

Vom digitalen Geländemodell zur Landschaftsarchäologie

Irmela Herzog

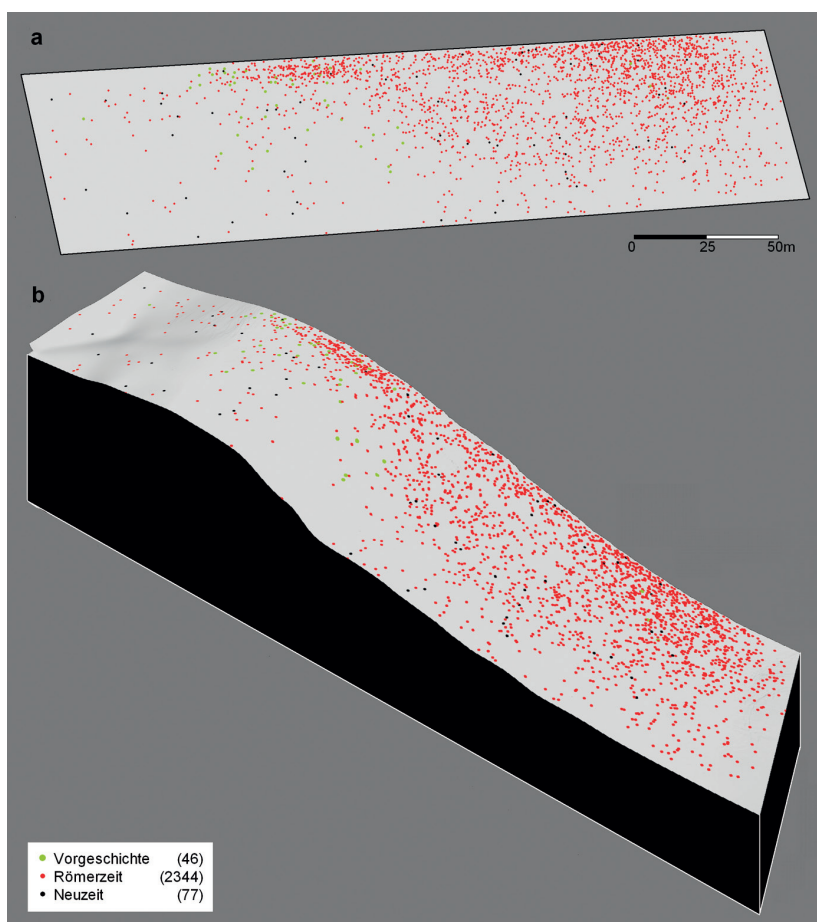
Für die archäologischen Landesämter spielen Computeranwendungen bei der Dokumentation und Analyse von archäologischen Daten eine immer wichtigere Rolle. Im heutigen LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland (LVR-ABR) sind nicht nur sehr früh Datenbanken und EDV-gestützte Kartierungen zum Einsatz gekommen, sondern auch Verfahren zur Visualisierung und statistischen Auswertung archäologischer Daten, mit einem Schwerpunkt auf der archäologischen Landschaftsanalyse.

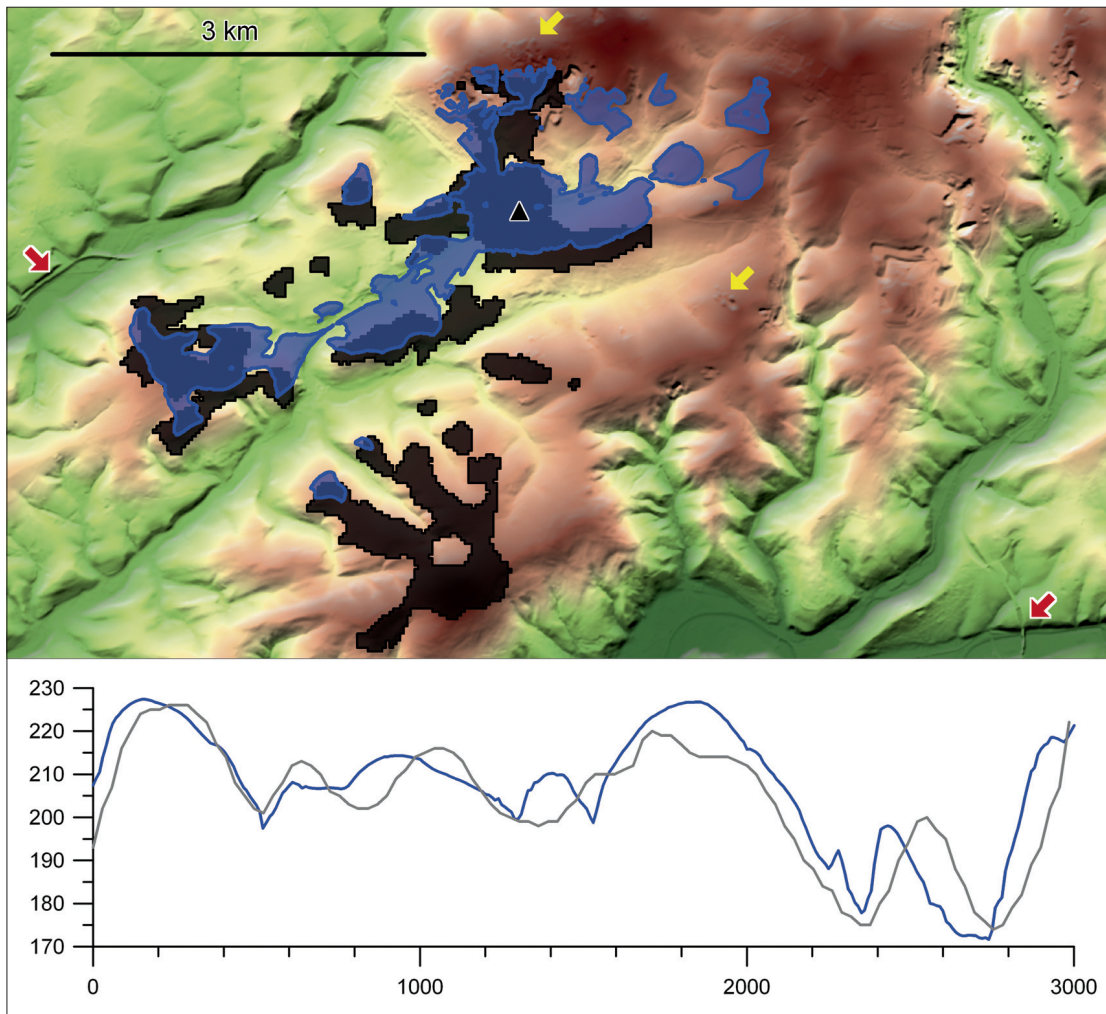
Anfang der 1990er Jahre konnte das erste geographische Informationssystem (GIS) im damaligen Rheinischen Amt für Bodendenkmalpflege beschafft werden, und im Laufe der Zeit stieg die Zahl der GIS-Anwender im Amt auf über 60. Bei der GIS-Nutzung steht bis heute die Dokumentation

der räumlichen Lage archäologischer Maßnahmen und ihrer Ergebnisse im Vordergrund. Beispielsweise werden Einmessungen von Begehungsfunden mithilfe von thematischen Karten ausgewertet (Abb. 1a). Wenn die Fundstreuung im gesamten Untersuchungsgebiet recht dicht ist, so erlauben die Höhenwerte der Einzelfundeinmessung die Erstellung eines digitalen Geländemodells (DGM). Die mit einem GIS auf Basis des DGM erzeugte dreidimensionale Darstellung der Fundverteilung ermöglicht unter Einbeziehung bodenkundlicher Faktoren Aussagen zur Fundverlagerung (Abb. 1b). Zur Visualisierung der Geländeoberfläche eines größeren Gebietes ist es nicht notwendig, eigene Höhenmessungen vor Ort durchzuführen, denn hierfür stehen DGMs der Landesvermessung und Satellitendaten zur Verfügung. Seit mehr als zehn Jahren werden solche DGMs mit einem Punktabstand von 10 m (kurz: DGM10) genutzt, um ehemalige Materialentnahmegruben mit einer Länge von 50–200 m zu erkennen (vgl. Beitrag R. Gerlach, 248–253; Arch. Rheinland 2000, 149–156). Obwohl diese inzwischen verfüllt sind, deutet oft noch eine kleine Vertiefung die Lage der ehemaligen Grube an. Häufig sind diese Eintiefungen bei einer Begehung nur mit geschultem Auge wahrnehmbar. Sie werden jedoch auch in einer auf dem DGM10 basierenden Schummerungskarte sichtbar, wenn die Parameter zur künstlichen Beleuchtung der virtuellen Geländeoberfläche geschickt gewählt sind. Die vor zehn Jahren verfügbaren DGMs erlaubten den Nachweis, dass das Relief des Rheinlandes vor allem in der Lösslandschaft durch ehemalige Gruben gestört ist. Aber auch im Bergischen Land kann man auf dem DGM der Landesvermessung (Abb. 2, oben) sowohl Gruben und Halden (gelbe Pfeile) als auch Eingriffe durch den modernen Straßenbau (rote Pfeile) deutlich erkennen.

Eine auf Grundlage des DGM10 erstellte Schummerungskarte zeigt neben den fast vollständig verfüllten Gruben auch größere archäologische Strukturen, z. B. Motten, Wurten oder breite Deiche. Kleinere obertägig erkennbare Befunde wie Hohlwege oder Grabhügel sind dagegen erst mithilfe von modernen Laserscanning-Daten (kurz: DGML) nachweisbar, bei denen der Abstand benachbarter Höhenpunkte meist unter zwei Metern

1 Auswertung einer Einzelfundeinmessung im Süden von Pulheim. **a** mithilfe einer thematischen Karte; **b** mithilfe eines überhöhten dreidimensionalen Geländemodells.





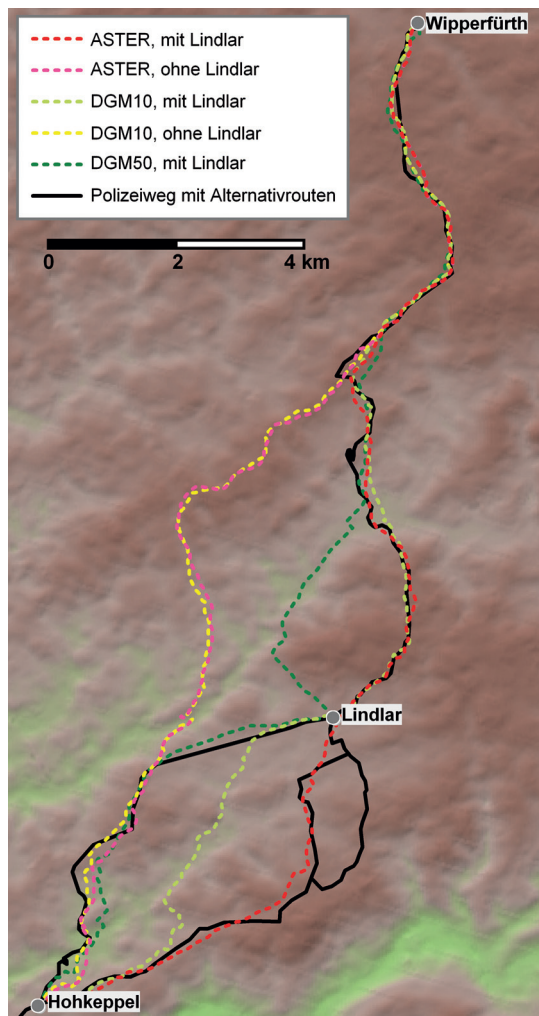
2 Modernes digitales Geländemodell (DGM) der Landesvermessung im Gebiet um Lindlar (schwarzes Dreieck) mit Vergleich des Höhenprofils und der Sichtbarkeitszonen zwischen diesem DGM (blau markiert) und den ungenaueren ASTER-Höhendaten (schwarz markiert).

liegt. Noch vor zehn Jahren waren solche DGML-Daten bei der für das Rheinland zuständigen Landesvermessungsbehörde nur für wenige Gebiete vorhanden und die Beschaffung mit erheblichen Kosten verbunden. Inzwischen liegt das DGML flächendeckend vor, die Nutzung ist im Rahmen der gesetzlichen Aufgaben des Amtes kostenlos. In den letzten Jahren hat sich die Auswertung solch hoch aufgelöster Höhendaten weltweit als neue Prospektionsmethode etabliert.

Aus DGMs abgeleitete Geländemerkmale spielen eine wichtige Rolle bei der Analyse der Standortfaktoren von Siedlungen früherer Zeitepochen. Doch die aktuellen DGMs sind in hohem Maße von modernen Strukturen geprägt: Halden, Straßendämme, Stauseen, Industrieteeiche, Kiesgruben, Steinbrüche und viele andere menschliche Eingriffe haben das ursprüngliche Geländere Relief verändert (Abb. 2; Arch. Rheinland 2004, 199 f.). Hinzu kommen Umgestaltungen durch natürliche Prozesse wie Erosion und Akkumulation. Besonders eklatant ist die Veränderung der Landschaft in den vom Braunkohleabbau betroffenen Gebieten. Deshalb liegt der Gedanke nahe, auf ältere Höhenangaben zurückzugreifen. Während ihres Praktikums am LVR-ABR untersuchte Jutta Lechterbeck die

Genauigkeit von Höhenlinien auf Kartenblättern der Preußischen Neuaufnahme (Arch. Rheinland 2004, 201–203). Für diese Karten vom Ende des 19. Jahrhunderts zeigte sich, dass die Höhenangaben in Waldgebieten häufig mehr als 20 m von den modernen Werten abweichen. Solche Differenzen sind bei diesen kontinuierlich als Wald genutzten Flächen auf Unzulänglichkeiten der damaligen Vermessungstechnik zurückzuführen. Obwohl die Nivellierung von Ackerland mit geringeren Schwierigkeiten verbunden war, treten auch in diesem Fall Messfehler auf. Zum Teil wurden die Fehler in die neueren Karten übernommen. Ana Judith Largo beschäftigte sich während ihrer Praktikumszeit am Amt mit der Rekonstruktion der Geländeoberfläche im Braunkohlegebiet (Arch. Rheinland 2008, 26–28). Dabei erwies sich die Auswertung der Höhenwerte von Bohrungen aus den Jahrzehnten vor dem Braunkohleabbau als wenig brauchbar, da die Bohrungen recht unregelmäßig verteilt waren und ihre Höhenwerte z. T. erhebliche Fehler aufwiesen. Bessere Ergebnisse waren auf Basis der Höhenlinien auf Karten im Maßstab 1:25 000 zu erzielen, die den letzten Stand vor dem Abbau zeigen. Doch auch in diesem Fall sind die Höhenlinien leider nicht immer zuverlässig. Die vereinzelt bei der

3 Rekonstruktionsversuche für den Polizeiweg zwischen Hohkeppel und Wipperfürth auf der Grundlage verschiedener DGMs.



Landesvermessung vorrätigen Höhenlinienfolien im Maßstab 1:5000 aus der Zeit vor dem Braunkohleabbau zeigen ein viel detaillierteres Relief. Die mithilfe der Karten im Maßstab 1:25 000 erstellten DGMs erlaubten es nicht, Prozesse von Erosion und Akkumulation oder die Absenkung des Geländes durch den Braunkohletagebau zuverlässig nachzuvollziehen.

Neben den Messfehlern entstehen zusätzliche Fehler bei der Schätzung von Höhenangaben für die Bereiche zwischen den eingemessenen Punkten. Für diese Schätzung stehen mehrere Interpolationsmethoden zur Verfügung. Die Auswahl des Verfahrens und der zugehörigen Parameter ist nicht ganz einfach, insbesondere wenn Höhenlinien die Datengrundlage bilden. Denn häufig weist das auf dieser Basis errechnete DGM Terrassen auf. Dabei ist zwar die Abweichung zwischen Schätzwert und tatsächlichem Höhenwert gering, jedoch der Fehler der aus dem DGM abgeleiteten Hangneigung erheblich. Meist spielt die Hangneigung in einer archäologischen Landschaftsanalyse eine wichtige Rolle. Hier ist zu berücksichtigen, dass die errechnete Hangneigung auch vom Abstand der Höhenpunkte im DGM abhängt: Ein großer Abstand führt

in der Regel zu flacheren Hangneigungen als ein hochgenaues DGM. Die Höhenprofile für die Maßstabslinie in Abb. 2 illustrieren dies: Das blaue Höhenprofil ist vom DGM10 abgeleitet, der dunkelgraue Höhenverlauf basiert auf ASTER-Daten mit einer Distanz von ca. 30 m zwischen benachbarten Messwerten. Auf den ersten Blick wirkt die graue Kurve unruhiger, zeigt jedoch weniger scharfe Einschnitte. Deshalb ist die Höhendifferenz auf der Strecke insgesamt und die mittlere Hangneigung für das blaue Höhenprofil größer – trotz der im ASTER-DGM sichtbaren kleinen systematischen Höhenfehler.

Ist das DGM fehlerhaft, so sind daraus abgeleitete Aussagen über Geländemerkmale problematisch. Daher sollten landschaftsarchäologische Studien bei Verwendung eines DGMs dessen Auflösung und Genauigkeit angeben. Wie Ana Judith Largo in ihrer Masterarbeit zeigte, ist die Vergleichbarkeit der Hangneigung zweier Gebiete nur bei gleichen Punktabständen der jeweiligen DGMs gewährleistet. Ein anderes aus dem DGM errechnetes und für die Standortwahl wichtiges Merkmal ist die Ausrichtung des Geländes zur Sonne. Auch in diesem Fall hängt das Ergebnis von den Abständen der Höhenpunkte im DGM ab.

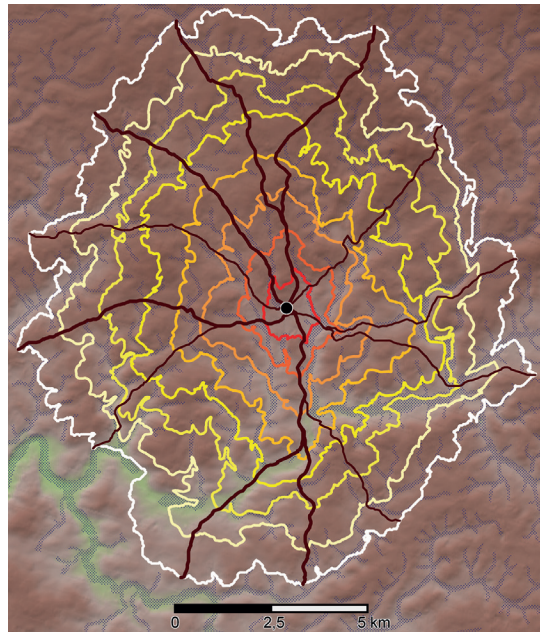
In den letzten beiden Jahrzehnten sind landschaftsarchäologische Arbeiten, die auf topographischen Standortfaktoren beruhen, in die Kritik geraten. Denn für die Menschen früherer Zeiten waren nicht nur die natürlichen Gegebenheiten, sondern auch soziale und kulturelle Aspekte wichtig. Zwei Aspekte der menschlichen Erfahrungswelt vergangener Zeiten fanden in den letzten Jahren Eingang in viele landschaftsarchäologische Studien: Sehen bzw. gesehen werden und die Erfahrung beim Durchqueren des Geländes. Beide Aspekte lassen sich mit einem GIS quantitativ fassen und bei beiden spielen DGMs eine wichtige Rolle. In einem GIS ist es einfach möglich, für einen Standpunkt die von dort sichtbaren Oberflächenpunkte des DGM zu ermitteln. Solche Berechnungen sind jedoch nicht mehr so trivial, wenn man alle relevanten Faktoren einbezieht, z. B. die Ungenauigkeiten des DGM, den Bewuchs in vergangenen Zeiten, die Höhe des Betrachters, die Wetterbedingungen und die Tatsache, dass das menschliche Auge in der Ferne immer weniger Details erkennt. Ein eklatantes Beispiel für die Probleme bei der Berechnung des Sichtfeldes zeigt Abb. 2 für einen Standpunkt bei der zentralen Kirche St. Severin in Lindlar, wobei in beiden hier betrachteten DGMs die Gebäudehöhen nicht berücksichtigt sind: Der auf Basis des DGM10 ermittelte sichtbare Bereich ist blau gerastert dargestellt; das Ergebnis der gleichen Berechnung für das ASTER-DGM ist mit schwarzem Raster versehen. Die Übereinstimmung zwischen den beiden Sichtfeldern ist insbesondere im südlichen Bereich des gezeigten Kartenausschnitts recht gering. Zuverlässig-

sigere Aussagen zur Sichtbarkeit lassen sich gewinnen, wenn man die Ergebnisse vieler Berechnungen mittelt, bei denen der Standpunkt oder die DGM-Höhenwerte innerhalb von vorgegebenen Fehlertoleranzen variieren.

Viele landschaftsarchäologische Analysen verwenden Abstände, z. B. die Distanz zur nächsten Frischwasserquelle, zu den gleichzeitigen Siedlungen im Umfeld oder zum nächsten schiffbaren Wasserlauf. Dabei liefert die Luftlinienentfernung zwischen zwei Punkten im Gelände meist nur eine sehr ungenaue Schätzung für die Länge der Wegstrecke, die Menschen in früheren Zeiten zurücklegten. Historische Karten zeigen, dass insbesondere in Gebieten mit recht großen Höhenunterschieden selten geradlinige Verbindungsrouten zu erwarten sind. Tatsächlich ist der Verlauf historisch und archäologisch belegter Fernwege häufig durch die natürlichen Gegebenheiten bestimmt. Die mittelalterlichen Handelsrouten im Bergischen Land sind Beispiele für solche Naturwege. Lässt sich der Verlauf dieser Fernstraßen mithilfe von Rechenmethoden zuverlässig rekonstruieren, so sind damit auch die Bewegungsmuster aus ihrer Entstehungszeit fassbar.

In den letzten Jahren konnten die Verfahren zur Rekonstruktion solcher Naturwege erfolgreich weiter entwickelt und anhand der mittelalterlichen Fernwege im Bergischen Land getestet werden (vgl. Beitrag I. Herzog, 26–28; Arch. Rheinland 2010, 29–31). Demnach bestimmen für diese Handelsrouten vor allem die Faktoren Hangneigung und Vermeidung von feuchten Böden den Wegeverlauf. Außerdem ist das Ergebnis eines Rekonstruktionsversuchs abhängig vom DGM sowie der Einbeziehung bekannter Zwischenpunkte – im Beispiel Lindlar (Abb. 3). Die Berechnungen auf Grundlage des DGM10 benötigten sehr viel mehr Rechenzeit als bei Verwendung des frei verfügbaren ASTER-DGM mit deutlich geringerem Punktabstand (DGM10: 37 Minuten; ASTER-DGM: 69 Sekunden). Aufgrund der langen Rechenzeiten für das DGM10 kam es nur zu wenigen Tests mit verschiedenen Gewichtungen von feuchten Böden und Hangneigungen, sodass die in Abb. 3 gezeigten Rekonstruktionsversuche auf DGM10-Basis sicherlich nicht optimal sind. Insgesamt erwies sich die Verwendung des ASTER-DGM als guter Kompromiss zwischen Anforderungen an die Genauigkeit und an erträgliche Rechenzeiten.

Die bei erfolgreicher Rekonstruktion der historischen Wegeverläufe verwendeten Faktoren erlauben es, realistische Abstände im GIS zu errechnen. Eine sehr einfache Anwendung dieses an die Bewegungsmuster früherer Zeiten angepassten Distanzmaßes ist die Ermittlung des Umfeldes eines Punktes im Gelände, z. B. des Ortsmittelpunktes (Abb. 4). Die Grenzlinie des Umfeldes umschließt alle Punkte, die mit einem vertretbaren Aufwand von einem Startpunkt zu erreichen sind. Doch wie hoch ist der vertretbare Aufwand – entspricht er,



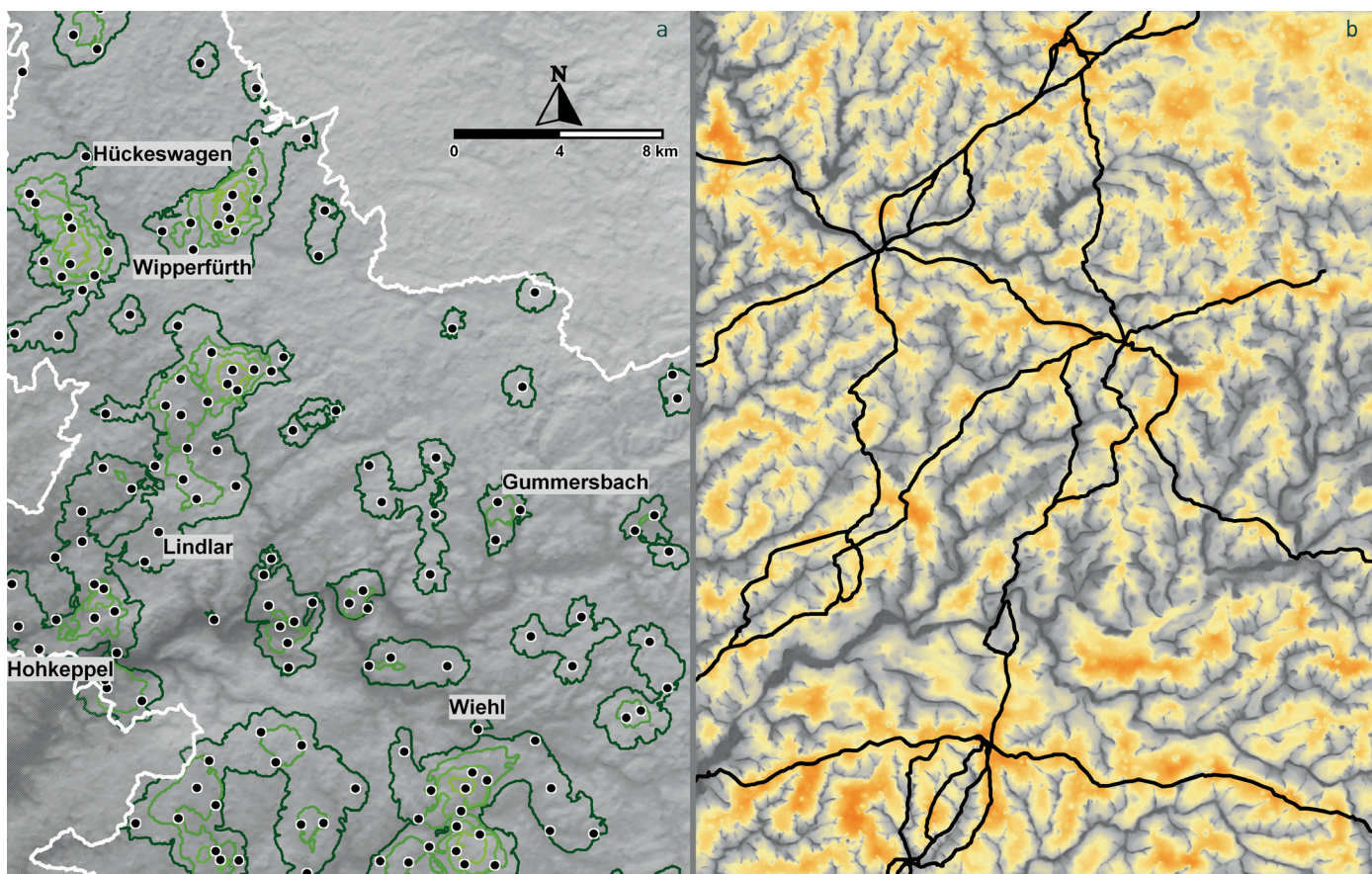
4 Umfeld mit verschiedenen Radien für Gummersbach und radiales Netzwerk.

wie in manchen Publikationen vorgeschlagen, nur demjenigen für die Überwindung einer ebenen Strecke von 750 m, oder sind es deutlich mehr?

In bäuerlichen Kulturen ist zu erwarten, dass sich die arbeitsintensiven Flächen in unmittelbarer Nähe zum Wohnort befinden, weiter entfernt liegende Areale haben die Menschen dagegen seltener aufgesucht. Daher sollte das nahe Umfeld ein höheres Gewicht erhalten als ein weiter entferntes. Dies ist der Grundgedanke der kostenbasierten Kerndichteschätzung (KDE). Mit dieser Methode ist es möglich, Siedlungsgebiete zu visualisieren (Abb. 5a), wenn für die betrachtete Zeitstellung fast alle Orte bekannt sind. Eine weitere Voraussetzung ist ein realistisches Modell für die Abnahme der Nutzungsintensität mit zunehmendem Abstand von der Siedlung. Generell sind die Siedlungsgebiete jedoch nur dort scharf abzugrenzen, wo ein starker Abfall in der Siedlungsintensität zu beobachten ist.

Eine weitere Anwendung des Verfahrens zur kostenbasierten KDE ist die Erstellung von generellen Erreichbarkeitskarten (Abb. 5b). Die Karte zeigt für jeden Punkt, wie gut dieser von seinem Umfeld aus erreichbar ist (orange: hoch, dunkelgrau: niedrig). Der recht kleine maximale Umfeldradius von 1 km führt in dem hier vorgestellten Beispiel neben schmalen Bändern (z. B. im Süden: Brüderstraße) auch zu kleinen Inseln hoher Erreichbarkeit. Offensichtlich verlaufen alle mittelalterlichen Handelswege (schwarze Linien) vorwiegend in Zonen hoher Erreichbarkeitswerte. Erreichbarkeitskarten erlauben somit Vorhersagen für bisher noch unbekannte Verkehrsrouten früherer Zeiten.

Zurzeit beschäftigen sich mehrere landschaftsarchäologische Studien mit der Rekonstruktion von Verkehrsnetzen. Ein Vorschlag ist dabei, die Zonen hoher Erreichbarkeit als potenzielle Netzwerk-



5 Modellberechnungen auf Basis der kostenbasierten Kerndichteschätzung. **a** Abgrenzung des Siedlungsgebietes aufgrund der Orte mit einer Erstnennung vor 1400 (schwarze Punkte); **b** Verlauf von mittelalterlichen Handelsrouten vor dem Hintergrund einer Erreichbarkeitskarte.

adern zu interpretieren. Bei vielen kleinen Inseln mit hohen Erreichbarkeitswerten ist dies jedoch nicht zielführend. Für einen wichtigen zentralen Ort bietet sich alternativ die Konstruktion eines radialen Netzwerks an (Abb. 4): Ausgehend von diesem Punkt (im Beispiel: Gummersbach) wird nach solchen Wegstrecken zum Rand des Umfeldes gesucht, die möglichst großen Luftlinienabstand vom Ausgangsort erreichen. Die errechneten Wege, die die größten Entfernungen vom Ausgangspunkt erzielen (Abb. 4, breitere braune Linien), sind die plausibelsten Kandidaten für die Erschließung der Landschaft von dem vorgegebenen Startpunkt aus, denn auf ihnen kommt man am effektivsten vorwärts. Bei dieser Methode stellt ein vorgegebener Mindestabstand für die Zielpunkte auf dem Rand des Umfeldes sicher, dass die Wege sich deutlich voneinander unterscheiden. Ein Vergleich solcher errechneter Routen mit Wegen auf historischen Karten zeigt häufig sehr weitgehende Übereinstimmungen.

Ein anderer Ansatz geht von bekannten Orten auf der Karte aus und versucht, die Verkehrsverbindungen dieser Orte gemäß vorgegebener Modellvorstellungen zu rekonstruieren. Das Ziel könnte sein, alle Nachbarorte möglichst günstig zu erreichen oder die Konstruktionskosten für die Verkehrswege insgesamt minimal zu halten. Der Test der Ergebnisse im Gelände, die Verfeinerung der hier zumin-

dest in Ansätzen vorgestellten Methoden, sowie die Entwicklung und Bereitstellung von Software hierzu bleiben Aufgaben für die nächsten Jahre.

Literatur

K. Frank/I. Herzog/R. Gerlach, Erste Ergebnisse einer archäologischen Prospektion bei Pulheim. Arch. Rheinland 1997 (Köln/Bonn 1998) 184–187. – I. Herzog, Ehemalige Materialentnahmegruben erkennen – Auswertung von Höhendaten. Arch. Inf. 24/1, 2001, 39–43. – Dies., Testing GIS methods by means of simulation. Detecting and Describing Find Spot Densities. Archäologie und Computer 2006. Kulturelles Erbe und Neue Technologien. Workshop 11. PDF-Datei auf CD, 16 S. (Wien 2007). – Dies., Berechnung von optimalen Wegen am Beispiel der Zeitstraße. Arch. Inf. 31, 1–2, 2008, 87–96.

Abbildungsnachweis

1–5 I. Herzog/LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland, 2 auf Basis des DGM10 von GeoBasis NRW, 3–5 auf Grundlage von ASTER-Höhendaten, erstellt von NASA und METI.