

Berechnung von optimalen Wegen am Beispiel der Zeitstraße

Irmela Herzog

Zusammenfassung – In internationalen Publikationen erfreuen sich Wegeberechnungen in der Archäologie einer großen Beliebtheit. Solche Wegeberechnungen haben entweder das Ziel, die Hauptfaktoren zu ermitteln, die den Streckenverlauf einer bekannten Route bestimmen oder die Verkehrsverbindungen zwischen ur- oder frühgeschichtlichen Siedlungen zu rekonstruieren. Meist wird für diese Berechnungen fertige Software eingesetzt, doch bessere Ergebnisse können häufig durch feiner abgestimmte Ansätze erzielt werden. Die Zeitstraße, eine bekannte alte Verbindungsrouten zwischen Siegburg und Halver dient als Testbeispiel. Die beste Anpassung an die von NICKÉ (2001) beschriebene Altstraße wird nicht durch Fußgängerwege sondern durch errechnete Wege für Wagen erzielt, die Steigungen über 10 bzw. 12% meiden, mit höheren Kosten für größere Wasserläufe als für kleine, die die effektive Hangneigung und nicht die Hangneigungskarte verwenden, bei denen pro Optimierungsschritt 48 und nicht nur acht Richtungen getestet werden und die den ältesten Ort auf der Strecke, nämlich Much, als Zwischenstation erzwingen. Lässt man die letzte Bedingung weg, ergibt sich ein deutlich anderer Streckenverlauf, der im ersten Teil mit einem anderen von Nicke beschriebenen Altweg übereinstimmt. Alternativ kann man ein Modell berechnen, demnach die Landschaft zunächst von den Hauptwasserläufen aus erschlossen wurde: Von diesen aus entwickelten sich Fußwege nach Prinzipien der Kostenminimierung in das Gelände. Dieses Modell wird im Untersuchungsgebiet für den Fluss Agger getestet. Die dabei errechneten Erschließungswege verbinden die Agger mit einigen frühen Siedlungen in der Umgebung.

Schlüsselwörter – Altwege, optimale Wege, GIS

Abstract – Least-cost path methods are popular in the community of computer archaeologists. They are used to (a) identify the principles governing the construction of ancient roads if the routes are known or (b) reconstruct the paths connecting ancient settlements. Most archaeological least-cost path studies rely largely on push-button software, but results can often be improved by applying more refined concepts. The ancient road known as Zeitstraße, which connects Siegburg and Halver, serves as an example. The best fit in respect to the traditional reconstruction of the Zeitstraße by NICKÉ (2001) is obtained by calculating optimal paths not for pedestrians but for wheeled traffic with a critical slope of 10 and 12%, and including the following aspects: (a) avoid large streams more than small streams, (b) calculate effective slope rather than use a slope map, (c) check 48 instead of 8 directions during each step, and (d) force the path through Much, the oldest town on the route. Omitting the latter constraint results in a completely different route which in the first part coincides with another ancient route described by Nicke. An alternative model suggests that the country was initially explored on the main water courses, and subsequently pedestrian routes based on least-cost principles evolved, proceeding from the rivers. This alternative concept is evaluated for the river Agger in the study area, and the calculated paths connect the river with some of the early settlements in its neighbourhood.

Keywords – ancient roads, least-cost paths, GIS

Einleitung

Während in der prozessualen Archäologie statistische Methoden und quantifizierende Ansätze in den Mittelpunkt archäologischer Forschung rückten, waren mit der postprozessualen Wende Berechnungen nicht mehr gefragt, jedenfalls solche nicht, die annehmen, dass unsere Vorfahren gewisse Dinge optimierten. Eine Ausnahme bildet eine recht große Gruppe von internationalen Publikationen, die versuchen, den Verlauf von alten Straßen und Wegen durch Optimierung mittels Geographischer Informationssysteme (GIS) zu rekonstruieren. Allein im Tagungsband der Konferenz „Computer Applications in Archaeology“ (POSLUSCHNY ET AL. 2008), die im April 2007 in Berlin statt fand, gibt es sieben Anwendungen von solchen Wege-Optimierungsberechnungen, die sich auf Routen zwischen verschiedenen Orten beziehen. Hinzu kommen drei weitere Beiträge, die sich mit Wegen innerhalb von eng bebautem Gelände beschäftigen, seien es Siedlungen oder Paläste. In Deutschland sind die publizierten Beispiele für Wegeberechnungen noch rar, beispielhaft seien hier die Magisterarbeit von Ingo EICHFELD (2005) und die landschaftsarchäologische Studie von Axel POSLUSCHNY (2008) genannt.

Mit der Berechnung des optimalen Wegs oder des Kosten-minimierenden Wegenetzes werden unterschiedliche Ziele verfolgt: Sind das Straßennetz oder Reste desselben archäologisch nachgewiesen, so wird versucht, die Faktoren zu identifizieren, die dazu führten, dass die Verkehrsverbindungen genau an dieser Stelle entstanden (z. B. BELL/LOCK 2000) – ggf. werden die fehlenden Teilstücke ergänzt und zwar, indem das vorher gefundene Konstruktionsprinzip auf die Strecke zwischen zwei erhaltenen Teilstücken angewendet wird. Kosten-minimierende Wegenetze werden jedoch auch berechnet, um auf der Grundlage bekannter Siedlungsstellen einer Zeitstufe die Verkehrsnetze oder Siedlungskammern zu rekonstruieren (z. B. POSLUSCHNY 2008).

Es ist äußerst unwahrscheinlich, dass der urgeschichtliche Mensch sein Ziel stets auf dem kürzesten Wege erreichte, während doch der moderne Nachfahre sich hin und wieder verläuft. Manchmal war und ist der Weg das Ziel, man denke an Schäfer und ihre Herde, an Prozessions- oder Pilgerwege. Auch wenn ein Herrscher oder eine Besatzungsmacht Straßen, Brücken und Tunnel anlegen ließ, um technische Überlegenheit oder Macht über die Natur zu demonstrieren, so sind

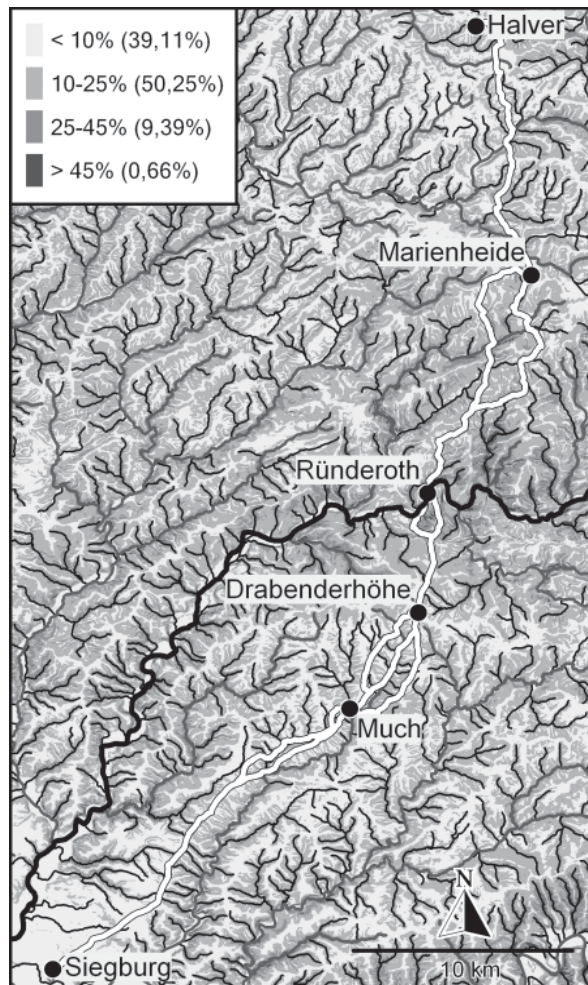


Abb. 1 Das Untersuchungsgebiet westlich von Köln mit der Zeitstraße (einschließlich Alternativrouten) nach NICKÉ (2001). Deutlich erkennbar ist das dichte Netz von Wasserläufen. Besonders hervorgehoben ist die Agger, weil sie in Abb. 6 eine zentrale Rolle spielt.

optimierende Berechnungen nicht angebracht, um diese Routen zu rekonstruieren. Optimierte Wege sind jedoch dort anzunehmen, wo die Route häufig begangen wurde, um Güter zu transportieren oder die Nachbarn zu besuchen. Denn wenn ein Transport oder ein Weg mühsam ist, so werden die Menschen nach und nach eine Route finden, die den Aufwand minimiert.

Bei der Ermittlung der kürzesten Wege kann man neben natürlichen Faktoren wie Gewässern, Bodenbeschaffenheit und Hangneigung auch soziale Einflüsse mit einbeziehen: Sehr häufig werden bei den Berechnungen Sichtbarkeitsaspekte berücksichtigt, auch Tabus oder Orte hoher Attraktivität können einberechnet werden (siehe z. B. LLOBERA 2000). Damit werden solche optimierenden Verfahren auch für Archäologen interessant, die eine naturdetermi-

nistische Sichtweise auf die Vergangenheit ablehnen und die soziale Faktoren einbeziehen möchten.

Das Untersuchungsgebiet Zeitstraße und die Datengrundlagen

Anhand eines Untersuchungsgebiets östlich von Köln mit einer Ausdehnung von 26,3 mal 45,9 km, werden im Folgenden Möglichkeiten zur Wegeberechnung vorgestellt und mit dokumentierten Altwegen verglichen. Das Untersuchungsgebiet ist so gewählt, dass es die von NICKÉ (2001, 89-96) beschriebene Route eines alten Handelsweges, der Zeitstraße, umfasst, die von Siegburg nach Halver (und vermutlich weiter bis Dortmund) verlief. Dabei hat sie auf etwas mehr als 47 km Luftlinie einen Höhenunterschied von 360 m zu überwinden. Das Untersuchungsgebiet gehört zum Bergischen Land, ein Mittelgebirgsraum mit vorwiegend ertragsarmen Böden und hohen Niederschlagsmengen (LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007). Für das oben beschriebene Areal um die Zeitstraße bedeutet dies konkret, dass nur etwa 40% der Fläche eine Hangneigung von weniger als 10% aufweist, während die Hangneigung in gut der Hälfte des Gebiets zwischen 10 und 25% liegt, 10% der Fläche ist noch steiler. Außerdem ist das Bergische Land und insbesondere auch der hier betrachtete Ausschnitt von einem Netz kleiner Flüsse und Bäche durchzogen.

Nach gängiger Fachmeinung (LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007) fand aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten eine Aufsiedlung des Bergischen Landes erst im 11.-13. Jh. statt, als die Bevölkerung im Gebiet westlich des Rheins stark anstieg, viele Menschen auswanderten und im bis dahin weitgehend unbesiedelten Gebiet östlich des Rheins eine neue Heimat fanden. Überregionalen Verbindungsstraßen erschlossen für die Neusiedler die Landschaft.

Die Zeitstraße wurde zunächst anhand der Angaben von Nicke auf einer modernen Karte digitalisiert, danach erfolgte eine Anpassung des Verlaufs aufgrund der Altwege, die auf den Kartenblättern der Preußischen Uraufnahme von 1840 verzeichnet sind (Abb. 1; vgl. LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007, CD:102). Nicke beschreibt z. T. mehrere Varianten der Zeitstraße und gibt auch an, welche der Alternativrouten vermutlich die ältere ist. Nach Nicke verläuft die Zeitstraße von Siegburg (65 m ü. NN) nach Much (205 m ü. NN) und erreicht in Drabenderhöhe 315 m ü. NN, bevor sie nach Runderoth (180 m ü. NN) ins Aggertal hinabsteigt, um dann wieder an Höhe zu gewinnen und über Marienheide (350 m ü. NN) zum Zielort Halver (425 m ü. NN) zu gelan-

gen. Den weiteren Wegeverlauf, der sich vermutlich bis Dortmund erstreckte, beschreibt Nicke nicht. Das Kirchdorf Halver mit der heute noch erkennbaren charakteristischen Kirchenringbebauung wurde als Oberhof Halvara der Abtei Werden an der Ruhr um 900 n. Chr. erwähnt (NICKE 2001, 206; LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007, CD:272) und ist ein Verkehrsknotenpunkt, an dem der so genannte Heerweg (von Köln-Mülheim über Wipperfürth nach Soest) den Hileweg (von Essen über Meinerzhagen nach Limburg) kreuzt. Der Ausgangsort der Zeitstraße, Siegburg, war aufgrund seiner strategischen Lage bereits in fränkischer Zeit eine bedeutende Ansiedlung und ist bekannt als wichtiges spätmittelalterliches und frühneuzeitliches Töpferzentrum (LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007, CD:94, 285, 413). Die Ersterwähnungen der wichtigsten Zwischenstationen auf der Strecke sind deutlich später: Much 1131 n. Chr., die Kirchdörper Drabenderhöhe 1353 und Engelskirchen-Ründeroth 1174, Marienheide 1417 n. Chr. Ründeroth gilt als Zentralort des Kaltenbacher Eisenerzreviers mit einer 800jährigen Bergbaugeschichte (LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007, CD:411). Es ist wahrscheinlich, dass das dort gewonnene Eisen zumindest teilweise über die Zeitstraße weiter verhandelt wurde. In Marienheide kreuzt die Zeitstraße eine andere wichtige Altstraße, die Heidenstraße von Bensberg nach Kassel, außerdem die spätmittelalterliche Bergische Eisenstraße (LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007, CD:102).

Grundlage für die Berechnungen war ein digitales Geländemodell der Landesvermessung mit einem Abstand von 50 m zwischen den Gitterpunkten mit Höhenwerten, außerdem moderne Daten zu den Wasserläufen. Genauere Höhenmodelle mit einem Gitterabstand von 10 m sind verfügbar, führen jedoch zu erheblich längeren Rechenzeiten – deshalb wurden sie im Rahmen der hier vorgestellten Studie nicht verwendet. Obwohl das Untersuchungsgebiet weder dicht besiedelt ist noch in großen Teilen intensiv landwirtschaftlich genutzt wird, sind gegenüber der Situation von vor 1000 Jahren deutliche Veränderungen der Topographie zu erwarten. Bergbau, die Steinindustrie und eine große Anzahl Talsperren haben das ursprüngliche Gelände zum Teil überprägt (LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007). Eine Landschaftsrekonstruktion für die Zeitstufe, für die die Wegeberechnung vorgesehen ist, wäre wünschenswert, würde aber den Rahmen dieser kleinen Studie sprengen. Es wird sich zeigen, dass trotz der hier diskutierten Einschränkungen (Höhenmodell mit geringer Auflösung und Landschaftsveränderungen vor allem durch moderne menschliche Eingriffe) mit den Wegeberechnungen plausible Ergebnisse erzielt

werden können. Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (MapInfo mit Zusatzmodul Vertical Mapper) und eigener Programme.

Berechnung von Fußgängerwegen für die Zeitstraße

Da Hangneigung bei archäologischen Wegeberechnungen der beliebteste Kostenfaktor ist und speziell die Kostenberechnung nach TOBLER (1993) sehr populär ist, wurde dieser Ansatz als erstes verfolgt (**Abb. 2a**). Die Kostenfunktion von Tobler gibt in Abhängigkeit von der Hangneigung an, welche Geschwindigkeit beim Gehen intuitiv gewählt wird. Entsprechende GIS-Software berechnet mit Hilfe dieser Kostenfunktion, welches der schnellste Weg zwischen zwei Orten ist. Das in **Abb. 2a** gezeigte Ergebnis dieser Berechnung stimmt nicht mit der von Nicke beschriebenen Route der Zeitstraße überein. Der errechnete Weg verläuft bis zu 8 km westlich der Zeitstraße und nutzt die Täler der Wasserläufe von Agger, Lennefe und Sülz.

Nach NICKE (2001, 13) ist ein solcher Wegeverlauf erst in der späten Neuzeit wahrscheinlich, als entsprechende Maßnahmen zum Straßenbau in feuchten Tälern getroffen wurden. Frühe Wege mieden dagegen dieses Gelände, die Wege verliefen nach Möglichkeit auf den Höhen. Deshalb wurde das Kostenmodell angepasst, innerhalb einer Pufferzone mit einem Radius von 50 m um den Wasserlauf wurden die Wegekosten verdoppelt bzw. verfünffacht, je nach Größe des Baches oder Flusses. Dies führte dazu, dass die errechnete Route sich noch weiter in westlicher Richtung von der Zeitstraße entfernte (bis zu 12 km, **Abb. 2a**).

Erst wenn man eine bekannte Zwischenstation (Much) in den Weg einfügt, ändert sich das Bild. Die Wahl fiel auf Much, da dieser Ort die früheste Ersterwähnung unter den Hauptorten auf der Zeitstraße aufweist. Bis Much verläuft der errechnete Weg dann in recht guter Übereinstimmung mit der Zeitstraße (**Abb. 2a**), wobei vor Much die nach Nicke ältere Variante der Zeitstraße durch die berechnete Route angenähert wird. Kaum mehr als 2 km hinter Much weichen die errechnete und die von Nicke beschriebene Route wieder deutlich voneinander ab; keine der weiteren Zwischenstationen auf der Zeitstraße wird von dem berechneten Wegeverlauf erreicht. Nun könnte man meinen, dass man die weiteren bekannten Zwischenstationen in die Berechnung einfügen muss, um eine gute Anpassung an die Zeitstraße zu erreichen. Doch vorher gibt es noch andere Möglichkeiten zur

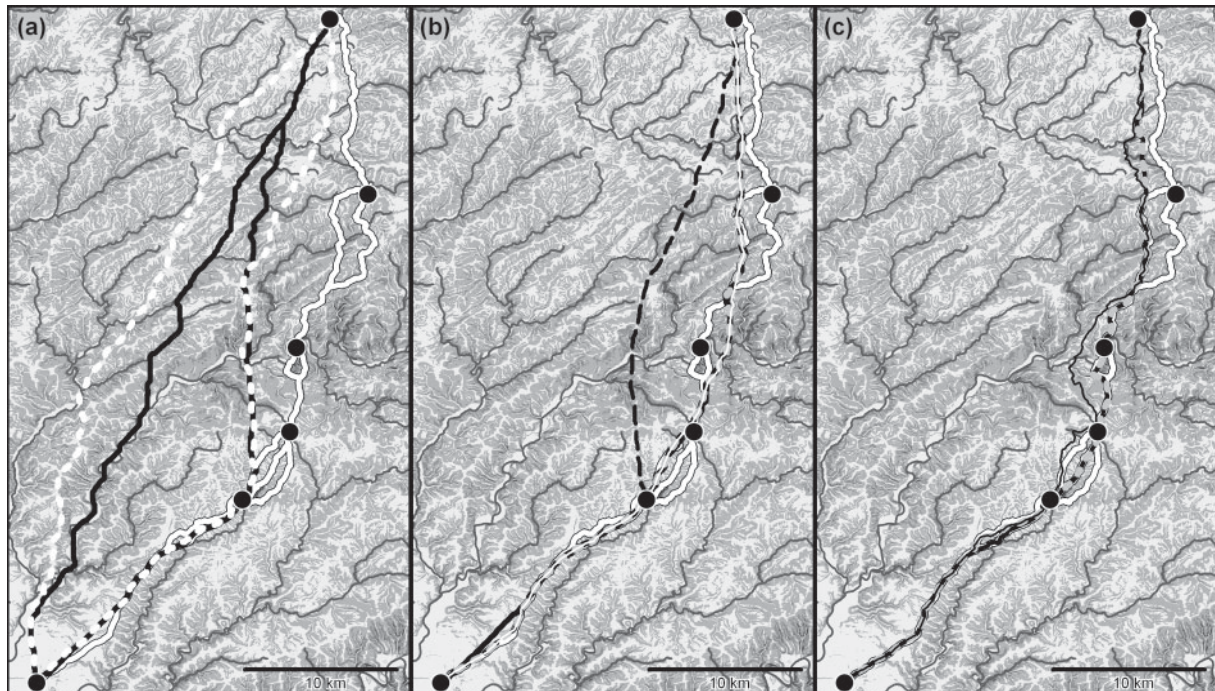


Abb. 2 (a) Schwarze Linien: optimale Wege, berechnet mit der Kostenfunktion von TOBLER (1993), mit und ohne Zwischenstation Much; weiße Punktlinien: Tobler-Wege mit Berücksichtigung von Zusatzkosten für die Wasserläufe. (b) Ergebnisse mit anisotropisch berechneter Hangneigung und Zusatzkosten für Wasserläufe: Schwarze durchgezogene Linie: Tobler-Weg mit nur acht getesteten Richtungen; hellgrau gepunktete Linie: Tobler-Weg mit 48 getesteten Richtungen; dünne weiße Linie: mit der Kostenfunktion von LLOBERA/SLUCKIN (2007) berechnete Route; schwarze unterbrochene Linie: Wegeberechnung nach ERICSON/GOLDSTEIN (1980). (c) Berechnete Fahrwege mit einer kritischen Hangneigung von 12 (dicke schwarze Linie), 10 (gepunktete hellgraue Linie) und 8% (dünne schwarze Linie).

Verbesserung des Rechenergebnisses, ohne das Modell zu verfeinern.

In den bisherigen Beispielen wurde isotropisch gerechnet, d. h. ob ein Weg am Hang bergauf, bergab oder hangparallel verläuft, spielte keine Rolle. Genauer gesagt, die Kosten wurden ohne Betrachtung der Bewegungsrichtung aufgrund der vom GIS errechneten Hangneigungskarte ermittelt. Zwar weisen die GIS-Lehrbücher für Archäologen (CONOLLY/LAKE 2006, 217-221; WHEATLEY/GILLINGS 2002, 152-153) darauf hin, dass die Bewegungsrichtung zu berücksichtigen ist, doch wird dies in vielen archäologischen Wegeberechnungen ignoriert. Dies liegt z. T. daran, dass anisotropische (d. h. von der Bewegungsrichtung abhängige) Kosten erst in letzter Zeit von den verfügbaren GIS-Programme ermittelt werden können – und auch die von Conolly und Lake sowie Wheatley und Gillings in diesem Zusammenhang positiv herausgestellte GIS-Software IDRISI hat Nachteile: Dort werden sehr steile Abstiege mit geringeren Kosten belegt als eine Strecke in der Ebene (EASTMAN 2003, 258), was für Fußgänger nicht angemessen ist. Wenn man jedoch die Steigung in Bewegungsrichtung richtig ermittelt

und die entsprechenden Kosten berücksichtigt, dann nähert sich die errechnete Route der Zeitstraße weiter an (**Abb. 2b**): Der Ortsrand von Drabenderhöhe wird westlich gestreift, der Übergang über die Agger ist bei dieser Route etwa 1,5 km südöstlich von Ränderoth; danach, etwa 3,3 km Luftlinie hinter Ränderoth, laufen die Zeitstraße und die errechnete Route wieder zusammen, und dies bleibt mit kleinen Abweichungen so bis zum Abzweig nach Marienheide, von wo aus der berechnete Weg viel geradliniger als die Zeitstraße auf Halver zustrebt. Bei dem anisotropischen Ansatz können Hin- und Rückweg getrennt berechnet werden, doch für die Zeitstraße ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den berechneten Wegen in beiden Richtungen, zumindest wenn man Much als Zwischenstation einbezieht. Im eben präsentierten und in den folgenden Beispielen wird für die anisotropischen Berechnungen die Kostenfunktion so konstruiert, dass sie die Kosten von Hin- und Rückweg mittelt. Unter der Voraussetzung, dass für Hin- und Rückweg die gleiche Route verwendet wird, ist dies der optimale Weg (vgl. DE SILVA/PIZZIOLO 2001).

Eine weitere Verbesserung des Ergebnisses kann durch die Berücksichtigung von 48 statt 8 möglicher Bewegungsrichtungen erzielt werden. Die weit verbreitete GIS-Software ArcView der Firma ESRI betrachtet bei jedem Berechnungsschritt nur acht Richtungen, damit ist die errechnete Route nicht notwendig die kostengünstigste, sondern um bis zu 8% länger als die tatsächliche optimale Route. GRASS GIS verfügt dagegen die Option, 24 Richtungen zu berücksichtigen, sodass dieser Fehler im schlimmsten Fall nur noch 2,8% der Streckenlänge beträgt. Erhöht man die Zahl der möglichen Bewegungsrichtungen auf 48, wird der maximale Fehler der Streckenlänge auf unter 1,4% gesenkt (HUBER/CHURCH 1985). Nicht nur die Streckenlänge, auch der Verlauf der Route ändert sich, wenn die Wegeberechnung eine größere Zahl an möglichen Richtungen unterstützt. Dies sieht man bei der mit 48 Richtungen berechneten Route vor allem in dem Streckenabschnitt direkt hinter Siegburg (Abb. 2b), hier ergibt sich eine deutlich bessere Annäherung an die Zeitstraße als bei Berücksichtigung von nur acht Richtungen. Zusätzlich verkürzt sich die errechnete Strecke um ca. 3%. Die genauere Berechnung hat jedoch den Nachteil, dass sich die Rechenzeit deutlich erhöht.

Statt der benötigten Zeit kann man alternativ den Energieverbrauch als Kostenfunktion verwenden. Für zwei solche Kostenfunktionen werden Ergebnisse berechnet: Die eine Kostenfunktion leiteten ERICSON und GOLDSTEIN (1980) von einer Faustregel für Rucksackwanderer ab; DE SILVA und PIZZIOLLO (2001) verwenden sie zur Wegeberechnung zwischen neolithischen Siedlungen im Biferno-Tal, Italien. Die zweite Kostenfunktion ist ein Polynom 4. Grades und beruht auf physiologischen Messdaten, die unter Laborbedingungen ermittelt wurden; sie wurde von LLOBERA und SLUCKIN 2007 vorgeschlagen. Bei Verwendung dieser Kostenfunktion für die Routenberechnung wird ein ähnliches Ergebnis erzielt wie dasjenige, das mit dem Ansatz von Tobler errechnet wurde (Abb. 2b). Die stückweise lineare Kostenfunktion von Ericson und Goldstein führt hinter Much zu einer deutlich abweichenden Route (Abb. 2b): Sie verläuft westlicher als die isotropischen Tobler-Wege, nähert sich punktuell jedoch diesen an. Abb. 3 zeigt, dass die Kostenfunktionen von Tobler und Llobera/Sluckin durchaus vergleichbar sind, wenn man berücksichtigt, dass Hin- und Rückweg auf der gleichen Route zurückgelegt werden. Dagegen sind die Kosten für steiles Gelände bei der von De Silva und Pizzuolo verwendeten Funktion deutlich geringer, was wohl die abweichenden Ergebnisse verursacht. Die Faustregel der Rucksackwanderer führt offensichtlich zu deutlich

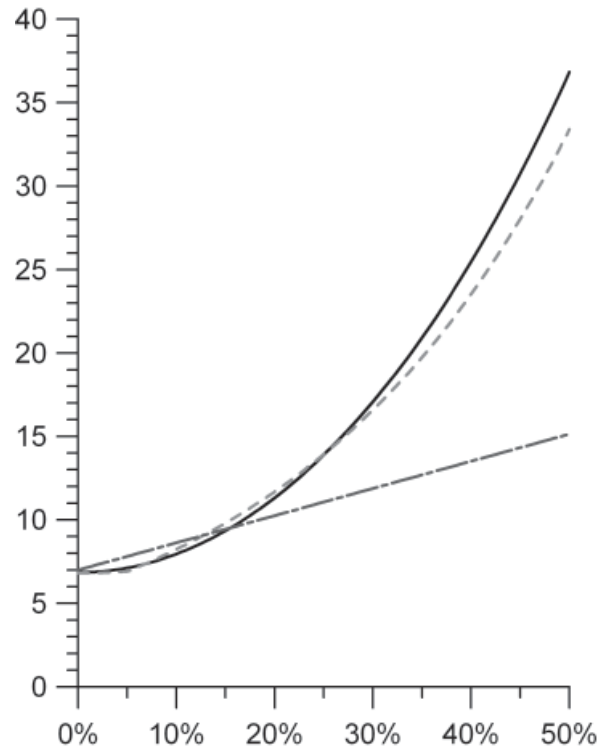


Abb. 3 Hangneigungsabhängige Kostenfunktionen für Fußgänger im Vergleich: Schwarze Linie – Polynom 4. Grades von LLOBERA/SLUCKIN (2007); grau gestrichelte Linie – Exponentialfunktion nach TOBLER (1993); gerade graue Strich-Punkt-Linie – lineare Funktion von ERICSON/GOLDSTEIN (1980). Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Funktionen mit geeigneten Faktoren multipliziert.

schlechteren Ergebnissen als eine auf physiologischen Daten beruhende Kostenfunktion.

Mit den Kostenfunktionen von Tobler bzw. Llobera/Sluckin, bei anisotropischer Berechnung, bei Berücksichtigung von 48 Bewegungsrichtungen, mit Kostenfaktoren zur Vermeidung von Wasserläufen und mit der Zwischenstation Much konnte die beste Anpassung an die von Nicke beschriebene Route der Zeitstraße erzielt werden – wenn man Kostenfunktionen für Fußgänger betrachtet. Zu untersuchen bleibt, ob für beladene Packtiere ähnliche Kostenfunktionen angemessen sind wie für Fußgänger.

Berechnung von Fahrwegen für die Zeitstraße

Bereits aus dem Neolithikum gibt es Hinweise zur Nutzung von Wagen, und in der Bronzezeit wurden Speichenrad und lenkbare Vorderachse erfunden (BURMEISTER 2004). Ab welchem Zeitpunkt Wagen regelmäßig zum Transport von Gütern auf langen

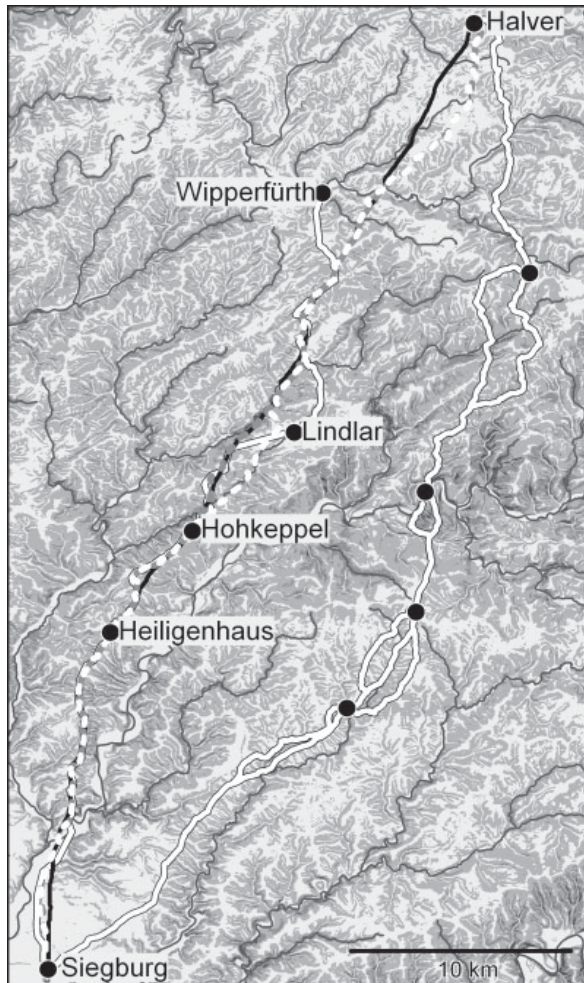


Abb. 4 Polizeiweg (von Siegburg über Lindlar nach Wipperfürth) und errechnete Wege (alle mit Zusatzkosten für Wasserläufe) im Vergleich: Schwarze Linie – Tobler-Weg; grau gepunktete Linie – Fahrweg mit einer kritischen Steigung von 12%; weiß gepunktete Linie – Fahrweg mit kritischer Steigung von 8%.

Strecken zum Einsatz kamen, ist schwer zu entscheiden. Sicher ist jedoch, dass 1840, als die historischen Karten entstanden, auf deren Grundlage der Verlauf der alten Zeitstraße rekonstruiert wurde, Karren und Kutschen häufig auf dieser Strecke anzutreffen waren. Bevor jedoch Kostenfunktionen für Fahrzeuge diskutiert werden, sei darauf hingewiesen, dass Wagen zumindest ab der Bronzezeit nicht nur für den Transport nach Kostenkriterien verwendet wurden, wovon z. B. reich verzierte Prunkwagen in Fürstengräbern zeugen. Hinzu kommen Wagen in kultischem Zusammenhang, hier sei nur auf den berühmten Sonnenwagen von Trundholm verwiesen (BURMEISTER 2004, dort Abb. 14).

Kostenfunktionen für Wagen fanden in den der Autorin bisher bekannten Publikationen zur Wegeberechnung in der Archäologie keine

Verwendung. Bei der Literaturrecherche zu Römerstraßen oder anderen historischen Altwegen finden sich häufiger Angaben, welche Steigungen mit Wagen maximal bewältigt werden konnten, aber keine Kostenfunktionen. Diese so genannten kritischen Steigungswerte liegen meist zwischen 8 und 12%. Beispielsweise beträgt die maximale Steigung von Römerstraßen nach GREWE (2004) 8%, nur ausnahmsweise treten steilere Strecken auf, für die meist Vorspanndienste benötigt wurden. Damit unterscheiden sich Fahrwege grundsätzlich von Fußwegen, bei denen es sich in der Regel erst ab ca. 25% Steigung lohnt, in Serpentinaen zu gehen (MINETTI 1995).

LLOBERA und SLUCKIN (2007) beschreiben, wie man für eine vorgegebene kritische Steigung eine Kostenfunktion in Form einer Parabel konstruieren kann. Solche Kostenfunktionen mit einer kritischen Steigung von 8, 10 und 12% wurden für die Zeitstraße verwendet, um weitere mögliche Routen zu errechnen (Abb. 2c). Vor Much folgt der mit der 12%-Kostenfunktion errechnete Weg zusammen mit der Fußgängeroute der von Nicke beschriebenen älteren Variante. Die alternative, neuere Route wird von den 8- und 10%-Wegen genommen. Hinter Much nehmen die 10- und 12%-Wege eine Route im Tal des Wahnbachs, die auf der Karte von 1840 eingezeichnet ist, aber bei Nicke unerwähnt bleibt. Diese beiden errechneten Wege laufen durch Drabenderhöhe, queren die Agger bei Ränderoth und bleiben bis zum Abzweig nach Marienheide auf der Zeitstraße. Damit sind diese beiden Rechenergebnisse die besten Annäherungen an die Zeitstraße. Der 8%-Weg nimmt hinter Drabenderhöhe einen anderen Verlauf, quert die Agger westlich von Ränderoth und auch nach dem Abzweig von Marienheide weicht diese Route von den anderen Rechenergebnissen ab. Keiner der errechneten Wege nimmt den Abzweig nach Marienheide und folgt ab dort dem weiteren Verlauf der Zeitstraße. Dieser Streckenabschnitt der errechneten Wege hat auf der Preußischen Uraufnahme keine Entsprechung, was aber auch daran liegen mag, dass an dieser Stelle zwei Kartenblätter aneinander grenzen, deren Blattschnitt nicht ganz sauber ist. Unproblematischer ist die Aneinanderpassung von Kartenblättern der Preußischen Neuaufnahme von 1894, auf der die errechneten Routen im benannten Streckenabschnitt nur an wenigen Stellen einer dort verzeichneten Straße entsprechen. Hier sind weitere Verfeinerungen des Modells nötig, um durch Berechnungen die Zeitstraße genauer zu rekonstruieren.

Nach BATTEN (2007) dienen Wegeberechnungen auch zur relativen Datierung: Die nicht erzwun-

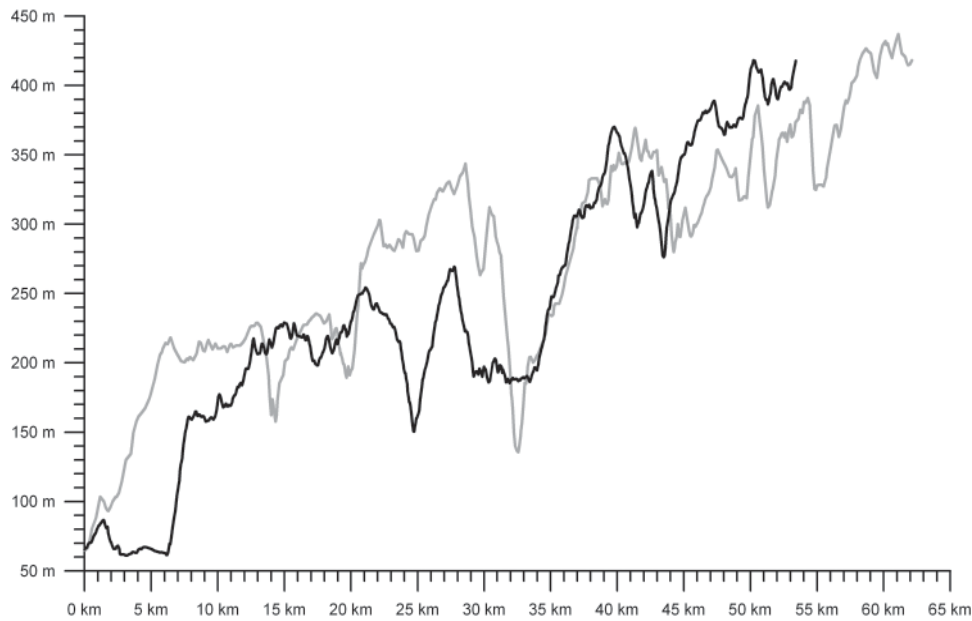


Abb. 5 Vergleich der Höhenprofile der Zeitstraße von Siegburg bis Halver (graue Linie) und des errechneten Fahrweges mit einer kritischen Steigung von 10% (schwarze Linie), der weitgehend dem Polizeiweg folgt.

genen Zwischenstationen auf einem berechneten Weg sind mit hoher Wahrscheinlichkeit jünger als Anfangs- und Endpunkt der Strecke. Aus den oben vorgestellten Rechenergebnissen kann man demnach folgern, dass Drabenderhöhe und Ränderoth vermutlich jünger sind als Much und Halver, dies passt gut mit den historischen Daten zur Ersterwähnung zusammen.

Der Polizeiweg

Die berechneten Verbindungswege zwischen Siegburg und Halver, die Much nicht als Zwischenstation erzwingen, zeigen eine noch größere Einheitlichkeit als die Routen über Much: Erst im letzten Sechstel der Strecke gibt es nennenswerte Abweichungen zwischen der errechneten Fußgängeroute und den 8-, 10- und 12%-Wegen. Die so ermittelte einheitliche Route verläuft durch Heiligenhaus und das Kirchdorf Lindlar-Hohkeppel, wobei Heiligenhaus der Ortsnamensforschung nach vermutlich um 900 n. Chr. gegründet wurde, die Ersterwähnung von Hohkeppel ist im Jahr 958 n. Chr. Nach der Argumentation von BATTEN (2007) ist dieser Weg älter als die beiden Ortschaften Heiligenhaus und Hohkeppel.

Der errechnete Routenverlauf entspricht zumindest im ersten Teil dem von NICKE (2001, 115-116) beschriebenen Polizeiweg, einem Weg, der den polizeilichen Verordnungen des Herzogtums Berg unterlag (Abb. 4; vgl. LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007, CD:102). Nach Nicke hatte diese Verbindung von Siegburg nach Wipperfürth (erste Erwähnung:

1127/1131 n. Chr., lt. NICKE (2001, 204)) vermutlich nur regionale Bedeutung; der ursprüngliche Name ist nicht bekannt, evtl. lautet er „Eisenstraße“. Während die errechneten Routen hinter Hohkeppel durch das Sülzthal verlaufen, schlägt der Polizeiweg einen Bogen nach Lindlar (Ersterwähnung: 1109 n. Chr.). Nach Querung der Sülz sind die Abweichungen zwischen den errechneten Routen und dem Polizeiweg auf einer Strecke von ca. 4,5 km sehr gering, bevor der Polizeiweg nach Wipperfürth abbiegt und die errechneten Routen weiter östlich nach Halver führen.

Abb. 5 zeigt das Höhenprofil der Zeitstraße und des 10%-Weges ohne Zwischenstation Much im Vergleich. Auf der Zeitstraße sind nicht nur mehr Höhenmeter (2349 statt 1655 m) zu überwinden, die Strecke ist insgesamt deutlich länger (62,1 km statt 53,4 km). Vor dem Hintergrund, dass die errechnete Strecke diese Vorteile aufweist und Orte mit früherer Ersterwähnung bzw. Datierung verbindet als die bei Nicke beschriebene Zeitstraße, ist zu fragen, ob die Polizeistraße nicht vielleicht älter ist als diese.

Mehr als die Verbindung zwischen zwei Orten

Ein Verkehrsnetz entsteht nach und nach, eine Hauptstraße verbindet wichtige Orte, und von dieser Trasse aus wird auf Nebenstraßen das umliegende Gebiet erschlossen. WHITLEY und BURNS (2008) stellen ein Modell vor, bei dem eine Kosten-basierte Pufferzone um die Haupttrasse konstruiert wird. Wo das Gelände möglichst einfach von der Haupttrasse aus erschlossen werden konnte, also dort, wo die

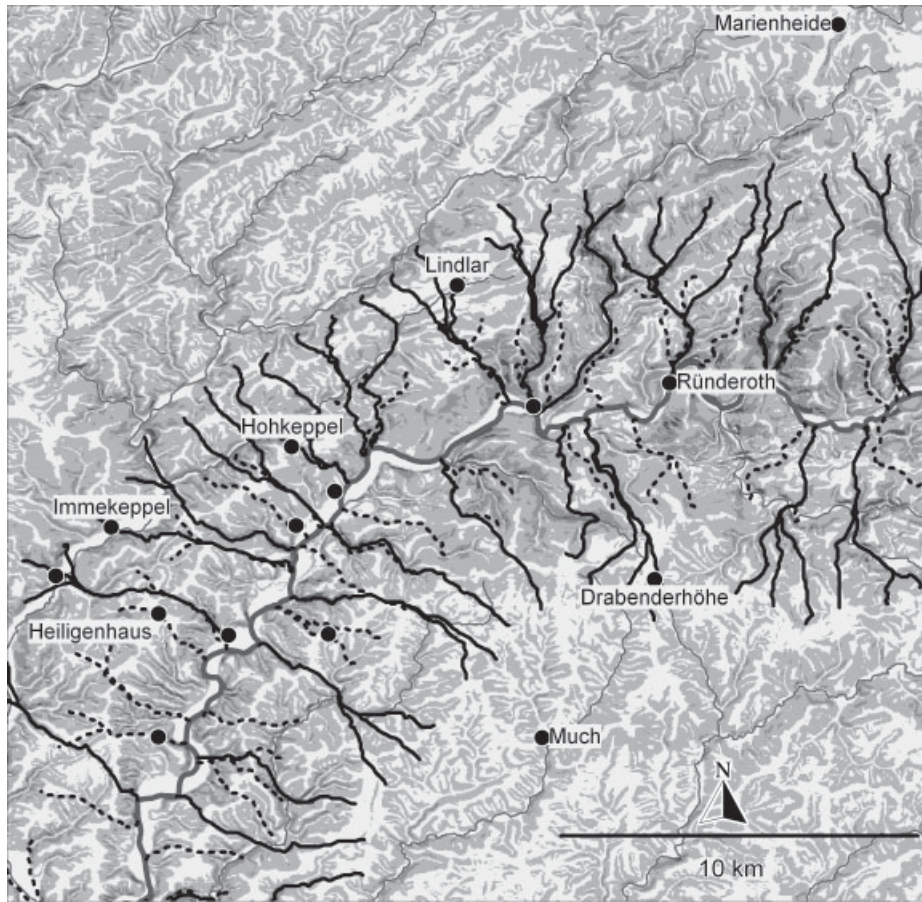


Abb. 6
 Rechenergebnisse für das Modell, nach dem die Agger als primäre Verkehrsverbindung genutzt wird; optimale Nebenwege für Fußgänger, die 8 km (durchgezogene schwarze Linien) bzw. 5 km Flachstrecke (gepunktete schwarze Linien) entsprechen, erschließen die Landschaft. Ausgewählte Orte sind als Punkte eingetragen.

Pufferzone sich sehr weit von der Haupttrasse entfernt, sind Nebenwege besonders wahrscheinlich. Dieser Ansatz wurde auch für das vorliegende Untersuchungsgebiet getestet, wobei angenommen wurde, dass die Ersterschließung über den Fluss Agger erfolgte. Bereits in der Steinzeit fanden sich am Unterlauf der Agger einzelne Siedlungen, was dort aufgrund von besseren Bodenverhältnissen möglich war; und von den wenigen bekannten steinzeitlichen Einzelfunden des Bergischen Landes sind einige am Oberlauf der Agger aufgelesen worden (LANDSCHAFTSVERBÄNDE 2007). Dieses Fundbild ist ein zugegebenermaßen recht schwaches Indiz für die Hypothese der Ersterschließung ausgehend von der Agger.

Als Kostenfunktion wurde wieder eine Parabel mit kritischer Hangneigung von 10% gewählt, zusammen mit den oben beschriebenen Erschwernisfaktoren für Wasserläufe. Im vorgestellten Beispiel wurde zunächst mit einem Pufferzonenradius gearbeitet, der einer Flachstrecke von 8 km entspricht (Abb. 6). Die so errechneten Erschließungswege von der Agger aus erreichen Hohkeppel, Immekeppel (Ersterwähnung 1166 n. Chr.), außerdem Lindlar und Drabenderhöhe. Das näher an der Agger

liegende Heiligenhaus wird nur durch einen Erschließungsweg des 5-km-Kostenpuffers berührt. Vielleicht war es also tatsächlich so, dass die genannten Orte zunächst über die Agger erschlossen wurden. Aber gerade bei den der Agger recht fernen Siedlungsstellen ist eher anzunehmen, dass zwei Kriterien bei der Gründung eine Rolle spielten: Die Ortschaften wurden an einer bestehenden Straße angelegt, und zwar an einer Stelle, an der es einen effektiven Zugang zum nächsten Wasserweg gab.

Abschließende Bemerkungen

Es wurde gezeigt, dass das Ergebnis der Berechnung optimaler Routen von dem Rechenverfahren und nicht nur von der Kostenfunktion abhängt. Wenn zwei mit unterschiedlichen Ansätzen errechnete Routen in den hier vorgestellten Beispielen annähernd gleich sind, so bedeutet dies nicht, dass diese beiden Ansätze immer zu ähnlichen Ergebnissen führen. In manchen Geländesituationen existiert eine eindeutige beste Verbindung, diese wird durch Veränderungen an den Berechnungen nicht wesentlich variieren. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen

z.B. kleine Modifikationen im Geländemodell oder getrennt berechnete Hin- und Rückwege zu deutlich unterschiedlichen Routen führen. Beispiele hierfür findet man bei HERZOG/POSLUSCHNY (im Druck).

Da die Rechenverfahren von kommerzieller GIS-Software nicht in Gänze offen gelegt werden, kann es passieren, dass unterschiedliche Ergebnisse bei gleicher Modellierung erzielt werden. Beispielsweise errechnen GIETL ET AL. (2008) für ein Testgebiet in den Alpen die optimalen Wege mit verschiedener GIS-Software (IDRISI, GRASS und ESRI ArcView) und erhalten deutlich variierende Routen. Die Stärken und Schwächen der integrierten Prozeduren zur Berechnung optimaler Wege kann ein genaueres Studium der Dokumentation der jeweiligen GIS-Software enthüllen (HERZOG/POSLUSCHNY im Druck). Dabei zeigt sich, dass keines der drei weit verbreiteten GIS-Programme mit einer Funktion zur Berechnung optimaler Wege alle im vorliegenden Aufsatz aufgeführten Qualitätskriterien erfüllt. Deshalb wurden von der Autorin eigene Programme entwickelt, um die hier vorgestellten Berechnungen durchzuführen. Geplant ist, diese Programme zusammen mit einer ausführlicheren Darstellung der Verfahren und Probleme bei der Wegeberechnung in naher Zukunft zu publizieren.

Danksagung

An dieser Stelle sei Axel Posluschny, Karsten Lambers, Martin Sauerbier und Petra Dittmar gedankt. Von allen Genannten habe ich wertvolle Literaturhinweise erhalten und vor allem mit Axel Posluschny sehr viele konstruktive Diskussionen zu dem Thema geführt. Durch die Hinweise von Karsten Lambers wurde der Text schlüssiger, Andrea Schenk glättete manche sprachliche Unschönheit, und Günter Merboth danke ich für die Verbesserung der englischen Kurzfassung.

Literatur

- BATTEN, D.C. (2007): Least-Cost Pathways, Exchange Routes, and Settlement Patterns in Late Prehistoric East-Central New Mexico. In: CLARK, J. T./HAGEMASTER, E. M. (EDS.): Digital Discovery. Exploring New Frontiers in Human Heritage, CAA 2006. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 34th Conference, Fargo, United States, April 2006. Budapest 2007, 167-174.
- BELL, T./LOCK, G. (2000): Topographic and cultural influences on walking the Ridgeway in later prehistoric times. In: LOCK, G. (ED.), Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies. Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington DC 2000, 85-100.
- BURMEISTER, ST. (2004): Der Wagen im Neolithikum und in der Bronzezeit: Erfindung, Ausbreitung und Funktion der ersten Fahrzeuge. In: FANSA, M./BURMEISTER, ST. (HRSG.): Rad und Wagen. Der Ursprung einer Innovation. Wagen im Vorderen Orient und Europa. Beih. Arch. Mitt. Nordwestdeutschland 30, 2004, 13-40.
- CONOLLY, J./LAKE, M. (2006): Geographical Information Systems in Archaeology. Cambridge 2006.
- DE SILVA, M./PIZZIOLO, G. (2001): Setting up a "Human Calibrated" Anisotropic Cost-surface for Archaeological Landscape Investigation. In: STANČIĆ, Z./VELJANOVSKI, T. (EDS.), Computing Archaeology for Understanding the Past, CAA 2000, BAR Int. Ser. 931, 2001, 279-286.
- EASTMAN, J.R. (2003): IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and image processing. Manual Version 14.00. Worcester/USA 2003.
- EICHFELD, I. (2005): Die vorrömische Eisenzeit im Landkreis Rotenburg (Wümme). Eine landschaftsarchäologische Untersuchung mit Hilfe von GIS. Arch. Ber. Landkr. Rotenburg (Wümme) 12. Oldenburg 2005.
- ERICSON, J.E./GOLDSTEIN, R. (1980): Work space: A New Approach to the Analysis of Energy Expenditure Within Site Catchments. Anthropology UCLA 10 (1&2), 21-30.
- GIETL, R./DONEUS, M./FERA, M. (2008): Cost Distance Analysis in an Alpine Environment. Comparison of Different Cost-surface Modules. In: POSLUSCHNY ET AL. 2008, 342 (vollständige Publikation auf CD).
- GREWE, K. (2004): Alle Wege führen nach Rom - Römerstraßen im Rheinland und anderswo. In: KOSCHIK, H. (Hrsg.), „Alle Wege führen nach Rom“, Internationales Römerstraßenkolloquium Bonn. Materialien zur Bodendenkmalpflege im Rheinland. H. 16, 2004, 9-42.
- HERZOG, I./POSLUSCHNY, A. (im Druck): Tilt - Slope-Dependent Least Cost Path Calculations Revisited. Erscheint in: JEREM, E./REDŐ, F./v. SZEVEÉNYI (EDS.), Tagungsband CAA 2008 (Budapest, im Druck).
- HUBER, D.L./CHURCH, R.L. (1985): Transmission corridor location modeling. Journal of Transportation Engineering 111 (2), 1985, 114-130.

LANDSCHAFTSVERBAND WESTFALEN-LIPPE/LANDSCHAFTSVERBAND RHEINLAND (HRSG.) (2007): Erhaltende Kulturlandschaftsentwicklung in Nordrhein-Westfalen. Münster, Köln 2007, 55 (mit ausführlichem Textbeitrag auf CD: 102, 281-286).

LLOBERA, M. (2000): Understanding movement: a pilot model towards the sociology of movement. In: LOCK, G. (ED.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*. Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington DC 2000, 65–84.

LLOBERA, M./SLUCKIN, T.J. (2007): Zigzagging: Theoretical insights on climbing strategies. *Journal of Theoretical Biology* 249, 2007, 206-217.

MINETTI, A. E. (1995): Optimum gradient of mountain paths. *Journal of Applied Physiology* 79, 1995, 1698-1703.

NICKE, H. (2001): *Vergessene Wege. Das historische Fernwegenetz zwischen Rhein, Weser, Hellweg und Westerwald, seine Schutzanlagen und Knotenpunkte*. Nümbrecht 2001.

POSLUSCHNY, A. (2008): Archäologie ohne Spaten – Computergestützte Untersuchungen zur Bedeutung des Glaubergs in seinem Umfeld. *Fundber. Hessen, Beih.* 6, 2008, 259-277.

POSLUSCHNY, A./LAMBERS, K./HERZOG, I. (2008): Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA). Berlin, Germany, April 2-6, 2007. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte 10. Bonn 2008.

TOBLER, W. (1993): Non-isotropic geographic modeling. Technical Report 93-1. 1993. <http://www.geodyssey.com/papers/tobler93.html> [07.06.2009].

WHEATLEY, D./GILLINGS M. (2002): *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS*. London, New York 2002.

WHITLEY, TH. G./BURNS, G. (2008), Conditional GIS Surfaces and their Potential for Archaeological Predictive Modelling. In: POSLUSCHNY et al. 2008, 292-298.

Irmela Herzog
LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland
Endenicher Str. 133
53115 Bonn
irmela.herzog@lvr.de