christian Moia, Guido S. Roi, Davide Susta und Guido Ferretti. „Energy Cost of Walking and Running at Extreme Uphill and Downhill Slopes“. *Journal of Applied Physiology* 93 (2002), 1039–1046.

Posluschny 2008

Axel Posluschny. „Sehen und gesehen werden. Sichtbarkeitsanalysen als Werkzeug archäologischer Forschungen“. In *Frühe Zentralisierungs- und Urbanisierungsprozesse. Zur Genese und Entwicklung frühkeltischer Fürstentümer und ihres territorialen Umlandes*. Hrsg. von Dirk Krause. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 101 (Kolloquium Blaubeuren, 9.–11. Oktober 2006). Stuttgart: Theiss Verlag, 2008, 367–380.

Tobler 1993

Waldo Tobler. *Non-isotropic Geographic Modeling. Technical Report 93-1*. 1993. URL: <http://www.geodyssey.com/papers/tobler93.html> (besucht am 01. 10. 2015).

Tripcevich 2009

Nicholas Tripcevich. *Workshop 2009, No. 1 – Viewshed and Cost Distance*. 2009. URL: <http://mapaspects.org/book/export/html/3743> (besucht am 01. 10. 2015).

Wheatley und Gillings 2002

David Wheatley und Mark Gillings. *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*. London und New York: CRC Press, 2002.

White und Surface-Evans 2012

Devin A. White und Sarah L. Surface-Evans, Hrsg. *Least Cost Analysis of Social Landscapes. Archaeological Case Studies*. Salt Lake City: The University of Utah Press, 2012.

Zakšek u. a. 2008

Klemen Zakšek, Elise Fovet, Laure Nuninger und Tomaž Podobnikar. „Path Modelling and Settlement Pattern“. In *Layers of Perception. CAA 2007 – Proceedings of the 37th Conference*. Hrsg. von Axel Posluschny, Karsten Lambers und Irmela Herzog. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte 10. Bonn: Habelt, 2008, 309–315.

Abbildungsnachweis

1 Irmela Herzog. 2 Alden Yépez. 3 Alden Yépez. 4 Alden Yépez. 5 Irmela Herzog.

6 Irmela Herzog. 7 Irmela Herzog. 8 Irmela Herzog. 9 Irmela Herzog. 10 Irmela Herzog.

IRMELA HERZOG

Dipl.-Math. (Bonn 1987), ist als wissenschaftliche Referentin im LVR-Amt für Bodendenkmalpflege in Bonn zuständig für die wissenschaftliche EDV. Ihre Forschungsschwerpunkte sind neue Methoden und Anwendungen von Geoinformationssystemen in der Archäologie, statistische Auswertungen archäologischer Daten und die Analyse stratigraphischer Daten.

Irmela Herzog
LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland
Endenicher Str. 133
53115 Bonn, Deutschland
E-mail: i.herzog@lvr.de

ALDEN YÉPEZ

Dr. (Bonn 2008), ist Dozent für altamerikanische Archäologie an der Universität in Quito, Ecuador, und Leiter des Projekts ‚Archäologische Untersuchungen am Chimborazo‘. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Prospektionsmaßnahmen in den unterschiedlichen Landschaften Ecuadors und die Auswertung dieser Daten mittels GIS und quantitativer Methoden.

Dr. Alden Yépez
Escuela de Antropología
Universidad Católica del Ecuador
Av. 12 de Octubre 1076 y Roca
Quito, Ecuador
E-mail: amyepz@puce.edu.ec