

10. Die archäologische Prospektion

Um nun ehemalige Aktivitätsbereiche und letztendlich die Gemeinschaftsräume beziehungsweise eine archäologische Landschaft rekonstruieren zu können, benötigt man Beobachtungen zur Lage und Zusammensetzung der materiellen Hinterlassenschaft. Diese erhält der Archäologe unter Zuhilfenahme unterschiedlichster archäologischer Prospektionsmethoden.

Das Wort Prospektion stammt vom lateinischen Begriff *prospicere* ab, welcher so viel wie „aus der Ferne herabschauen, herauschauen, in die Ferne schauen, nach allen Seiten sich umsehen, vor sich erblicken“ bedeutet (PFEIFER 2005, 1051). Es geht also ursprünglich darum, im Vorfeld archäologischer Untersuchungen Informationen zur materiellen Hinterlassenschaft zu gewinnen. Vor allem durch die Systematisierung verschiedener Methoden seit den 1960er Jahren und die Entwicklung der geophysikalischen Prospektionsmethoden hat sich das Verständnis der Prospektion gewandelt: Sie hat eigene Fragestellungen entwickelt und international vor allem im Denkmalschutz sowie der Siedlungs- und Landschaftsarchäologie breite Anwendung gefunden. Im deutschsprachigen Raum, wo sich die Archäologie noch immer häufig über die Ausgrabung definiert („Wissenschaft des Spatens“), hat es die Prospektion vergleichsweise schwer, sich zu etablieren (NEUBAUER 2001, 172 ff.).

10.1 Prinzipielles

10.1.1 Die Bedeutung von Kontrasten

Ehemalige Aktivitätszonen lassen sich, sofern die dort stattgefundenen Tätigkeiten Spuren in Form von Artefakten, Strukturen oder sonstigen physikalischen und chemischen Änderungen der obersten Bereiche des Bodens hinterlassen haben, prinzipiell beobachten und von ihrer Umgebung abgrenzen. In der Regel ist dies aufgrund von Unterschieden der Zusammensetzung sowie der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Materials innerhalb des Bereichs der Aktivitätszone und seiner direkten

dreidimensionalen Umgebung möglich. Diese Unterschiede können mit verschiedensten Verfahren entweder direkt gemessen (z. B. Suszeptibilität, bodenkundliche Untersuchungen) oder visuell beobachtet (z. B. Bewuchsmerkmal) werden. Die Größe des dabei auftretenden Unterschiedes kann verschiedene Ausprägungen besitzen und bildet somit einen mehr oder weniger starken Kontrast zwischen materieller Hinterlassenschaft und ungestörtem Bereich.

Im Falle einer im Boden verborgenen Struktur sind es zumeist unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften, welche entweder direkt messbar sind (z. B. Phosphatgehalt, Korngrößenverteilung, Suszeptibilität) oder sich anhand bestimmter Effekte zeigen (etwa als veränderte Färbung, Standortbedingungen für Pflanzen, Wärme etc.). An der Oberfläche kann sich ein Kontrast zum Beispiel durch einen Schattenwurf im Relief oder aber in der Dichte einer Fundstreuung zeigen. Die Deutlichkeit dieser Kontraste bestimmt auch die Wahrscheinlichkeit ihrer Auffindung durch entsprechende Methoden. Um nähere Informationen zur materiellen Hinterlassenschaft zu erhalten, müssen die physischen Bedingungen, welche zur Ausprägung dieser lokalen Unterschiede führen, zunächst verstanden werden (BECK 2007). Erst dann lassen sich die geeigneten Methoden und Parameter finden, um archäologische Strukturen anhand ihrer Kontraste bestimmen, lokalisieren und messen, visualisieren und interpretieren zu können. Dies kann unter anderem durch die archäologische Prospektion geschehen.

Die Möglichkeiten zur Ausbildung von Kontrasten sind extrem vielfältig. Je nach Kriterium des Unterschiedes materieller Hinterlassenschaft und Umgebung bedarf es unterschiedlicher Sensoren und Techniken der Erkennung. Im Laufe der Geschichte der Archäologie konnten bereits einige äußerst effiziente Methoden entwickelt werden, mit deren Hilfe wir die materielle Hinterlassenschaft aufgrund unterschiedlichster Kontraste erkennen können, und es besteht berechtigte Hoffnung, dass auch in Zukunft durch neue Technologien bisher noch unbekannte Unter-

scheidungskriterien zwischen archäologischer Struktur und Umgebung für die archäologische Prospektion entdeckt und angewandt werden können.

10.1.2 Definition der archäologischen Prospektion

Die archäologische Prospektion soll folgendermaßen definiert werden:

Die archäologische Prospektion umfasst alle Methoden und Verfahren, die dazu dienen, großflächig Informationen zur materiellen Hinterlassenschaft des Menschen und seiner physischen Umwelt zerstörungsfrei zu gewinnen, zu dokumentieren und archäologisch zu interpretieren.

Diese Formulierung folgt im Wesentlichen der Definition Wolfgang Neubauers (NEUBAUER 2001, 177). Der hauptsächlichste Unterschied besteht in der Einbeziehung von Paläoumwelt. Insgesamt sind drei wichtige Punkte angesprochen, welche in der Folge kurz erläutert werden sollen:

(1) Es geht der archäologischen Prospektion um Informationsgewinnung zur materiellen Hinterlassenschaft des Menschen, also zu Artefakten, Ökofakten und Strukturen. Zudem kann Prospektion auch wertvolle Hinweise zur ehemaligen Umwelt liefern, welche für die Umwelt- und Landschaftsarchäologie zwar wichtig sind, aber wohl kaum von jemandem als Fundstelle bezeichnet werden würde (etwa Paläomäander).

(2) Ein wichtiger Punkt bei der Definition ist, dass, wie bereits Wolfgang Neubauer betonte, nur zerstörungsfreie Methoden der archäologischen Prospektion zugerechnet werden. Auch Bohrungen (McMANAMON 1984; SCHULDENREIN 1991; STEIN 1986, 1991) zählt er als minimale Ausgrabungen berechtigterweise nicht zur Prospektion (vgl. jedoch ZICKGRAF 1999, 14).

Viele Archäologen reagieren auf diese Aussage mit dem Hinweis, dass man Bohrungen und Sondiergrabungen zu den Prospektionsmethoden rechne, da sonst manche Bereiche (z. B. mächtiges Kolluvium) keine Informationsgewinnung zu Funden und Strukturen zuließen. Darauf muss man aus Sicht der Prospektion entgegnen, dass es für solche Zonen tatsächlich momentan noch keine zufriedenstellenden Prospektionsmethoden gibt. Dies bedeutet aber nicht, dass es sie nicht in absehbarer Zukunft geben könnte. Es werden ständig neue Erkenntnisse aus Naturwissenschaften und Fernerkundung für archäologische Zwecke adaptiert, wie dies erst vor wenigen Jahren mit dem flugzeuggetragenen Laser-Scanning geschah (HOLDEN et al. 2002). Sind solche Bereiche zu untersuchen, so muss man sich zurzeit mit Bohrungen oder Sondagen helfen – dies sind aber Ausgrabungen und bedürfen als solche einer entsprechenden stratigraphischen Dokumentation.

(3) Die Verwendung zerstörungsfreier Methoden hat auch zur Folge, dass eine archäologische Prospektion prinzipiell wiederholbar ist – Wiederholbarkeit ist hier jedoch nicht im Sinn eines wiederholbaren physikalischen Experiments zu sehen, welches zu einem gleichen Ergebnis führen muss. Vielmehr gibt es bei den einzelnen Prospektionsmethoden zahlreiche Faktoren, welche deren Erfolg bis zu einem gewissen Grad nicht vorhersagbar machen und dafür verantwortlich sind, dass im Falle von einer wiederholten Anwendung andere, zum Teil neue Informationen gewonnen werden können. Zudem ist, wie weiter oben argumentiert wurde, die materielle Hinterlassenschaft dynamisch und unterliegt laufend Veränderungen. Aus diesem Grund ist es bei den meisten Methoden, vor allem aber bei Feldbegehung und Luftbildarchäologie notwendig, sie systematisch und wiederholt anzuwenden und Gebiete immer wieder aufs Neue zu begehen bzw. zu befliegen.

(4) Die archäologische Prospektion kann großflächig eingesetzt werden und hat somit ein großes Potenzial für landschaftsarchäologische Projekte. Sie kann und will Ausgrabungen nicht ersetzen, kann aber aufgrund ihrer großflächigen Arbeitsweise dabei helfen, den für eine archäologische Ausgrabung in Bezug auf konkrete Fragestellung am besten geeigneten Bereich auszuwählen und gezielt vor Ort abzustecken.

Viele Fragestellungen können nicht durch Ausgrabungen allein beantwortet werden – vor allem Siedlungs- und Landschaftsarchäologie arbeiten großräumig und benötigen daher entsprechend großflächige Informationen. Selbst wenn es nur um den Gesamtplan einer einzelnen Siedlung geht, sind im Falle einer Ausgrabung die finanziellen Limits rasch erschöpft. Abgesehen von wenigen Großgrabungen im Zuge von Baumaßnahmen gibt es bei uns praktisch keine zur Gänze gegrabenen Siedlungen, geschweige denn Gemeinschaftsräume. Mithilfe geeigneter Prospektionsmethoden lässt sich ein Gesamtplan jedoch rasch und mit einem Bruchteil des finanziellen Aufwands, den eine Grabung benötigen würde, realisieren (DONEUS et al. 2000; NEUBAUER 2001, 172 ff.).

10.1.3 Sprachliche Mehrdeutigkeiten: Prospection, survey, reconnaissance

Im englischen Sprachraum werden neben dem Begriff *prospection* auch *survey* oder *reconnaissance* verwendet. Von den drei Begriffen hat *survey* die größte Bandbreite an Bedeutungen. Das „Oxford Dictionary of Archaeology“ nennt z. B. den Begriff *archaeological survey* und definiert ihn als „a systematic attempt to locate, identify, and record the distribution, structure, and form of archaeological sites on the ground and in relation to their natural geographic

and environmental setting” (DARVILL 2002, 21). Auch Ted Banning versteht unter *survey* das, was man im deutschsprachigen Raum als Prospektion bezeichnen würde (BANNING 2002). Er benennt nur eine bestimmte Art von *survey*, nämlich den zielbewussten Survey als *prospection* und versteht darunter den Versuch, Fundstellen eines bestimmten Typs oder einer bestimmten Zeitstufe in einer Region gezielt aufzufinden. Zusätzliche Verwirrung stiften manche Autoren, indem sie *survey* mit Feldbegehungen gleichsetzen. Und natürlich ist *survey* oder *surveying* auch das, was wir im deutschsprachigen Raum als geodätische Vermessung bezeichnen. So behandelt das Buch mit dem Titel „Archaeological Surveying and Mapping“ (HOWARD 2007) ausschließlich archäologische Vermessungstechniken, während „archaeological survey“ (BANNING 2002) das gesamte Repertoire an Prospektionsmethoden (wenn auch mit Schwerpunkt auf der Feldbegehung) beinhaltet. „The East Hampshire Survey“ bezieht sich wiederum ausschließlich auf Feldbegehungen (SHENNAN 1985).

Der Begriff *reconnaissance* stammt aus dem militärischen Sprachgebrauch und kann am besten mit „Aufklärung“ übersetzt werden. In der Archäologie versteht man darunter die Erkundung eines Gebietes, „the process of preliminary inspection“ (BOWDEN 1999, 44). In der Luftbildarchäologie wird auch häufig der Begriff *aerial reconnaissance* verwendet und bezeichnet zumeist die Befliegung eines Gebietes zur Entdeckung archäologischer Fundstellen – und wird somit im Sinne Bowdens verstanden. So findet sich der Begriff vor allem im Zusammenhang mit den Befliegungen einer Saison (*reconnaissance season*).

10.1.4 Methoden der archäologischen Prospektion

Das Repertoire an archäologischen Prospektionsmethoden ist groß. Es ist damit zu rechnen, dass in kommenden Jahren weitere Methoden im Zuge der Adaptierung alter und neuer Erkenntnisse etwa aus Naturwissenschaften und Fernerkundung hinzukommen werden.

Eine Einteilung in zerstörende und zerstörungsfreie Methoden erübrigt sich aufgrund der Definition. Strittig ist manchmal, ab wann eine Methode als zerstörend betrachtet werden muss. Das naheliegende Kriterium ist, wenn eine Untersuchung eine intakte archäologische Stratifikation stört. In diesem Fall wäre die Methode als zerstörend zu betrachten. Somit ist die Feldbegehung in den meisten Fällen als zerstörungsfrei zu betrachten, die chemische Prospektion (z. B. Phosphatanalyse) nur dann, wenn sie mit oberflächlich genommenen Proben das Auslangen findet. Zu den wichtigsten Prospektionsmethoden gehören somit:

- (1) Feldbegehung
- (2) Methoden der Fernerkundung:
 - Luftbildarchäologie
 - Satellitengestützte Prospektion
 - Flugzeuggetragenes Laser-Scanning (ALS, LiDAR)
- (3) Geophysikalische Prospektion mit ihren wichtigsten Methoden:
 - Magnetik
 - Geoelektrik
 - Georadar
 - Elektromagnetik
 - Seismik
 - Sonar
- (4) Terrestrische topografische Aufnahmen
- (5) Chemische Prospektion (ohne Bohrung)
- (6) Biologische Prospektion
- (7) Auswertung von Literatur und Altfunden, Befragung
- (8) Auswertung historischer Quellen, Orts- und Flurnamenforschung

Darüber hinaus gibt es methodisch Fragwürdiges, wie das absichtliche Bepflügen vor einer Feldbegehung (SCHMIDT, NITZSCHKE 1971), welche in diesem Rahmen jedoch nicht weiter berücksichtigt werden.

Zur Feldbegehung kann man auch das *Divoting* zählen (*divot* = Rasensode); es ist eine Art der Beprobung, welche jedoch so leicht agiert, dass sie nicht als zerstörend betrachtet wird. Es wird dabei im Wald lediglich die Laubschicht zu Seite gescharrt bzw. in der Wiese die Rasensode angehoben (BANNING 2002, 43). Bei der biologischen Prospektion versucht man, anhand von Zeigerpflanzen verlassene Siedlungen (v. a. mittelalterliche Wüstungen) zu erkennen (HERBICH 1996). Die Auswertung historischer Karten sowie die Orts- und Flurnamenforschung (zuletzt MURRAY 2006) sind vor allem für die jüngeren Epochen ab dem Mittelalter von großer Relevanz, vor allem wenn es um die Lokalisierung von Wüstungen, ehemaliger nicht-agrarischer Aktivitäten (v. a. Bergbau), oder eine mögliche Eingrenzung des Mindestalters einer kontinuierlichen Besiedlung geht. Diese Methoden sollen hier jedoch nicht näher betrachtet werden, da ihre Interpretation umfangreiches, lokal/regional bezogenes historisches Fachwissen verlangt.

Die meisten der hier angeführten Methoden (außer der geomorphologischen/siedlungskundlichen Kartierung, der Auswertung von Literatur und historischer Quellen) gewinnen ihre Informationen aus dem Prinzip des Kontrasts (vgl. Kapitel 10.1.1). Jede Methode bedient sich dabei unterschiedlicher Annahmen und Techniken und erfährt somit eine Anwendung in jeweils unterschiedlichen Situationen

und Fragestellungen. Ihr Einsatz ist oft beschränkt auf bestimmte Maßstäbe, äußere Gegebenheiten (Feld, Wiese, Wald, Wasser, Gebirge, klimatische Bedingungen etc.), Art des Unterschiedes und den vorhandenen zeitlichen, personellen und finanziellen Ressourcen. Sie sind empfindlich oder unempfindlich auf bestimmte äußere Faktoren und bieten auch unterschiedliche Aussagemöglichkeiten.

Im Rahmen der Landschaftsarchäologie ist die großräumige und großflächige Auffindung, Kartierung und funktionale Interpretation der materiellen Hinterlassenschaft und ihrer Umwelt von primärem Interesse. Im Moment sind nur drei Methoden bekannt, welche zur systematischen Auffindung materieller Hinterlassenschaft zum Einsatz kommen: Feldbegehung, Luftbildarchäologie (mit oder ohne Unterstützung durch Satellitenbilder) und flugzeuggetragenes Laser-Scanning. Die geophysikalische Prospektion wird aus praktischen und ressourcenbedingten Gründen (leider) noch nicht für die systematische Aufnahme größerer Bereiche genutzt – dennoch gibt es bereits einige Beispiele, wo im Laufe von zahlreichen Saisonen größere, zusammenhängende Gebiete, etwa durch Magnetik prospektiert wurden (z. B.: POWLESLAND 2005, 2006, 200; GAFFNEY, GAFFNEY 2000; GAFFNEY et al. 2012). In der Folge sollen vor allem die Methoden zur systematischen Auffindung materieller Hinterlassenschaft etwas näher auf deren Eignung für die Landschaftsarchäologie untersucht werden.

10.2 Die archäologische Feldbegehung

Die Feldbegehung gilt als älteste Prospektionsmethode, wurde jedoch erst seit der Mitte des 20. Jahrhunderts systematisiert. Im Laufe der Zeit hat sich ein beträchtlicher Fundus an Publikationen zu Fallbeispielen, Methoden und bisweilen theoretischen Grundlagen angesammelt (zuletzt ORTON 2000, 67–111; BANNING 2002; MATTINGLY 2000 mit weiterführender Literatur).

Die für jede Art der Feldbegehung vorauszusetzende Prämisse ist, dass die räumliche Lage und Zusammensetzung von Fundverteilungen an der Oberfläche Ergebnis vergangenen menschlichen Verhaltens ist, und somit durch flächenmäßige Erfassung und Kartierung von Funden Rückschlüsse auf dieses Verhalten möglich sind (vgl. TAYLOR 2000a, 16). Diese Prämisse bedeutet jedoch nicht, dass Fundverteilungen die im Boden verborgen liegenden archäologischen Strukturen zwingend anzeigen müssen, da es, wie bereits weiter oben beschrieben, auch Aktivitäten gibt, welche keine Strukturen im Boden hinterlassen.

Eine ehemalige Aktivitätszone (in der Folge werden Fundstelle und Aktivitätszone synonym verwendet) kann man rein theoretisch dann anhand von Funden an der Erdoberfläche lokalisieren, wenn diese seit ihrer Ablagerung

ihre Lage nicht verändert haben (vgl. NEUSTUPNÝ 1998c, 48). Dies ist in der Praxis jedoch nicht gegeben. Eine wesentliche Frage von Feldbegehungen ist deshalb, zu untersuchen, inwieweit Struktur, Zusammensetzung und räumliche Verteilung der aufgelesenen Funde trotz der ständig stattfindenden Veränderungen eine Rekonstruktion der ursprünglichen Aktivitäten zulässt. Für die Interpretation von Feldbegehungsdaten ist es deshalb unumgänglich, alle anthropogenen und natürlichen Prozesse, welche für die Verlagerung, unterschiedliche Erhaltung und Erkennbarkeit der Funde verantwortlich sind, zu erkennen, zu verstehen und zu berücksichtigen (ALLEN 1991, 39). Dieses Vorhaben ist jedoch ohne detaillierte Zusatzinformation durch geomorphologische Untersuchungen, weitere Prospektionsmethoden, Einflüsse der landwirtschaftlichen Tätigkeit (und zwar auch der (prä-) historischen) etc. praktisch unmöglich:

„The cultural and natural processes which formed the archaeological record as we find it today, as such, are completely outside our control, and the best we can do is to make allowances for their operation. Giving meaning to any of our observations, therefore calls for a complex set of arguments, assumptions and generalizations, some of them specifically archaeological, others originally developed in a different context such as geology but obviously of relevance” (HASELGROVE 1985, 9).

In jedem Fall ist die Abschätzung der Relevanz von Oberflächenfunden für die jeweilige Fragestellung ein wichtiger Teil der Interpretation. Dies ist ein schwieriges Unterfangen und wird bisweilen unter Zuhilfenahme von Modellvorstellungen zum menschlichen Verhalten und zu den post-depositionalen Prozessen (manchmal unterstützt durch ethnografische Studien) argumentiert (TAYLOR 2000a, 16). Zum Teil können auch die Artefakte – ihr Zustand (Größe, Abrollung), Sortierung, das offensichtliche Fehlen von Kategorien, horizontale Verteilung etc. – Auskunft über Entstehungsprozesse einer Artefaktverteilung geben (SCHIFFER 1987, 267 ff.). Geomorphologie, Sedimentologie und – im Falle von Ausgrabung oder Beprobung – paläobotanische Untersuchungen sind ebenfalls wichtige Hilfsmittel bei der Rekonstruktion von stattgefundenen Veränderungen (SCHIFFER 1987, 288 ff.).

Anhand von Begehungen kann man unterschiedliche *Fragestellungen* untersuchen. Dem Zweck der Untersuchung entsprechend benötigt man eine unterschiedliche Methodik, die wiederum Auswirkungen auf Ressourcen, benötigte a priori Information, Analysemethoden und Aussagemöglichkeiten haben. Neben der weitverbreiteten unsystematischen Begehung bestimmter Flächen mit dem Zweck, Fundstellen zu entdecken bzw. Funde zu sammeln, nennt Clive Orton das Testen von Hypothesen, das

Abschätzen von bestimmten Parametern (z. B. Fundstellendichte) sowie die Gewinnung von Erkenntnissen zur Verteilung materieller Hinterlassenschaften als wichtigste Gründe für Begehungsprojekte (ORTON 2000, 67). Letztere drei Beweggründe nennt auch Edward B. Banning in seiner Klassifizierung der Arten von „Surveys“ (wobei er den Begriff weiter fasst und auch andere Prospektionsmethoden mit einbezieht) (BANNING 2002, 27 f.): zielgerichtete (*purposeful*), statistische und strukturelle Surveys, wobei er nicht ausschließt, dass für manche Fragestellungen auch eine Kombination dieser drei Arten zweckmäßig sein kann (BANNING 2002, 35 f.).

Unter einer *zielgerichteten Begehung* versteht Banning den Versuch, Fundstellen eines bestimmten Typs oder einer bestimmten Zeitstufe in einer Region aufgrund von Vorwissen gezielt aufzufinden. Bei dieser Art von Begehung spielt auch die Archäoprognose (vgl. S. 285 ff.) eine wichtige Rolle (BANNING 2002, 138 ff.). Die archäologische Landaufnahme, deren Methodik im Prinzip noch immer auf den grundlegenden Arbeiten der 1920er und 1930er Jahre basiert (JANKUHN 1973, 392) und trotz methodischer und technischer Neuerungen (ANDRIKOPOULOU-STRACK 2002) diese Erkenntnis nicht berücksichtigt, bedient sich dieses Konzeptes. Eine andere Möglichkeit für zielgerichtete Begehungen ist die Verifizierung oder zusätzliche Informationsgewinnung von Fundstellen, welche mit anderen Prospektionsmethoden entdeckt wurden. Die Begehung selbst kann dabei systematisch oder unsystematisch durchgeführt werden. Ein *statistischer Survey* ist nach Banning die Begehung eines größeren Gebietes an zuvor stichprobenartig ausgewählten Flächen. Ziel ist es, mit vertretbarem Aufwand statistisch relevante Aussagen zu unterschiedlichen Fragestellungen (etwa Fundstellendichte, Bevölkerungsgröße) zu erhalten. Diese Form der selektiven Begehung wurde bereits in den 1960er Jahren entwickelt, da systematische Begehungsprojekte größerer Gebiete sich als zu kostspielig und damit undurchführbar erwiesen (BINFORD 1964, 427). Im Unterschied dazu sind Bannings *strukturelle Begehungsprojekte* darauf bedacht, eine größere Region möglichst umfassend zu prospektieren. Man bezeichnet sie daher auch als *total*, *siteless*, *off-site* oder *non-site Surveys* (zu den Begriffen *siteless*, *off-site* und *non-site* siehe S. 149 ff.), da nicht die Fundstelle, sondern die Landschaft Ziel des Interesses ist (BANNING 2002, 34).

Landschaftsarchäologisch scheinen in erster Linie die strukturellen, großflächigen Begehungen interessant. Die Untersuchung einer Zufallsauswahl von zu begehenden Flächen erscheint landschaftsarchäologisch gesehen nur bei bestimmten Fragestellungen (etwa der oben genannten Abschätzung von Parametern) oder im Zusammenhang mit

anderen Prospektionsmethoden sinnvoll. Wenn man aus finanziellen Gründen nur kleinere Gebiete begehen kann, dann scheint es sinnvoller, diese anhand gründlicher Überlegungen sowie Beobachtungsstrategien unter vorheriger Einbeziehung anderer Prospektionsmethoden (v. a. der Luftbildarchäologie) gut argumentiert zu planen. Dies bedeutet nicht zwingend, dass man dabei nur jene Bereiche begehen muss, welche für Fundstellen vielversprechend wären oder welche bereits luftbildarchäologische Strukturen erkennen ließen.

10.2.1 Methodik

Es gibt keine einheitliche Methode für die Vorgangsweise bei einem Begehungsprojekt. Je nach Fragestellung und regionalen Verhältnissen bedarf es unterschiedlicher Methoden und Strategien, deren Auswahl auch durch die meist begrenzten Ressourcen eingeschränkt ist. Deshalb spielt die Projektplanung eine wichtige Rolle, bei der ausgehend von der Fragestellung und den Vorgaben des für deren Beantwortung am besten geeigneten Gebietes zahlreiche Entscheidungen bezüglich der Strategie und Vorgangsweise getroffen werden müssen. Prinzipiell gibt es eine Anzahl von Faktoren, welche im Arbeitsgebiet vorgegeben sind und bei der Projektplanung berücksichtigt werden müssen, wie zum Beispiel Art und Dichte der zu erwartenden materiellen Hinterlassenschaft, Geomorphologie, Landnutzung und die damit verbundene Sichtbarkeit des auf der Oberfläche liegenden Materials (SCHIFFER et al. 1978, 4).

Paradoxerweise bedingt die Verteilung und Menge der materiellen Hinterlassenschaft die Wahl einer geeigneten Methode und deren Parameter für die Begehung. Dazu bedarf es aber eines Vorwissens, welches oftmals das Ziel einer Begehung ist, und daher vor Projektbeginn nicht oder nur rudimentär vorhanden ist (SCHIFFER et al. 1978, 3). Hier helfen entweder eine Abschätzung in Verbindung mit Modellvorstellungen (BANNING 2002, 12 ff.) oder eine Pilotphase, in welcher die Parameter anhand von Begehungen mit niedriger Auflösung bestimmt werden (SCHIFFER et al. 1978, 3). M.B. Schiffer et al. propagieren ein hierarchisches Vorgehen mit (1) Beschaffung bereits vorhandener Information, (2) extensive Erkundung des Gebietes, etwa durch mehrere begangene Korridore und (3) intensive Begehung (SCHIFFER et al. 1978, 16 ff.). Zumeist unerwähnt bleibt, dass man in der Pilotphase verstärkt auf den systematischen Einsatz anderer Prospektionsmethoden (vor allem jene der Fernerkundung) zurückgreifen könnte.

Ein wichtiger, durch die Region vorgegebener Aspekt, welcher praktische Auswirkungen auf die Arbeitsweise hat, ist die Zugänglichkeit und Begehrbarkeit des Gebietes. Insgesamt führen Schiffer et al. fünf Faktoren an (SCHIFFER et

al. 1978, 9): Klima (schlammige Böden, Schnee), Biosphäre (Wald, Acker), Gelände (Ebene, Hänge, zerklüftetes Relief), vorhandene Straßen und Besitzrechte der zu begehenden Flächen. Aus den regionalen Vorgaben heraus ergeben sich je nach Fragestellung die anzuwendenden Methoden mit unterschiedlich zu bewertenden Parametern. Einheit der Analyse, benötigtes Ausmaß und Auswahlkriterien der zu begehenden Fläche(n), Genauigkeit und Intensität der Begehung, Dokumentation der Funde und Analysemethoden (siehe auch BANNING 2002, 22 ff.) sind jene Parameter, die sowohl der Fragestellung als auch den gegebenen Faktoren angepasst sein müssen. Wider besseres Wissen müssen sie aber oftmals in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden finanziellen, personellen und zeitlichen Ressourcen gewählt werden (MATTINGLY 2000, 6).

10.2.1.1 Sichtbarkeit von Funden

Die Sichtbarkeit von Funden ist wohl einer der wichtigsten Faktoren für eine Feldbegehung (vgl. TERRENATO 2000, 60). Sie ist teilweise durch die lokalen Verhältnisse vorgegeben, manche Aspekte lassen sich jedoch durch Wahl der Methode und des Zeitpunktes beeinflussen.

Die prinzipielle Auffindbarkeit der materiellen Hinterlassenschaft ist teilweise Resultat einiger mehr oder weniger vorgegebener Faktoren. Die Auffälligkeit des Kontrastes (M.B. Schiffer et al. führten dafür den Begriff *obtrusiveness* (*obtrusive* = aufdringlich) ein (SCHIFFER et al. 1978, 6) anhand dessen sich die archäologischen Funde von der archäologisch nicht beeinflussten Umgebung abheben, hat Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit ihrer Auffindung. Scherben mit ähnlicher Textur und Färbung wie der sie umgebende Boden oder Silexartefakte auf steinigem Untergrund lassen sich schwieriger erkennen als große Keramikbruchstücke auf Sand. Allerdings ist dieser Kontrast selbst innerhalb einer Region höchst variabel und hängt auch von der Art der materiellen Hinterlassenschaft ab. Dieser prinzipiell vorhandene Kontrast kann auch durch verschiedene andere Faktoren vermindert oder überdeckt werden. Dadurch wird die Sichtbarkeit der Funde beeinträchtigt. Eine Überdeckung der fundführenden Schichten durch kolluviale oder alluviale Sedimente kann, sofern sie mächtiger als die Eindringtiefe des Pfluges ist, die Funde zur Gänze „unsichtbar“ machen. Somit ist die Geomorphologie des zu begehenden Gebietes in die Projektplanung mit einzubeziehen.

Die prinzipielle Auffindbarkeit (Kontrast und Sichtbarkeit) der Artefakte hat primäre Auswirkung auf die Wahl der Methode. Konkret kann man im Falle von Begehungen zwischen der Aufsammlung von an der Oberfläche sichtbarem Material und der stichprobenartigen Entnahme von oberflächennah begrabenem Material (*sub-surface samp-*

ling) unterscheiden (ORTON 2000, 80). Letzteres wird vor allem in Großbritannien und Nordamerika in jenen Bereichen angewandt, bei denen aufgrund der Vegetation (Wald, Wiese) praktisch keine Sichtbarkeit von Funden gegeben ist. Man unterscheidet das Ausheben kleinerer quadratischer Gruben (zwischen 0,25 und 1 m Seitenlänge) im Raster (STP - *Shovel Test-Pit*), die Entnahme von Bohrkernen (*coring*), Schneckenbohren (*augering* – im Unterschied zum *Coring* wird hier kein zusammenhängender Bohrkern geborgen – Untersuchungen einer Stratifikation lassen sich daher nicht durchführen) und das Entfernen von Rasensoden oder der Laubbedeckung im Wald (*divoting*) (KINTIGH 1988; LOVIS 1976; NANCE 1979; NANCE, BALL 1986; KRAKKER et al. 1983; MCMANAMON 1984; GAFFNEY et al. 1991). Mittels dieser – nicht unwidersprochenen (WOBST 1983) – Methoden lassen sich Funde, Strukturen, Kulturschichten oder chemische Anomalien feststellen. Wie bereits zuvor erwähnt, handelt es sich dabei zumeist nicht um zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden.

Andere Faktoren, welche die Sichtbarkeit beeinflussen, sind die Landnutzung (Acker, Wiese, Wald, verbauts Gebiet), saisonal unterschiedlicher Zustand der Felder (gepflügt, geeggt, mit vorhandenem Bewuchs) oder witterungsbedingte Verhältnisse (nach einem Regen zeigen sich die „abgewaschenen“ Funde oft besonders deutlich). Wolfram Schier betont, dass man auf der relativ groben Textur eines frisch gepflügten Feldes nur relativ große Funde entdeckt, während nach Verstreichen eines gewissen Zeitraumes und der durch Wettereinflüsse erfolgten Zerkleinerung der Erdklumpen auch vermehrt kleinere Funde entdeckt werden (SCHIER 1990, 42). Zudem zeigen auch Tageszeit oder Blickrichtung bei der Begehung Auswirkungen auf die Sichtbarkeit von Funden: Hat man die Sonne im Rücken, so sind Funde besonders gut zu erkennen, da die Farbkontraste am deutlichsten sichtbar sind. Gegenlicht wirkt sich in verminderten Farbkontrasten aus, zeigt aber die Struktur der Oberfläche aufgrund der größeren Schattenwirkung besonders deutlich (WILLIS 1932 – zitiert nach ALLEN 1991, 39).

Diese Faktoren lassen sich bis zu einem gewissen Grad beeinflussen – so kann man den Zeitpunkt der Begehung so ansetzen, dass der Großteil der Felder sich in gepflügtem Zustand befindet. Dennoch wird man vor allem in Gebieten mit einer sehr kleinflächigen Flurstruktur immer wieder mit Flächen konfrontiert sein, welche zum Beispiel geeggt, frisch abgeerntet oder mit Vegetation bestanden sind. Deshalb betonten bereits Michael Aston und Trevor Rowley die Notwendigkeit des wiederholten Begehens, um die Felder in jeweils unterschiedlichen Konditionen zu sehen und möglichst viel Information zu erhalten (ASTON, ROW-

LEY 1974, 31). Dies findet jedoch in der Regel maximal bei zunächst erfolglosen unsystematischen Begehungen statt. Bei großen, systematischen Begehungen verbietet sich eine mehrmalige Durchführung jedoch aus finanziellen Gründen. Aus diesem Grund haben V. Gaffney et al. in Anlehnung an John Bintliff (BINTLIFF 1985) für die zu begehenden Einheiten eine Bewertung der Sichtbarkeit aus einer zehnstufigen Skala vergeben, durch die sich die Fundhäufigkeiten während der Analyse standardisieren lassen (GAFFNEY et al. 1991, 61). Schwierig beim Versuch, die unterschiedlichen Sichtbarkeitsverhältnisse zu korrigieren, erweist sich sicherlich das Fehlen objektiver Kriterien bei der Bewertung der Sichtbarkeit (vgl. MATTINGLY 2000, 10).

Eine gute Sichtbarkeit sagt aber noch lange nicht aus, dass die an der Oberfläche liegenden Funde auch tatsächlich entdeckt werden. Dies hängt nicht zuletzt von den einzelnen Personen ab, die bei der Begehung mitwirken. Je nach Begabung (siehe z. B. DONEUS 2002, 35), Verfassung, Aufmerksamkeit, Interesse oder Vorwissen, können einzelne Personen durchaus unterschiedliche Ergebnisse bei einer Aufsammlung liefern, und zwar in Bezug auf Quantität des Materials aber auch in Bezug auf seine Zusammensetzung. So schreibt John Bintliff aus seinen Erfahrungen aus dem Bööten-Projekt:

„An eye trained to detect historic surface ceramics often misses unpainted coarse prehistoric potsherds; the latter can merge into the surface appearance of the soil whose texture and colour they so often resemble“ (BINTLIFF 2000b, 207).

Die Sichtbarkeit von Funden beeinflusst zwar deren prinzipielle Auffindewahrscheinlichkeit, ist aber letztendlich nur eines von vielen Kriterien für die archäologische Relevanz der Ergebnisse einer Feldbegehung: Inwieweit das aufgefundene Material tatsächlich fundierte Aussagen zu Abgrenzung, Datierung, Dauer oder Funktion ehemaliger Fundstellen erlaubt, wird auch durch zahlreiche andere Faktoren mitbestimmt. So kann die Rate der erhaltenen Funde in Bezug auf verschiedenartige Materialien (Knochen, Keramik, ungebrannter Lehm, Eisen etc.) oder das Inventar von bestimmten Zeitstufen (unterschiedliche Qualität von Keramik) höchst unterschiedlich ausfallen. Auch die Möglichkeit der kulturellen und chronologischen Zuordnung von Artefakten variiert je nach Inventar beträchtlich. Manche Kulturen haben allgemein sehr wenig Material hinterlassen. Diese und zusätzliche Faktoren werden noch ausführlich am Ende des Abschnittes zur Feldbegehung diskutiert. Zudem nutzt die beste Sichtbarkeit für einen Fund wenig, wenn dieser aufgrund einer zu geringen Intensität der Begehung weit abseits der Begehungslinien liegt.

10.2.1.2 Intensität der Begehung

Die Wahl der Intensität, mit welcher ein Gebiet begangen werden soll, ist ein Produkt zahlreicher Überlegungen und hat sicherlich einen erheblichen Anteil an Erfolg oder Misserfolg eines Projektes. Fragestellung und theoretische Überlegungen wie Sichtbarkeit, Vorstellung über Größe, Verteilung und zu erwartende Artefakte der Fundstellen stehen praktischen Notwendigkeiten wie vorhandene Ressourcen, ein oft limitiertes Zeitfenster oder Transport- und Unterbringungsmöglichkeiten der gesammelten Artefakte gegenüber.

Die Fragestellung bedingt zunächst die Einheit der Analyse bzw. das, was eigentlich kartiert werden soll. Prinzipiell unterscheidet man *fundstellenbasiertes* (*site-based*) Begehen, bei dem das Auffinden neuer Fundplätze im Mittelpunkt steht, sowie *flächendeckende* Begehungen, bei denen Fundansammlungen oder jedes einzelne Artefakt kartiert werden (ORTON 2000, 81). Letztere können dazu dienen, mögliche chronologische (z. B. BECKER et al. 2001) oder funktionale Differenzierungen innerhalb einer Fundstelle zu erkennen, oder ein größeres Gebiet – oft unter Nichtberücksichtigung von Fundstellen – auf mögliche Aktivitätszonen hin zu untersuchen (*off-site*, *non-site* oder *siteless survey*) (z. B.: THOMAS 1975; DUNNELL, DANCEY 1983; DUNNELL 1988; BINTLIFF, SNODGRASS 1988; BINTLIFF 2000b). Das Für und Wider beider Vorgangsweisen ist Thema zahlreicher Diskussionen (z. B. BINTLIFF 2000b; TERRENATO 2004).

Unabhängig davon, ob Artefakte fundstellenbasiert oder flächig erfasst werden, unterscheidet man extensive und intensive Begehungen. Bei der *extensiven Begehung* ist die Erfassung eines großen Gebietes das Ziel (ORTON 2000, 75). In vielen Fällen ist sie fundstellenbasiert, d. h., es werden nur während der Begehung als Fundstellen interpretierte Fundkonzentrationen kartiert, sie kann aber auch Off-Site-Gebiete mit einschließen.

Extensive Begehungen können unsystematisch durchgeführt werden, wie dies bei der archäologischen Landesaufnahme der Fall ist (JANKUHN 1973), die Begehung kann aber auch systematisch, entlang zuvor festgelegter, paralleler Bahnen (*traverse*) erfolgen. Der Abstand zwischen den Bahnen beträgt zwischen 5 und 100 Meter, meist werden jedoch Abstände zwischen 10 und 25 Metern benutzt (MATTINGLY 2000, 8). Da bei solchen Abständen nicht der gesamte Raum zwischen den Bahnen abgesucht werden kann, handelt es sich in solchen Fällen eigentlich um eine systematische Beprobung (siehe Kapitel 10.2.1.3). Aus diesem Grund ist es wichtig, dass alle Personen, welche parallel zueinander auf den ausgelegten Bahnen gehen, eine gleichmäßige Geschwindigkeit einhalten. Zudem sollte deren „Begabung“, Funde zu erkennen, ähnlich sein, um keine Verzerrungen bei der quantitativen Analyse zu erhalten (*modern pedest-*



Abb. 38: Extensive Feldbegehung in Zwingendorf, NÖ (Foto: Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

rian tactic – SCHIFFER et al. 1978, 13). Entlang der Bahnen werden in regelmäßig gewählten Abständen die Funde gesammelt und getrennt voneinander quantifiziert. Dadurch erhält man ein Raster mit relativ grober Auflösung (Abb. 39).

Extensive Begehungen haben also normalerweise eine geringere Auflösung und dienen häufig lediglich zur Beschaffung initialer Daten für die flächenmäßige Begrenzung nachfolgender, intensiverer Begehungen. Im Gegensatz dazu sucht man mit einer *intensiven Begehung* die Oberfläche eines meist kleineren Gebietes zur Gänze ab (ORTON 2000, 75). Dazu wird üblicherweise ein feinerer Raster ausgesteckt und die einzelnen Felder so begangen, dass möglichst die gesamte Fläche abgesucht werden kann. Die intensive Begehung erzielt dadurch eine hohe Auflösung. Bisweilen werden auch Fundeinmessungen vorgenommen (BECKER et al. 2001; NEHREN et al. 1994; WESSEL, WOHLFARTH 2003).

Oft werden Begehungsprojekte hierarchisch geplant, wobei in den einzelnen Phasen aufgrund der zuvor erhaltenen Ergebnisse kleinere Flächen ausgewählt und mit entsprechend höherer Intensität begangen werden (z. B. SCHIFFER et al. 1978, 3; GAFFNEY et al. 1991, 61; GROSMAN 1996).

10.2.1.3 Strategien der Beprobung

Entgegen der oft geäußerten Meinung, die Feldbegehung sei die kostengünstigste Art der archäologischen Prospektion, ist es in vielen Fällen ressourcenbedingt unmöglich, größere Gebiete systematisch zu begehen. Die im Laufe der 1960er Jahre entwickelte Methodik archäologischer Feldbegehung beruht auf der Annahme, dass es für manche Fragestellungen ausreicht, stichprobenartig ausgewählte Bereiche eines Gebietes zu begehen (vgl. NOVAKOVIĆ 1996,

40). Wenn es bei der Fragestellung etwa darum geht, Abschätzungen zur Anzahl oder Dichte von Fundstellen, einen repräsentativen Querschnitt zu Fundstellenkategorien oder eine Idee zur größenmäßigen, chronologischen oder funktionalen Bandbreite der Fundstellen innerhalb einer Region zu erhalten, so kann man sich statistischer Methoden der Stichprobenauswahl bedienen, und somit auch mit vertretbarem Aufwand zu fundierten Annahmen gelangen (ORTON 2000, 67, 78f.).

Als wichtig wird die Auswahl der zu begehenden Flächen angesehen. Sie muss repräsentativ sein, wobei die zu begehenden Bereiche zufällig, stratifiziert oder systematisch über das

Projektgebiet verteilt sein können (zuletzt: ORTON 2000, 67–111; BANNING 2002, 113–132). Bei der zufälligen Stichprobe werden die einzelnen Flächen mit jeweils gleich hoher Wahrscheinlichkeit ausgewählt. Diese Methode der Auswahl ist einfach durchzuführen, kann aber zu größeren unbeprobten Zonen führen (BANNING 2002, 114). In einer heterogenen Landschaft, die etwa aus einem großen Tal, einer Hochebene und einer hügeligen Region besteht, gilt die Anwendung einer sogenannten „stratifizierten Beprobung“ als eine vernünftige Möglichkeit. Durch Abgrenzung der einzelnen Zonen und eine zufällige Stichprobenwahl getrennt für jede Zone wird gewährleistet, dass keine dieser Zonen zu viel oder zu wenig Stichproben erhält (BANNING 2002, 115).

Bei der systematischen Beprobung werden Flächen regelmäßig über das Gebiet verteilt (BANNING 2002, 116). Typischerweise wird es für die Entnahme von oberflächennahem Material (*sub-surface sampling*) angewandt, wobei sich James Krakker et al. intensiv mit unterschiedlichen Beprobungsmustern auseinandergesetzt haben (KRAKKER et al. 1983). Aber auch eine Begehung entlang weit auseinanderliegender Bahnen ist im Prinzip eine systematische Beprobung. Es gibt auch komplexere Methoden, welche meist aus einer Kombination aus zufälliger, stratifizierter und systematischer Stichprobenwahl bestehen. Ein Sonderfall ist die adaptive Beprobung, bei der die Strategie nach bestimmten Regeln während der Begehung laufend angepasst wird. So kann für den Fall, dass in einem Bohrloch Funde auftreten, in der unmittelbaren Nachbarschaft vermehrt beprobt werden (BANNING 2002, 117 ff.).

Wie auch immer die Stichproben gewählt werden, wichtig für die Relevanz des Ergebnisses ist vor allem deren An-

zahl. Diese ist abhängig von der Fragestellung, der Häufigkeit und Verteilung der materiellen Hinterlassenschaft, dem tolerierbaren Fehler und dem Konfidenzintervall (BANNING 2002, 124; SCHIFFER et al. 1978, 13). Die Schwierigkeit dabei ist, dass man je nach Fragestellung zuvor berechnen muss, wie groß die Anzahl der zu begehenden Flächen sein sollte, damit die Aussage innerhalb einer bestimmten Fehlertoleranz Gültigkeit hat (ORTON 2000, 84 f.). Die Fläche der einzelnen Proben ist dabei sekundär.

Für die Größe der einzelnen Flächen gibt es eine Reihe von Argumenten (ORTON 2000, 87; SCHIFFER et al. 1978, 11). Statistisch gesehen ist die Form der zu beprobenden Flächen vernachlässigbar – auch natürliche Einheiten mit unregelmäßigem Grundriss sind möglich (ORTON 2000, 86; z. B. KUNA 1998a). Üblich sind jedoch das Quadrat und parallele, sich durch das gesamte Projektgebiet ziehende, oft zwischen 75 und 500 m breite Streifen (*transect*). Diese Streifen entsprechen im Prinzip einer langen Reihe von aneinandergelegten Quadraten (ORTON 2000, 85 ff.; SCHIFFER et al. 1978, 11 f.; SHENNAN 1985, 11 ff.). Solche *transects* sind zwar logistisch leichter zu bewerkstelligen, darauf basierende statistische Ableitungen müssen jedoch Effekte der Autokorrelation berücksichtigen.

Insgesamt erscheint eine statistische Beprobung bei großflächigen Begehungen problematisch. Die Ergebnisse einer jeden Begehung werden durch zahlreiche Faktoren verzerrt, wobei auf jeder der zufällig ausgewählten Flächen eine andere Kombination dieser Faktoren wirkt. Deshalb wird bei der funktionalen Analyse häufig betont, dass ein quantitativer Vergleich von unterschiedlichen Begehungen nicht möglich sei. Es erscheint daher fraglich, ob sich Aussagen zu Anzahl oder Dichte von Fundstellen (gemeint sind dabei zumeist Siedlungen) aufgrund einiger weniger zufällig ausgewählten begangenen Flächen tätigen lassen.

10.2.1.4 Selektion des Fundmaterials

Ein weiteres Problem, welches sich bei großflächigen Begehungsprojekten ergibt, ist die Menge an Funden. Ihre Verpackung getrennt nach Rastereinheiten, Archivierung und Bearbeitung kann die vorhandenen Ressourcen rasch sprengen, obwohl aussagekräftiges Material in der Regel nur spärlich vertreten ist:

„Site collections often seem huge at the time, but yield a disappointingly small range of diagnostic sherds for each time period“ (MATTINGLY 2000, 7).

Aus diesem Grund ist man mancherorts dazu übergegangen, nur noch aussagekräftiges Material zu sammeln, was die Materialmenge erheblich verkleinert. Um dennoch eine Quantifizierung zu ermöglichen, werden alle anderen

Artefakte gezählt. In anderen Projekten ist man dazu übergegangen, gar nichts mehr zu sammeln und die datierenden Artefakte vor Ort zu bestimmen (MATTINGLY 2000, 9). Eine Auflistung der diversen Strategien findet sich bei David Mattingly (MATTINGLY 2000, 7, Table 2.1).

Die Strategien des Nicht-Aufsammelns erzeugen jedoch erneut Probleme: so muss garantiert sein, dass jeder begehende Projektteilnehmer die Artefakte auch tatsächlich bestimmen kann. Zudem kann in bestimmten Regionen und Zeitstufen auch die Tonart der Keramik eine Datierungsmöglichkeit darstellen, was jedoch vor Ort meist nicht abgeklärt werden kann. Für eine funktionale Analyse bedarf es zudem nicht nur der datierbaren Keramik, sondern einer Quantifizierung der anderen Funde, wie Ziegel, Hüttenlehm, Schlacken etc. (MATTINGLY 2000, 8 f.). Zudem fehlt jegliche Möglichkeit, Datierungsfehler im Nachhinein zu korrigieren, und die Ergebnisse der Begehung sind nicht mehr nachvollziehbar. Andererseits ist in jenen Fällen, wo die Funde vor Ort verbleiben, die Methode tatsächlich zerstörungsfrei (CHERRY 1982, 19).

Elizabeth Fentress nimmt eine kritische Haltung zur Frage der Quantifizierung von Funden ein (FENTRESS 2000). In vielen Fällen sei sie nicht notwendig, zu kostenintensiv und bringe wenig bis keine Mehrinformation. Viel wichtiger sei es, qualitative Informationen zu sammeln, welche es erlauben, die Funktionalität der Fundstelle zu ermitteln:

„We cannot seek for complex patterning in a site which at best is represented by 30 diagnostic sherds. Data in this sort of quality is resistant to all but the simplest interpretations – domestic, 2nd century BC, 50 m² – and no amount of close measurement will provide anything more significant“ (FENTRESS 2000, 50).

Ob qualitativ oder quantitativ, das Zitat von Elisabeth Fentress zeigt deutlich, dass Feldbegehungen, so intensiv sie auch sein mögen, es nicht erlauben, die komplexen Strukturen materieller Hinterlassenschaft wiederzugeben. In diesem Zusammenhang verwundert es, dass abgesehen von wenigen Ausnahmen die kombinierte Anwendung mit anderen Prospektionsmethoden kein Thema zu sein scheint. Gemessen an den Kosten für systematische großflächige Surveys mit Fundeinmessung, erscheint eine geophysikalische Prospektion dieser Gebiete durchaus finanzierbar und würde mit Sicherheit mehr Licht in die räumliche und funktionale Organisation einer Fundstelle bringen.

10.2.1.5 Analyse von systematischen Begehungen

Bei der Analyse der Aufsammlungen geht es letztendlich um die Interpretation der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung von Fundansammlungen und eine räumliche Analyse deren Verteilung. Je nach Fragestellung

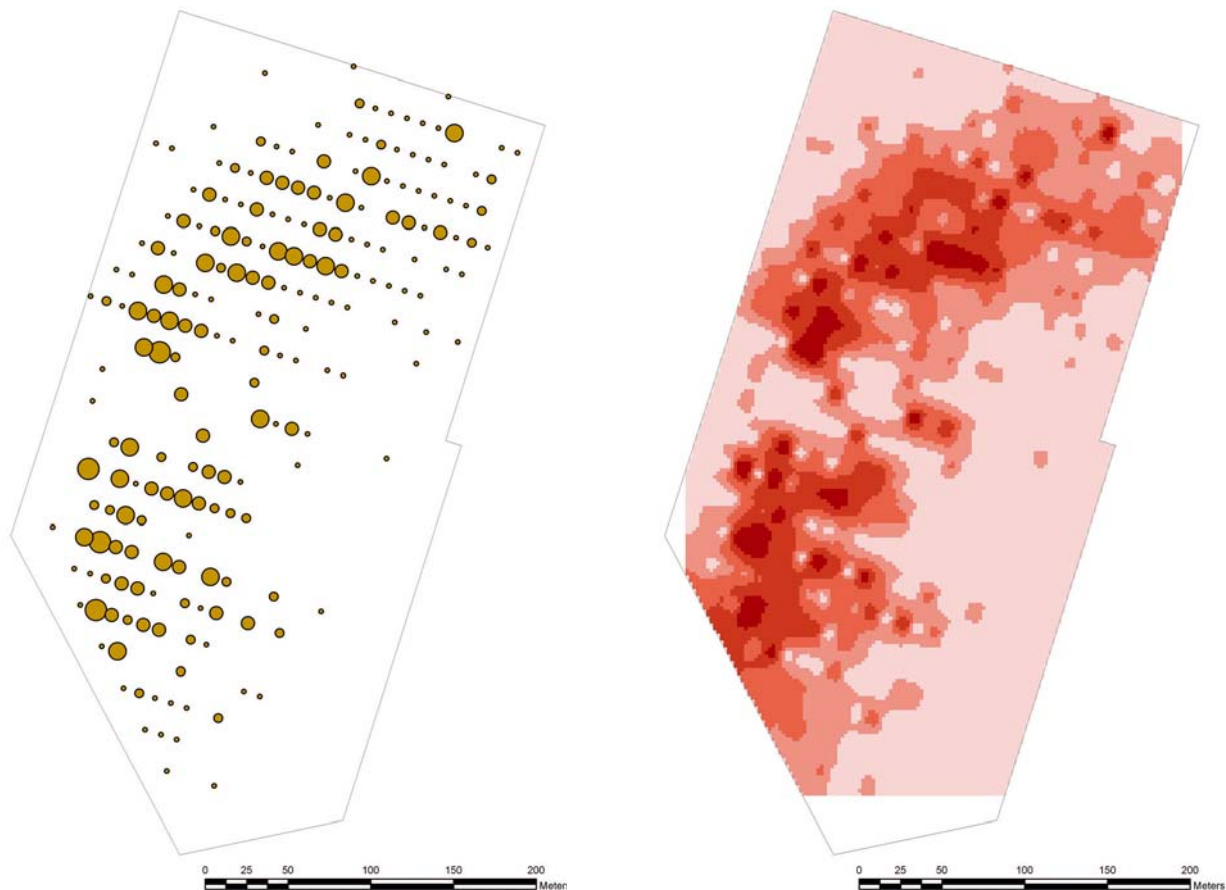


Abb. 39: Zwingendorf, NÖ. Verteilung der Keramik aus dem 8. Jh. AD als Kartierung von Symbolen (links) und als interpolierte Dichtekarte (rechts) (© Nives Doneus).

sowie verfolgter Methode und Strategie liegen systematische oder unsystematische Daten in grober oder feiner Auflösung vor und bedürfen daher unterschiedlicher statistischer und visueller Interpretation. Im Rahmen der Landschaftsarchäologie interessieren vor allem die Rekonstruktion von Lage und Funktion ehemaliger Aktivitätszonen, deren chronologische Ansprache sowie deren Dichte und Verteilung im Untersuchungsgebiet.

Bei fundstellenbasierten, unsystematischen Begehungen findet eine Interpretation, d. h. eine Zuweisung, ob eine Fundstelle vorliegt oder nicht, meist bereits vor Ort statt. Die spätere Analyse ist daher in diesen Fällen üblicherweise qualitativer Art, d. h. eine chronologische und eventuell auch funktionale Differenzierung des gefundenen Materials. Die Analyse extensiver oder intensiver systematischer Begehungen findet meist zu einem späteren Zeitpunkt statt. Der dokumentierte Lagebezug der Funde eröffnet hierbei erweiterte Möglichkeiten zur quantitativen Auswertung, zu denen überraschenderweise verhältnismäßig wenig publiziert ist (MATTINGLY 2000, 11).

Mit ein Grund dafür dürfte das prinzipielle Problem der Interpretation von Oberflächenfunden sein, bei dem es bereits schwierig genug erscheint, Fundstellen abzugrenzen, geschweige denn eine Verteilung mehr oder weniger dünn verstreuten, kaum datierbaren Materials einer vernünftigen Interpretation zuzuführen (vgl. Kapitel 10.2.2.3).

Dort, wo die Funde innerhalb eines extensiven oder intensiven Rasters aufgenommen wurden, lassen sich verhältnismäßig einfach Dichtekarten – meist im Rahmen eines GIS – erzeugen. In den Fällen, wo die Sichtbarkeit anhand einer Skala bewertet wurde, wird diese Information dazu genutzt, die absolute Anzahl der in chronologische Phasen und qualitative Gruppen klassifizierten Artefakte gemäß der Sichtbarkeit zu standardisieren (GAFFNEY et al. 1991, 64; BINTLIFF 1985, 210; DONEUS 2002, 34; SCHARRER-LIŠKA 2004).

Die Dichte selbst wird meist entweder durch eine symbolhafte Darstellung in Form von Kreisen mit je nach dargestellter Fundanzahl unterschiedlich großem Durchmesser oder in Form interpolierter Dichtekarten realisiert (Abb.

39). Dabei kann die Wahl für die eine oder andere Art der Darstellung sinnvollerweise auch anhand der Menge der zu kartierenden Funde je Klasse erfolgen (DONEUS 2002, 34). Für die Interpolation gibt es unterschiedlichste Techniken. Manchmal wird eine Oberflächentrendanalyse (*trend surface analysis*) durchgeführt. Diese Technik bietet sich deshalb an, weil sie die räumliche Verbreitung einer einzelnen Variablen (etwa Anzahl der Artefakte einer bestimmten Zeitstufe) trotz Hintergrundrauschen durch die zahlreichen beeinflussenden Faktoren (Verlagerung, Auffindung etc.) interpoliert anzeigen und auf diese Weise Fundkonzentrationen besser erkennbar machen kann (WHEATLEY, GILLINGS 2002, 200; HODDER, ORTON 1976, 155; O'SULLIVAN, UNWIN 2003, 256; TERRENATO 2000).

Die Interpretation dieser Kartierungen erfolgt in der Regel visuell, oft unter Verwendung eines GIS. Es geht dabei, wie bereits eingangs erwähnt, um das Erkennen von Aktivitätszonen und der Darstellung von zeitlicher Tiefe innerhalb der Begehungsflächen. Dazu sei zum Beispiel die Begehung der Stadt Tanagra innerhalb des Böötien Survey Projektes erwähnt (BINTLIFF, SLAPŠAK 2010). Die Dichtemuster der Oberflächentrendanalyse werden dabei bisweilen über Modelle, anhand der diese Muster erklärt werden können, interpretiert (z. B. HAYES 1991), wobei es sowohl bei der Definition und Abgrenzung von Fundstellen sowie bei der Deutung großflächiger Fundstreuungen geringer Intensität erhebliche Meinungsverschiedenheiten gibt.

10.2.2 Methodische Probleme der Feldbegehung

Im Rahmen der Landschaftsarchäologie soll die archäologische Prospektion die großräumige und großflächige Auffindung, Kartierung sowie die chronologische Bestimmung und funktionale Interpretation der materiellen Hinterlassenschaft und ihrer Umwelt bewerkstelligen. Inwieweit die Feldbegehung dieser Forderung nachkommen kann, und welchen Wert sie für die Landschaftsarchäologie besitzt, soll zunächst anhand der drei Eckpunkte: Rate und Zuverlässigkeit der Auffindung, Potenzial für eine großräumige Erfassung sowie Aussagemöglichkeiten der Interpretation erörtert werden. Die folgenden Ausführungen gelten speziell für den mitteleuropäischen Raum.

10.2.2.1 Rate und Zuverlässigkeit der Auffindung

In der bisherigen Diskussion wurden bereits zahlreiche Aspekte erwähnt, welche sich direkt oder indirekt auf die Auffindung oberflächlicher Funde auswirken. Im Folgenden sollen jene Faktoren angeführt werden, welche eine wichtige Rolle bei der Auffindung und Interpretation von Oberflächenbegehungen spielen (siehe auch SCHIFFER et al. 1978; NEUSTUPNÝ 1998c, 53; BANNING 2002, 39 ff.):

Entstehen und Dynamik einer Artefaktverteilung. Diese wurden bereits weiter oben ausführlich diskutiert (vgl. Kapitel 9). In diesem Zusammenhang scheint es wichtig zu betonen, dass es in einer Oberflächenbegehung praktisch kein Artefakt gibt, welches nach seiner Ablagerung nicht von einem oder mehreren Effekten dynamischen Wandels (v. a. Verlagerung, Erosion) betroffen ist. Hauptsächlich sind es wohl Verwitterung sowie horizontale und vertikale Verlagerung, die seit der Ablagerung der Funde wiederholt stattgefunden haben.

Eine Dokumentation der geomorphologischen Situation (Mächtigkeit eines vorhandenen Kolluviums, alluviale Bedeckung, Grad der Erosion etc.), der Bodenart sowie der Bodennutzung hilft zwar bei der Abschätzung des Ausmaßes von Verlagerung, Zerstörung, Sortierung etc. Sie kann uns jedoch keine Auskunft darüber geben, was sich in welcher Qualität und Quantität nicht überliefert hat. Der Umstand, dass etwa keine Knochen gefunden werden, kann mit dem zerstörenden, kalkarmen Bodenmilieu zusammenhängen – es kann aber auch eine funktionale Qualität der Aktivitätszone sein. Man läuft daher Gefahr, Zirkelschlüsse zu produzieren, welche letztendlich die Aussage der Begehung beliebig machen.

Rate der überlieferten Funde. Die Geomorphologie kann auch chronologische Verzerrungen im Fundmaterial bewirken, etwa wenn durch prähistorische Erosions- und Akkumulationsprozesse zu diesem Zeitpunkt bereits abgelagertes Material zerstört oder bedeckt wurde (TERRENATO 2004, 44). Zudem wirkten sich die Prozesse der Verwitterung auf ältere Artefakte entsprechend länger aus. Es besteht also ein anzunehmender großer Unterschied zwischen der ursprünglichen Fundanzahl in der lebenden Kultur (*parent population*) und dem, was im Pflughorizont vorhanden ist (HASELGROVE 1985, 9). Um die Sachlage noch komplizierter zu machen, sind Produktionsrate, abgelagerter Prozentsatz sowie Qualität und somit Haltbarkeit der Funde im Boden kulturell höchst unterschiedlich, was dazu führt, dass die Rate an Funden, welche sich bis heute überliefert hat, chronologisch und kulturell bedingt höchst unterschiedlich ist.

Darüber hinaus wird nur ein Bruchteil der prinzipiell im Ap-Horizont vorhandenen Funde an der Oberfläche sichtbar: „Only a tiny proportion of the artifacts is actually exposed and visible on the surface, and thus collectable, at any one time – often as little as 2%“ (HASELGROVE 1985, 8). Von diesem wird wiederum in Abhängigkeit von Intensität der Begehung und anderer Faktoren nur ein Teil auch tatsächlich gefunden.

Zahlreiche Beispiele im Rahmen des Böötien-Surveys belegten, dass vor allem prähistorische Keramik zum Teil

nur spärlich vorhanden war und sich unter größeren Mengen jüngerer Materials verbarg. Viele Fundstellen wären allein aufgrund der Dichte ihrer Fundverbreitung wohl nicht gefunden worden (BINTLIFF 2000b, 206; BINTLIFF 2011).

Die Bodennutzung. Ackerbau, Tiefe und Art des Pflügens, Weideland, Wald oder verbautes Gebiet etc. wirken sich höchst unterschiedlich auf die Sichtbarkeit der oberflächlich liegenden Funde aus. Sichtbarkeitsfaktoren sind eine Möglichkeit der Korrektur, sind aber nicht unumstritten.

Stefano Campana und Ricardo Francovich konnten in der südlichen Toskana ein beunruhigendes Phänomen feststellen (CAMPANA, FRANCOVICH 2007, 250): Bei den intensiven Begehungen auf bekannten Fundstellen geht die Menge an aufgefundenen Artefakten in den letzten Jahren dramatisch zurück. Der Grund dafür ist nicht bekannt. Campana vermutet jedoch, dass der Grad an Zerstörung in großen Gebieten bereits zu weit fortgeschritten ist, oder, was wahrscheinlicher erscheint, dass aufgrund diverser Maßnahmen der letzten Jahre die Eindringtiefe der Pflüge verringert wurde und somit keine neuen Funde mehr dem Pflughorizont zugeführt werden. In diesem Fall wäre dies zwar gut für die Erhaltung der Fundstellen, würde aber ein methodologisches Problem bei der Anwendung systematischer Begehungen mit sich bringen.

Eventuell erfolgter Humustransfer zur Bodenverbesserung. Dieses Problem wurde bereits ausführlich behandelt (vgl. S. 132). Es ist ein kaum beachtetes, aber dennoch extrem besorgniserregendes Phänomen, welches letztendlich ein Begehungsprojekt ad absurdum führen kann.

Tiefe der Lage von Funden / selektive Aktivitäten. Bei Begehungen, egal ob intensiv, extensiv oder unsystematisch, können bestimmte Zonen menschlicher Aktivität nicht oder nur in geringem Ausmaß gefunden werden. Gräberfelder bleiben zum Beispiel bei Begehungen dann unentdeckt, wenn die Grabgruben noch unter dem Pflughorizont eingetieft sind. Ein kurzer Blick in publizierte siedlungs- und landschaftsarchäologische Arbeiten bestätigt dies: Abgesehen davon, dass manche Autoren nicht zwischen Siedlung, Bestattung oder anderen Kategorien unterscheiden und nur von Fundstellen sprechen (z. B.: GILLINGS 1995; WESSEL, WOHLFARTH 2003) und andere nur mit Siedlungen arbeiten (z. B.: POSLUSCHNY 2001; OSTRITZ 1991), zeigen so gut wie alle Publikationen ein krasses Missverhältnis zwischen Siedlungen und Bestattungen.

Thomas Saile hatte für die Wetterau vor allem Daten aus Feldbegehungen zur Verfügung. Etwa die Hälfte der Fundstellen waren Siedlungen (Anzahl: 938) und ein Viertel Bestattungen. Dazu muss man aber bedenken, dass von den 474 Gräberfeldern etwa 200 Grabhügelfelder noch im Ge-

länderelief sichtbar waren und 14 aus Luftbildern stammen. Übrig bleiben 260 Bestattungsplätze, von denen nur etwa ein Drittel (86 Fundstellen oder 4,5 %) durch Begehungen entdeckt worden sein dürfte (SAILE 1998, 58 f., 82), wenn man die Fundumstände aller Fundstellen in Betracht zieht (SAILE 1998, 46 – leider sind die Fundumstände nicht auf Fundstellenkategorien aufgeschlüsselt).

Im südlichen Maindreieck zeigen sich recht ähnliche Verhältnisse: 770 Siedlungen (etwas mehr als die Hälfte aller Fundstellen) stehen 253 Bestattungsplätze gegenüber, wobei 148 davon im Relief erhalten waren oder aus Luftbildern heraus erkannt wurden (SCHIER 1990, 75). Dies bedeutet, dass voraussichtlich nur 42 oder 3 % aller Fundstellen Bestattungsplätze darstellen, welche durch Oberflächenbegehungen gefunden wurden.

Małgorzata Pietrzak konnte aufgrund eines Surveys in Südpolen insgesamt über 700 Siedlungen bzw. Spuren von Siedlungen gegenüber 5 Bestattungsplätzen feststellen (PIETRZAK 2004, 72), und auch Martin Kuna und D. Adelsbergerová konstatieren, dass bei ihren Begehungen in erster Linie Siedlungen und kaum Bestattungsplätze (wenn, dann stammen diese von früheren Grabungen) entdeckt werden konnten (KUNA, ADELSBERGEROVÁ 1995, 119). Die Liste ließe sich beliebig erweitern.

Intensität der Feldbegehung. Die Intensität der Begehung hat sicherlich den größten Einfluss darauf, wie viel des potenziell oberflächlich sichtbaren Materials auch tatsächlich gefunden wird. Experimente mit vergrabenen Silexabschlägen und Geröllen ergaben, dass im Schnitt etwa 3,6 % der im Ap-Horizont enthaltenen Geräte an der Oberfläche lagen und gefunden wurden. R.H. Clark und A.J. Schofield nahmen dies als Ausgangspunkt für ein Gedankenexperiment (CLARK, SCHOFIELD 1991, 102): Aufgrund von Ausgrabungen, bei der die Gesamtzahl der Steingeräte erfasst wurde und ihrer experimentellen Ergebnisse, kamen sie zu dem Schluss, dass von einer Fundstelle mit 452 Artefakten bei einer Begehung mit 15 m Bahnabstand nur etwa 0-3 Abschlüge gefunden würden. Selbst die Fundstelle „Black Patch“ mit ihren etwa 12.000 Artefakten (1 % davon Werkzeuge) würde bei einer solchen Begehung zwischen 7 und 83 Abschlüge und ein einziges Werkzeug ergeben und somit wahrscheinlich kaum als Fundstelle angesprochen werden (CLARK, SCHOFIELD 1991, 102).

John Bintliff drückt es deutlich aus: „... when we turn to the recognition of activity foci – there is no doubt that intervals greater than 5 m produce information loss“ (BINTLIFF 2000b, 203). Dennoch konnten trotz einer extrem dichten Begehungstaktik im Bötien-Survey nur etwa 57 % jener Fundstellen entdeckt werden, deren Vorhandensein aus literarischen Quellen gesichert erscheint (TERRENATO 2004, 44).

Wiederholungsrate der Begehung. Die an der Oberfläche liegenden Funde sind beweglich und verändern ihre Lage mit der Zeit. Zudem beeinflussen zahlreiche Faktoren deren Vorhandensein und Sichtbarkeit. Tests mit wiederholten Begehungen zeigten, dass sich die Ergebnisse in der Regel nicht gleichen (TERRENATO 2004, 37; BINTLIFF 2000b, 204). Dies bedeutet, dass ganze Fundstellen von einer zur anderen Begehung nicht und dann wieder anhand vieler Artefakte zu erkennen waren. Eine ähnliche Beobachtung konnte von uns in einem Projekt gemacht werden, wo über 300 aus Luftbildern entdeckte Fundstellen begangen wurden (DONEUS et al. 2007). An einigen Plätzen konnte erst nach der zweiten Begehung Fundmaterial entdeckt werden. Manche Fundstellen erbrachten erst beim dritten Mal Artefakte (dann aber ergiebige Mengen). Wären diese Bereiche nicht aufgrund der Luftbildinformation bereits als Fundstellen bekannt gewesen, wären diese Plätze wohl nicht wiederholt begangen worden und wären somit unbekannt.

Ähnliches berichtet J. Bintliff aus dem Bötien-Survey (BINTLIFF 2000b, 206; 2011): In Palaeokarandas, einem bronzezeitlichen Dorf, welches ursprünglich durch eine Fülle von Material lokalisiert wurde, konnten bei einer wiederholten Begehung nur wenige Scherben gefunden werden, die wohl eher die Interpretation eines Gehöftes zugelassen hätten. Begehungen müssen daher – wenn sie eine systematische Erfassung aller erkennbaren Aktivitäten in einem Gebiet zum Ziel haben – mehrfach durchgeführt werden. Dies ist jedoch aus ressourcenbedingten Gründen praktisch unmöglich.

Die Möglichkeit einer kulturellen Zuordnung der Funde. Metallfunde – und hier vor allem jene aus Buntmetall – können oft chronologisch gut eingeordnet werden. Die Datierbarkeit des keramischen Inventars variiert hingegen stark zwischen den einzelnen Kulturstufen. Dies liegt zum Teil in der unterschiedlichen Herstellung der Keramik und somit ihrer Qualität, die sich auf die Erhaltung datierender Details an der Oberfläche auswirkt. Zudem hängt es auch davon ab, wie viel Keramik produziert wurde, wie viel davon tatsächlich abgelagert wurde und wie „verzierungsfreudig“ die TöpferInnen in den unterschiedlichen Zeiten waren. In diesem Sinn bemerkt Elke Heege, dass es in der Hildesheimer Börde zu Verzerrungen bei der Anzahl sicher datierter linearbandkeramischer Fundstellen und jenen des Mittel- und Spätneolithikums komme, weil die Keramik letzterer Zeitstufen sich anscheinend nicht so gut erhalte (HEEGE 1989, 64).

Die meisten in einer Begehung gefundenen Scherben sind jedenfalls verhältnismäßig uncharakteristische Stücke, welche sich bisweilen aufgrund von Ton und Machart einer Kultur zuordnen lassen. So waren bei dem zuvor erwähn-

ten Projekt entlang der Leitha (DONEUS et al. 2007) manche Zeitstufen, wie das Frühneolithikum oder die Spätbronzezeit gut zu datieren, während es für den Zeitraum von der frühesten zur mittleren Bronzezeit schwerfiel, gesicherte Datierungen anhand der Grobkeramik vorzunehmen. Somit können verschiedene Zeitstufen über- bzw. unterrepräsentiert sein.

Auf ein weiteres Problem verweist T. Banning (BANNING 2002, 204): Wenn an einer Stelle keine Funde einer Zeitstufe gefunden werden, bedeutet dies nicht zwingend, dass diese Zeitstufe dort nicht vorhanden ist.

Der Kontrast zwischen Artefakten und Farbe bzw. Textur des Bodens. Dieser Kontrast ist als Teilaspekt von Schiffers *Obtrusiveness* (SCHIFFER et al. 1978, 6) ausschlaggebend für die Sichtbarkeit der Funde und wirkt sich im Wechselspiel mit der Begabung der Teilnehmer direkt auf die Entdeckungsrate aus. Problematisch ist, dass sich dieser Kontrast selbst innerhalb eines Feldes ändern kann und dass es auch hier zu einer Selektion der Artefakte kommt, bei der etwa Scherben mit einer anderen Farbgebung im aufgesammelten Material überrepräsentiert sein können.

Motivation, Begabung, Aufmerksamkeit und Vorwissen der TeilnehmerInnen. Dies ist ein wichtiger Punkt, welcher die Entdeckungsrate beeinflusst (BANNING 2002, 65 f.). Für gewöhnlich muss man davon ausgehen, dass die Teilnehmer alle aufmerksam und motiviert sind.

Zeitpunkt der Begehung. Wetter, Lichtverhältnisse und Zustand des Feldes sind ebenfalls wichtig für die Erkennungsrate von Funden. Einerseits kann man versuchen, den idealen Zeitpunkt zu wählen. Andererseits gibt es diesen nicht für ein gesamtes Gebiet – ein idealer Zeitpunkt existiert nur für die einzelnen Felder, was vor allem in Regionen mit sehr kleinteiliger Parzellierung problematisch ist. Hier müssen Kompromisse gefunden und eventuelle Verzerrungen der Auffindungsrate anhand von Sichtbarkeitskriterien gefiltert werden.

10.2.2.2 Potenzial für eine großräumige Erfassung

Entgegen der oft geäußerten Meinung sind Begehungsprojekte – wenn sie nicht mit freiwilligen Teilnehmern durchgeführt werden – extrem kostenintensiv. Elizabeth Fentress führt hierzu etliche Beispiele an (FENTRESS 2000, 44). Je dichter die Bahnen einer systematischen Begehung aneinander liegen, desto mehr Funde und desto mehr Aktivitätszonen werden gefunden – das Verhältnis ist direkt proportional. Eine ähnliche Aussage lässt sich jedoch auch in Bezug auf die begangene Gesamtfläche sagen: je intensiver die Begehung desto größer wird der Aufwand, eine gleich große Fläche zu erfassen (TERRENATO 2004, 38).

Über große Räume mit mehreren Hundert Quadratkilometern sind solche Projekte nicht oder nur sehr langfristig realisierbar. Das Bööten Projekt von John Bintliff und Anthony Snodgrass, ein Meilenstein in der Geschichte der systematischen archäologischen Feldbegehung, konnte zwischen 1978 und 1991 eine Fläche von etwa 50 Quadratkilometer erkunden (BINTLIFF, SNODGRASS 1988; BINTLIFF 2002, 2000b; BINTLIFF et al. 2010). Das Potenzial für eine großräumige, systematische, intensive Erfassung eines Gebietes durch Oberflächenaufsammlungen muss daher, wenn man nur begrenzte zeitliche und finanzielle Ressourcen hat (und dies dürfte wohl eher die Regel denn die Ausnahme sein), als ernüchternd gering beurteilt werden.

10.2.2.3 Aussagemöglichkeiten der Interpretation

Je nach Aktivitäten innerhalb eines kleineren Gebietes kann die im Boden vorhandene materielle Hinterlassenschaft äußerst komplex sein. Das durch eine Begehung entdeckte und kartierte Fundmuster steht dem in nichts nach. Es besteht aus einer Vermischung komplexer, sich überlagernder und praktisch unentwirrbarer Aktivitätsmuster.

Deshalb verwundert es nicht, wenn bereits seit mehreren Jahrzehnten zum Teil heftig geführte Dispute zu verschiedenen Problemen der Interpretation stattfinden, die auch in der Literatur ihren Niederschlag finden. Drei Themen haben sich dabei herauskristallisiert: die Definition und räumliche Abgrenzung von Fundstellen beziehungsweise Aktivitätszonen, die funktionelle Ansprache dieser sowie die Frage nach der Interpretation sogenannter Off-Site-Funde.

Definition von Fundstellen / Aktivitätszonen

Gleich vorweg sollte an dieser Stelle betont werden, dass – auch wenn es nicht explizit genannt wird – die meisten Autoren unter einer Fundstelle in erster Linie eine Siedlung verstehen. Ein Grund dafür scheint zu sein, dass die Methodik der Begehungen im Rahmen der *settlement archaeology* Nordamerikas entwickelt wurde und somit die Siedlung als die grundlegende Einheit für Analysen angesehen wurde (NOVAKOVIĆ 1996, 38).

David Mattingly zeigt zwei prinzipielle Strategien der Erkennung von Fundstellen (MATTINGLY 2000, 6): eine Klassifizierung anhand der visuellen Einschätzung von Fundverteilungen vor Ort während der Begehung selbst oder anhand bestimmter Kriterien während der Analyse der Ergebnisse. In beiden Fällen ist bei den meisten Projekten die unterschiedliche Dichte der Artefaktverteilung Hauptkriterium der Fundstellendefinition.

Es gibt eine Unzahl von Publikationen, in denen die Definition von Fundstellen aufgrund der Artefaktdichte vorgenommen wird. Dabei werden die unterschiedlichsten

Zahlen und Berechnungen verwendet. Einige Beispiele dafür sind bei A. J. Schofield erwähnt, zum Beispiel (SCHOFIELD 1991a, 3 f.): zwei oder mehr Artefakte in unmittelbarer Nähe; eine isolierte Ansammlung von mindestens fünf Artefakten. Michael B. Schiffer et al. beschreiben eine Fundstelle als „a high density area of artefacts“, und etwas später betonen sie: „The occurrences of artefacts in a study area customarily are thought to cluster in natural observation units called ‚sites‘“ (SCHIFFER et al. 1978, 2, 14). Ähnlich argumentieren Stephen Plog et al.: „a discrete and potentially interpretable locus of material. By discrete we mean spatially bounded with those boundaries marked by at least relative changes in artefact densities“ (PLOG et al. 1978, 389).

Die Definition einer Fundstelle ist also in vielen Fällen nur eine subjektive Abgrenzung zwischen lokaler Dichte und „Hintergrundrauschen“ (SCHOFIELD 1991b, 117). Dies wäre Schofields Meinung nach nicht weiter problematisch, ist aber in Abhängigkeit von regionaler Gegebenheit und persönlichem Vorurteil kein eindeutiges Kriterium. Was für einen Archäologen eine Fundstelle ist, interpretiert ein anderer als Hintergrundrauschen. Deshalb schlägt Schofield vor, ohne Fundstellen zu arbeiten und die Menge der Artefakte zu standardisieren, etwa durch Flächeneinheit oder als Prozentsatz der Gesamtmenge. Martin Millett (MILLETT 1991, 23) spricht von ADABS (*abnormal density above background scatter*) und berechnet die Fundstellen anhand einer statistischen Formel, wodurch in extrem keramikarmen Gebieten oder Perioden praktisch jedes Artefakt zur Fundstelle mutiert (FENTRESS 2000, 48).

Aus diesem Grund betont E. Fentress, dass die Artefaktdichte wohl kaum einziges Kriterium für die Definition von Fundstellen sein kann – wichtig sei es, auch auf qualitative Zusammensetzungen der Funde, etwa auf Knochen, Holzkohle oder Baumaterial (Ziegel, Hüttenlehm, Mörtel) zu achten, wobei auch sie in erster Linie von Siedlungen zu sprechen scheint (FENTRESS 2000, 48). Auch für Colin Haselgrove stand bereits 1985 fest, dass man Konzentrationen von Funden nicht von sich heraus als Fundstellen bezeichnen sollte:

„... even when it can be established that a concentration represents a genuine departure from background distributional trends, the resultant construct is of very dubious interpretative value. Many factors can generate apparent clustering, often completely unrelated to the past activities which interest us“ (HASELGROVE 1985, 9).

Dies bemerkt auch Martin Kuna, wenn er betont, dass dieses Konzept von Fundstellen zu einer Verzerrung der Aussage von Oberflächenbegehungen führt: Resultat sei in solchen Fällen eine ungenügende Repräsentation von Aktivitätszonen mit geringem oder untypischem Artefaktniederschlag (KUNA 1998a, 77). Werden Fundstellen allein aus

der Verteilung der Scherbendichte „generiert“, muss man mit fehlerhaften Resultaten und tendenziösen Analysen rechnen (vgl. BINTLIFF 2000b, 206 f.). Zu ähnlichen Schlüssen kommt A.J. Schofield, wenn er betont: „... relative changes in artefact density ... as the most appropriate measure of „site“ versus „background noise“, are insufficient“ (SCHOFIELD 1991a, 5). Die Scherbendichte kann, wie auch weiter oben beschrieben, unterschiedliche Gründe haben: gute Sichtbarkeit, große und/oder lange Produktion, unterschiedliche Erhaltung etc. (siehe auch: NEUSTUPNÝ 1998c, 48), und ist daher kein Argument für die Abgrenzung einer Fundstelle. Die Frage nach der Definition einer Fundstelle wird projektspezifisch vorgenommen.

Off-Site und Non-Site

Die Problematik der Abgrenzung von Fundstellen, welche bereits früh erkannt worden war (THOMAS 1975), führte in Zusammenhang mit großflächigen systematischen Begehungen zur Entwicklung der Off-Site- oder Non-Site-Strategie (DUNNELL, DANCEY 1983; DUNNELL 1988; BINTLIFF, SNODGRASS 1988; BINTLIFF 2000b), deren Sinnhaftigkeit bis heute zum Teil bestritten wird (z. B. FENTRESS 2000; TERRENATO 2004).

Ausgangspunkt für die Idee des *non-site* oder *siteless surveys* war die Erkenntnis, dass die Interpretation von Fundanhäufungen als Fundstellen kein objektives Kriterium sein kann: „... distinguishing a site and setting its boundaries is an archaeological decision“ (DUNNELL, DANCEY 1983, 271). Nützlicher, da weniger befangen, sei es, nach Meinung von Robert C. Dunnell und William S. Dacey, die materielle Hinterlassenschaft anstelle der Fundstelle als Einheit der Analyse zu nehmen. Diese stellen sie sich als kontinuierlich in unterschiedlicher Häufigkeit über die Landschaft verstreut vor:

“the archaeological record is most usefully conceived as a more or less continuous distribution of artifacts over the land surface with highly variable density characteristics“ (DUNNELL und DANCEY 1983, 272).

Siteless oder *non-site* bedeutet nicht, dass es keine Fundstellen gäbe, sondern drückt eine Kritik am fundstellenbasierten Arbeiten aus. Objekt eines Feldbegehungsprojektes sollte daher das einzelne Artefakt und nicht die Fundstelle sein: Indem bei einer Begehung die einzelnen Funde kartiert (oder in verhältnismäßig kleinen Rastereinheiten zusammengefasst) werden, bekommt man eine Karte ihrer Verteilung. In dieser kann man Cluster definieren und deren funktionale Interpretation aufgrund ihrer Zusammenstellung im Vergleich zum „Hintergrundrauschen“ vornehmen (DUNNELL, DANCEY 1983, 273 f.). Auf diese Weise werden „*acquisition loci*“, „*acquisition loci combining with process-*

ing and/or domestic loci“ und „*non-subsistence related loci*“ unterschieden (DUNNELL, DANCEY 1983, 275, Figure 7.2).

Prinzipiell schaffte man es durch Non-Site-Strategien zwar, von der Gleichsetzung zwischen Artefaktkonzentration = Fundstelle = Siedlung zu überwinden, die Frage nach der funktionalen Interpretation war damit aber nicht gelöst. Für die funktionale Interpretation des Hintergrundrauschens und der off-site Funde gibt es bis heute unterschiedliche Meinungen. Die wohl gängigste Interpretation sieht die über eine Landschaft verstreuten Funde als Ergebnis des Düngens. J. Bintliff und A. Snodgrass konnten im Böötien Projekt des Öfteren eine Zone um Siedlungen beobachten, welche eine geringere Funddichte aufweist, aber größer als das Hintergrundrauschen ist (BINTLIFF, SNODGRASS 1988, 507 f.). Nachdem sie unterschiedliche Interpretationsmodelle ausschließen konnten (zufälliges Verlieren, Verlagerung, Aktivitäten mit Verlust der Artefakte bzw. Abfallanhäufung), schien ihnen die Düngung mit tierischen Exkrementen und Hausmüll als sinnvollste Deutung dieses Sachverhaltes.

Susan Alcock et al. negieren die Möglichkeit der Düngung nicht prinzipiell (vor allem in extrem intensiv kultiviertem Areal) betonen jedoch, dass es gefährlich und falsch sei, aufgrund dieser Streuungen auf eine ehemalige Größe vorhandenen Ackerlandes zu schließen:

„The area which received artefacts via manuring is likely to be only a sub-set of the total manured area, and the latter in turn only a sub-set of the exploited arable area; so the evidence of manuring scatters cannot stand as a direct measurement of the areas cultivated at different times“ (ALCOCK et al. 1994, 166).

Außerdem bestehe die Gefahr einer Überinterpretation: Wenn die Annahme der Düngung richtig ist, so muss man konsequenterweise auch damit rechnen, dass mit dem Hausmüll auch ältere Artefakte auf die Felder gelangen konnten, deren Verbreitung in der Folge ähnliche Muster ergeben müsste. Diese seien somit lagemäßig transformiert, hätten ihrerseits jedoch nichts mit Düngung zu tun, könnten jedoch fälschlicherweise dahingehend interpretiert werden (ALCOCK et al. 1994, 167).

E. Fentress bemerkt zudem, dass es in Italien Befunde gäbe, nach denen es zum Beispiel in der römischen Villa von Settefinestre in der Nähe der Gärten eigene Düngegruben gab, in denen sich keine Scherben befanden (FENTRESS 2000, 46). Als andere Möglichkeiten der Interpretation werden Verlust, Kaputtgehen während der Benutzung außerhalb der Ansiedlung, Artefakte von temporären Gebäuden (etwa Ställe, Werkzeugschuppen), Geräteherzeugung, Speicherung, Rituale oder Abfallbeseitigung (Müllplätze) erwähnt (FENTRESS 2000, 47; BINTLIFF, SNODGRASS 1988, 507 f.). Nur

eine funktionale und qualitative Analyse der Funde (z. B. das Verhältnis Ziegel zu Keramik) ließe eine Ansprache von Aktivitätszonen zu und könnte somit helfen Off-Site-Funde zu erklären (FENTRESS 2000, 47).

Funktionale Analyse

Sobald Fundstellen aufgrund von Fundkonzentrationen erkannt wurden, stellt sich die Frage nach der Deutung ihrer Funktion ein. Prinzipiell liefern die Zusammensetzung einer Fundkonzentration in Bezug auf deren funktionale Kategorien und auf deren qualitative Eigenschaften (grobe / feine Ware) sowie Bearbeitungs- und Gebrauchsspuren auf den Funden selbst wichtige Indizien für eine Funktionszuweisung (HASELGROVE et al. 1985, 17). In manchen Fällen kann eine Zuweisung aufgrund bestimmter Funde (z. B. Schlacke, verbrannte Menschenknochen) verhältnismäßig unproblematisch erfolgen. Sofern diese jedoch nicht gefunden wurden, kann man versuchen, mittels anderer Methoden zu begründeten Annahmen zu kommen (ORTON 2000, 44 ff.): Eine Möglichkeit ist ein Vergleich der Fundzusammensetzung von unterschiedlichen Fundkonzentrationen um mit statistischen Methoden eine Klassifizierung zu erhalten, die im Idealfall funktional interpretiert werden kann. Allerdings kann das aufgesammelte Material maximal als repräsentative Stichprobe dessen gesehen werden, was sich im Pflughorizont erhalten hat.

Entgegen früherer optimistischer Annahmen zeichnet sich daher in der wissenschaftlichen Diskussion immer häufiger ab, dass ein quantitativer Vergleich von unterschiedlichen Begehungen offenbar nicht möglich ist. Selbst der Vergleich zwischen Fundkonzentrationen innerhalb ein und desselben Feldbegehungsprojektes ist nicht immer einfach (GIVEN 2004, 19; BINTLIFF 2000b, 213). Zumindest wenn die äußeren Gegebenheiten des Gebietes vergleichbar sind, lässt sich die Zusammensetzung der Fundkonzentrationen untereinander statistisch vergleichen:

„Although the sampling rates for different assemblages may differ, and the rates for different categories within them may differ, we might be prepared to assume that the relative rates between categories within assemblages remain more-or-less the same (we would have to check that there were no gross differences in circumstances ...)” (ORTON 2000, 66).

So wurde zum Beispiel im Ager Tarraconensis-Survey die Quantität unterschiedlicher Keramiktypen auf jeder Fundstelle über die im gesamten begangenen Bereich aufgesammelten Scherben dieses Typs standardisiert (MILLET 2000, 57).

Die tschechische Archäologie versucht, ihre komplex gesammelten, systematischen Begehungsprojekte unter Verwendung der Hauptkomponentenanalyse (*principal*

component analysis) mit Varimax Rotation zu interpretieren (DRESLEROVÁ 1998; NEUSTUPNÝ, VENCLOVÁ 1998). Martin Kuna konnte damit zum Beispiel statistisch belegen, dass es in diesem Raum einen signifikanten räumlichen Bezug zwischen allen Kulturen der Bronzezeit und allen Perioden der Eisenzeit gibt. Er sieht dies als Argument für eine Kontinuität von Siedlungsbereichen und damit eine Bestätigung des Konzepts der Gemeinschaftsräume (KUNA 1998b, 111).

Die Analyse eines Begehungsprojektes in der Loděnice Region zeigte, dass mithilfe der Hauptkomponentenanalyse anhand qualitativer Variablen (v. a. Schlacke, und Saproplit) auch eine funktionale Differenzierung des Gebietes in Wohnbereiche, Gewinnung und Verarbeitung von Saproplit sowie Eisenproduktion möglich ist (NEUSTUPNÝ, VENCLOVÁ 1998, 99).

10.2.3 Fazit

Bis heute stützen sich vor allem im deutschsprachigen Raum die meisten Arbeiten aus Siedlungs- und Landschaftsarchäologie auf Quellen, welche in mehr oder weniger systematischen Feldbegehungen entdeckt wurden. Obwohl die Feldbegehung als älteste Prospektionsmethode in praktisch allen Teilen der Welt bereits eine lange Tradition hat und die prinzipiellen Techniken des Surveys heute bereits etabliert sind, gibt es überraschender Weise zahlreiche Missverständnisse und falsche Vorstellungen über Möglichkeiten und Aussagekraft der Ergebnisse. Zudem werden oft zahlreiche Problemkreise, die für eine erfolgreiche Anwendung wichtig sind, ignoriert (vgl. BANNING 2002, 10).

Entgegen der häufig vorgebrachten Meinung sind auch die im Pflughorizont und an der Oberfläche liegenden Funde stratifiziert. Die Diskussionen um die Abgrenzung von Fundstellen und die Site-/Off-Site-Frage gehen am eigentlichen Problem vorbei: Jeder Fund ist, wie weiter oben diskutiert (vgl. S. 124), zumindest in eine minimale Stratifikation eingebettet und hat deshalb eine Bedeutung. Einzelte Funde können nicht statistisch wegdiskutiert werden. Ihr Vorhandensein muss erklärt werden. Dies ist jedoch in den meisten Fällen anhand von Begehungsdaten allein nicht möglich. Dazu bedarf es weiterer Untersuchungen, zum Beispiel durch zusätzliche Prospektionsmethoden. Es verwundert, dass dieser Umstand kaum Erwähnung findet.

Trotz aller Kritik sei zum Abschluss festgestellt, dass Feldbegehungen eine wichtige Funktion im Rahmen von Siedlungs-, Umwelt- und Landschaftsarchäologie haben. Nur durch sie lassen sich archäologische Hinterlassenschaften datieren. Dies haben nicht zuletzt die großflächigen und systematischen Surveys im Bööten-Projekt deutlich aufgezeigt (zuletzt BINTLIFF et al. 2010). Dennoch wirft eine

Feldbegehung für sich allein gesehen mehr methodische Fragen auf, als sie lösen kann. Es bedarf daher einer Ergänzung durch andere Untersuchungsmethoden (siehe auch GAFFNEY 2000, 41).

10.3 Methoden der Fernerkundung in der archäologischen Prospektion

Eine zweite Gruppe von archäologischen Prospektionsmethoden kann unter dem Überbegriff „Fernerkundung“ (*Remote Sensing*) zusammengefasst werden. Auch wenn manche darunter subsumierten Techniken bereits älter sind, so entstand der Begriff „Fernerkundung“ erst in den 1960er Jahren im Zusammenhang mit der Luftbildinterpretation, der Entwicklung neuer Technologien der Datenerfassung (Scanner, Radar-Systeme) sowie der Raumfahrt (ALBERTZ 2007, 6), und ist somit verhältnismäßig jung.

Die Techniken der Fernerkundung erlauben es, Information über Art und Eigenschaft von entfernten Objekten durch indirekte Beobachtung berührungsfrei zu erhalten (KRAUS und SCHNEIDER 1988, 7). In der archäologischen Prospektion kommen heute einige Methoden zum Einsatz, welche sich der Prinzipien der Fernerkundung bedienen. Die wohl älteste dieser Techniken ist die Luftbildarchäologie, deren Anfänge ans Ende des 19. Jahrhunderts zurückreichen (PICCARRETA 2003, 68). In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts häuften sich multispektrale Aufnahme- und Auswertetechniken sowie satellitenbildgestützte Anwendungen in der Archäologie (zuletzt: DE LAET, LAMBERS 2009; PARCAK 2009; CAMPANA, FORTE 2001; BECK et al. 2007, die Vorträge in Session 1 in CAMPANA, FORTE 2006 oder die Artikel in Sektion I aus WISEMAN, EL-BAZ 2007; DONOGHUE 2001). Flugzeuggetragenes oder satellitengestütztes Radar (HOLCOMB, SHINGIRAY 2007; COMER, BLOM 2007; EVANS, FARR 2007) und die thermale Prospektion (z. B.: BELLERBY et al. 1990; TABBAGH 1979; SCOLLAR et al. 1990, 591–635) werden noch nicht in diesem Ausmaß angewandt. Das hyperspektrale Scanning steckt noch in den archäologischen Anfängen. Es hat gegenüber multispektralen Verfahren den Vorteil, dass die Scanner eine hohe spektrale Auflösung besitzen. Sie können die elektromagnetische Strahlung des sichtbaren Lichtes bis zum kurzwelligen Infrarot (0,4 bis 2,5 Mikrometer Wellenlänge) in einer großen Anzahl von Bändern aufzeichnen. Dadurch ergeben sich völlig neue Möglichkeiten der Analyse, in welcher gezielt jene Wellenlängen verwendet werden können, die den größten Kontrast zwischen ungestörtem Boden und archäologischen Strukturen zeigen. Archäologische Anwendungen finden sich bislang vor allem in Italien, Großbritannien und China. In den meisten Fällen werden CASI (CHALLIS et al. 2009; BARNES 2003; ROWLANDS, SARRIS 2007; AQDUS et al. 2008)

und MIVIS (ARDISSONE et al. 2003; EMMOLO et al. 2004; CAVALLI et al. 2007; KELONG et al. 2008), oder eine Kombination aus MIVIS und AISA Scannern verwendet (COREN et al. 2005; PIETRAPERTOSA et al. 2008). Bei der Analyse kommen vor allem die Hauptkomponentenanalyse und verschiedene Vegetations-Indizes zum Einsatz. Auch wenn dieser neuen Methode großes Potenzial zugebilligt wird, so ist die geringe geometrische Auflösung von zumeist 2 bis 4 Metern das momentan größte Manko, welches den archäologischen Wert der Resultate stark einschränkt. Nur vereinzelte Anwendungen konnten mit Auflösungen unter einem Meter aufwarten (z. B. COREN et al. 2005; AQDUS et al. 2008).

Eine der neuesten Methoden mit großem Potenzial für die Auffindung im Geländere relief noch erhaltener Fundstellen unter dichter Vegetation ist das flugzeuggetragene Laser-Scanning (*airborne laser scanning* – ALS; z. B. Session 4 in CAMPANA, FORTE 2006), welches weiter unten detailliert beschrieben wird. Die geophysikalischen Prospektionsmethoden gehören nicht zur Fernerkundung. Dennoch werden geophysikalische Methoden der archäologischen Prospektion des Öfteren unter der Bezeichnung (*ground-based*) Remote Sensing genannt (vgl. die Überschrift von Session 4 in CAMPANA, FORTE 2006).

Nach einigen grundlegenden Konzepten der Fernerkundung sollen im Rahmen dieser Arbeit vor allem Luftbildarchäologie und das flugzeuggetragene Laser-Scanning näher beschrieben und behandelt werden. Die anderen Methoden kommen im mitteleuropäischen Raum bislang kaum zum Einsatz und würden aufgrund der schieren Fülle an Literatur den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Für das Verständnis einiger Konzepte der Luftbildarchäologie und des flugzeuggetragenen Laser-Scannings sind einige physikalische Grundlagen der Fernerkundung von Bedeutung. Sie sollen im Folgenden kurz angesprochen werden.

10.3.1 Grundlagen der Fernerkundung

Um aus der Distanz indirekte Beobachtungen zu Art und Eigenschaften eines Objektes machen zu können, bedient sich die Fernerkundung einiger Gesetzmäßigkeiten der elektromagnetischen Strahlung. Durch die Interaktion mit dem zu untersuchenden Objekt wird die Strahlung nämlich charakteristisch beeinflusst – durch Messung mit geeigneten Sensoren und Interpretation der Daten lassen sich somit Aussagen über die beobachteten Objekte machen (ALBERTZ 2007, 1).

10.3.1.1 Die elektromagnetische Strahlung

Der in der Fernerkundung genutzte Informationsträger ist, wie bereits erwähnt, die elektromagnetische Strahlung.

Diese stellt eine der Möglichkeiten dar, wie sich Energie ausbreitet: in Form einer Verkettung elektrischer und magnetischer Felder, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen (ALBERTZ 2007, 10; KRAUS, SCHNEIDER 1988, 12 f.). Die Ausbreitung zeigt Charakteristika einer sinusförmigen Welle, welche durch die Wellenlänge (λ) beziehungsweise die Frequenz (ν) charakterisiert wird. Wellenlänge und Frequenz einer sich im Vakuum ausbreitenden Welle stehen mit der Lichtgeschwindigkeit ($c = 299.792.458$ Meter pro Sekunde) in folgender Beziehung:

$$c = \nu \cdot \lambda$$

Diese Gleichung besagt, dass nachdem die Lichtgeschwindigkeit konstant ist, die Wellenlängen direkt proportional zur Frequenz sind. Das bedeutet, je höher die Frequenz, desto kürzer die Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung. Jede Materie, welche eine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt besitzt ($-273,15^\circ$ Celsius oder 0° Kelvin), strahlt Energie in Form von elektromagnetischen Wellen ab, sie emittiert elektromagnetische Strahlung. Durch das Plancksche Strahlungsgesetz gilt vereinfacht gesagt, dass mit steigender Temperatur auch die Frequenz der elektromagnetischen Welle steigt. Somit wird auch die Wellenlänge entsprechend kürzer (dies ist eine stark vereinfachte Darstellung – vgl. LILLESAND, KIEFER 2000, 6 ff.; KRAUS, SCHNEIDER 1988, 52 ff.; ALBERTZ 2007, 12 f.).

Ein Körper mit einer bestimmten Oberflächentemperatur emittiert also ein gewisses Spektrum an Energie mit unterschiedlichen Frequenzen/Wellenlängen. Der Frequenzbereich, in welchem die Emission maximal ist, hängt von der Oberflächentemperatur ab. Die Sonne emittiert aufgrund ihrer Oberflächentemperatur von ca. 6000 K die meiste Energie im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts (500 nm oder 0,5 μm). Die Erdoberfläche besitzt ein Emissionsmaximum im Bereich bei etwas unter 10 μm (also im fernen oder thermalen Infrarot, vgl. weiter unten). Deshalb liegt für die Fernerkundung im sichtbaren Bereich des Lichtes und im nahen Infrarot ausschließlich das reflektierte Sonnenlicht, bei Beobachtungen im fernen (thermalen) Infrarot nur die Eigenstrahlung der Erdoberfläche bzw. der betrachteten Objekte vor (ALBERTZ 2007, 13).

Für die archäologische Prospektion ist dies insofern von Belang, als aufgrund von Messungen der elektromagnetischen

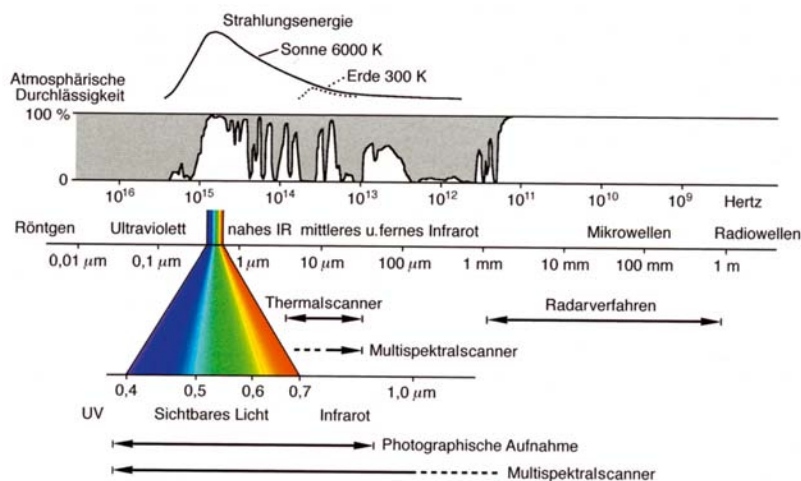


Abb. 40: Elektromagnetisches Spektrum (aus ALBERTZ 2007, 11).

schen Strahlung Temperaturen und Temperaturunterschiede von Materialien bestimmt werden können. Dies ist eine der Grundlagen thermaler Prospektion. Zudem ist der Umstand von Bedeutung, dass die elektromagnetische Strahlung je nach Energie ein breites Spektrum an unterschiedlichen Wellenlängen besitzt, wobei – vereinfacht gesagt – jede Wellenlänge unterschiedliche Eigenschaften trägt, welche in der Fernerkundung genutzt werden können.

10.3.1.2 Das elektromagnetische Spektrum

Die gesamte Bandbreite an Wellenlängen nennt man „elektromagnetisches Spektrum“. Auf Abb. 40 ist dieses als Diagramm im Bereich der Wellenlängen von einem Picometer bis zu einem Kilometer dargestellt. Aufgrund von Entstehung und Eigenschaft elektromagnetischer Strahlung unterteilt man das Spektrum in eine Reihe von Wellenlängenbereichen, wobei die Grenzen zwischen den einzelnen Abschnitten fließend sind.

Auf der Erde stammt der überwiegende Teil der natürlichen elektromagnetischen Strahlung von der Sonne. Die Erdatmosphäre kann jedoch aufgrund ihrer Zusammensetzung nicht vom gesamten Strahlungsspektrum aller Wellenlängen durchdrungen werden. Nur bestimmte Teilbereiche mit jeweils eingeschränkter Bandbreite von Wellenlängen können durch die sogenannten „atmosphärischen Fenster“ bis zur Erdoberfläche vordringen. Dies bedeutet, dass man in der Fernerkundung – abgesehen vom thermalen Infrarot, welches von Objekten auf der Erdoberfläche selbst stammt – nur mit solchen natürlichen Wellenlängen arbeiten kann, für welche die Atmosphäre durchsichtig ist. Die atmosphärischen Fenster sind im Diagramm ebenfalls eingezeichnet.

Die extrem kurzwellige Gamma- und Röntgenstrahlung findet in der archäologischen Prospektion keine Verwendung. Die Ultraviolettstrahlung ist langwelliger als die

Gammastrahlung. Der kurzwellige Bereich des ultravioletten Lichtes wird von der Erdatmosphäre absorbiert. Verantwortlich dafür ist das Ozon. Würde es bis zum Erdboden vordringen, so wäre das für die Organismen schädlich. Man unterscheidet zwischen UV-C, UV-B und UV-A Strahlung. Zwischen etwa 250 nm und 400 nm (UV-B/UV-A) Wellenlänge befindet sich der „biologisch wirksame“ Teil des ultravioletten Lichtes, der zum Teil bis auf die Erdoberfläche dringen kann und deshalb durch Sonnenschutzmittel bzw. Sonnenbrillen gefiltert wird (KRAUS, SCHNEIDER 1988, 16). In der Archäologie wird die UV-Strahlung vor allem im Rahmen von Artefaktanalysen genutzt, könnte jedoch auch in der archäologischen Prospektion von Interesse sein (VERHOEVEN, SCHMITT 2010, 840 f.).

Vom langwelligen Teil des ultravioletten Lichtes geht das elektromagnetische Spektrum in das sichtbare Licht über (vgl. auch weiter unten). Dieses nur sehr schmale Band (zwischen 400 und 700 nm Wellenlänge) des Spektrums ist der einzige Wellenlängenbereich, welchen der Mensch direkt erfassen und wahrnehmen kann. Es wird dabei vom kurz- zum langwelligen Bereich als violett – blau – grün – gelb – rot empfunden. Die Atmosphäre ist für das sichtbare Licht praktisch durchsichtig.

Die Infrarot-Strahlung befindet sich im Anschluss an das sichtbare Licht mit Wellenlängen von 700 nm bis zu 1 mm. In diesem Bereich finden sich mehrere, kleine atmosphärische Fenster, durch welche diese Strahlung an der Erdoberfläche wirksam wird. Man unterscheidet nahes (700 nm–1.3 µm), kurzwelliges (1.3–2.5 µm), mittleres (2.5–7 µm) und fernes oder thermales Infrarot (7–15 µm) (JOSEPH 2005, 26), wobei die Grenzen von Autor zu Autor variieren. Das nahe Infrarot spielt eine wichtige Rolle in der Luftbildarchäologie, da seine Messung Aussagen zur Vitalität von Pflanzen zulässt und deshalb in der Lage ist, Bewuchsmerkmale deutlich zu visualisieren. Das ferne Infrarot wird in der thermalen Prospektion verwendet, da die vom Boden emittierten Wärmestrahlen in diesem Wellenlängenbereich ihr Maximum haben.

Für die Mikrowellen (1 mm–1 m) ist die Atmosphäre weitgehend durchsichtig. Selbst Wolken können sie nicht aufhalten, weshalb dieser Wellenlängenbereich vor allem zur Luftraumüberwachung Verwendung findet. Für die Gewinnung hochauflösender Bilder wird RADAR-Technologie eingesetzt (*Radio Detection and Ranging*). Es handelt sich dabei um ein aktives Verfahren, bei dem Mikrowellen von einer Antenne ausgesandt und deren Echos gemessen werden. In der Archäologie dient flugzeug- oder satellitengetragenes Radar in erster Linie zu topografischen Analysen (EVANS, FARR 2007), Erkundung von paläohydrologischen Gegebenheiten (ADAMS 1980) und der Suche nach

archäologischen Fundstellen (COMER, BLOM 2007), die auch unter Sandbedeckung im Radarbild sichtbar werden können (HOLCOMB, SHINGIRAY 2007, 21 f.).

Die Mikrowellen werden auch in der geophysikalischen Prospektion in Verbindung mit dem Bodenradar benutzt. Dabei kommen üblicherweise Frequenzen zwischen 100 und 1.000 Megahertz zum Einsatz. Dabei gilt das oben erwähnte Prinzip: je höher die Frequenz, desto kleiner die Wellenlänge und damit die geometrische Auflösung der resultierenden Daten. Allerdings ist im hochfrequenten Bereich auch die Eindringtiefe kleiner, weshalb man je nach Fragestellung und archäologischer Struktur einen Kompromiss zwischen Auflösung und Eindringtiefe finden muss.

Am langwelligen Ende des elektromagnetischen Spektrums befinden sich die sogenannten Radiowellen (KRAUS, SCHNEIDER 1988, 18).

10.3.1.3 Interaktion von elektromagnetischer Strahlung mit einem Objekt

Die Beschaffenheit eines Materials (z. B. gasförmig, flüssig oder fest) und der Oberfläche eines Objektes (z. B. glatt oder rau) haben einen Einfluss auf die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen. Trifft elektromagnetische Strahlung auf ein Objekt, so kann sie entweder reflektiert, absorbiert oder transmittiert werden.

Bei der Reflexion wird die elektromagnetische Welle wieder zurückgeworfen. Je nach der Rauheit der Oberfläche kann diese Reflexion gerichtet oder diffus sein. Glatte Oberflächen bewirken eine gerichtete Reflexion, d. h. ein Lichtstrahl wird, bezogen auf die gedachte, im Punkt der Reflexion senkrecht zur Oberfläche stehende Linie, unter demselben Winkel reflektiert, unter welchem er eingetroffen ist (ALBERTZ 2007, 18). In Bezug auf die unterschiedlichen Wellenlängen elektromagnetischer Strahlung ist „glatt“ ein relativer Begriff. Die Glattheit einer Oberfläche definiert sich somit in Bezug auf die Wellenlänge: Während eine Schotterfläche für sichtbares Licht rau ist, erscheint sie für größere Wellenlängen (etwa Mikrowellen) glatt (KRAUS, SCHNEIDER 1988, 37 f.). Auf rauen Oberflächen wird Licht diffus, d. h. unabhängig vom Eintrittswinkel in unterschiedliche Richtungen reflektiert. Die Art der Reflexion lässt daher im Allgemeinen Rückschlüsse auf Materialeigenschaften und Beschaffenheit der Oberfläche eines Objektes zu.

Bei der Transmission bewegt sich Licht innerhalb der Materie fort. Es kommt zu einer wechselseitigen Beeinflussung, wodurch sich die Geschwindigkeit und Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle in Abhängigkeit ihrer Frequenz ändern kann (Refraktion). Bei der Absorption kommt es je nach Material und Wellenlänge nach einer bestimmten Eindringtiefe zu einer Umwandlung

der elektromagnetischen Strahlung in Wärme (KRAUS, SCHNEIDER 1988, 30 f.). Wie die Reflexion sind auch Transmission und Absorption abhängig von der Wellenlänge der Strahlung (KRAUS, SCHNEIDER 1988, 30).

10.3.1.4 Das sichtbare

Licht – Farben und Filter

Die soeben beschriebene Interaktion von elektromagnetischer Strahlung mit einem Objekt hat konkrete Auswirkungen auf unser tägliches Leben, und zwar beim Sehen von Farbe. Wie beim elektromagnetischen Spektrum beschrieben, umfasst das sichtbare Licht in etwa den Wellenlängenbereich zwischen 400 und 700 Nanometern. Teilt man diesen Bereich in drei gleich große Bandbreiten auf, so erhält man die drei additiven Grundfarben Blau, Grün und Rot. Wenn ein Mensch also die Farbe Blau wahrnimmt, dann treffen – sofern keine Farbenblindheit oder Farbenfehlsichtigkeit besteht – Lichtwellen von 400 bis 500 nm Wellenlänge in einem gleichen Verhältnis auf die Netzhaut des Auges (Grün: 500–600 nm; Rot: 600–700 nm).

Additiv heißen diese Farben deshalb, weil man durch Addierung der drei Spektralbereiche weißes Licht (gleiche Anteile aller Wellenlängen von 400 bis 700 nm) erhält. Durch Zusammenfügen von jeweils zwei additiven Grundfarben erhält man eine subtraktive Grundfarbe (Cyan, Gelb oder Magenta). Deren Bezeichnung lässt sich auf den Umstand zurückführen, dass man eine der additiven Grundfarben erhält, wenn man eine subtraktive Grundfarbe von weißem Licht ausschließt, subtrahiert (KRAUS 2004, 80 f.). Man kann dies auch als Gleichung darstellen (Abb. 41):

$$\text{Cyan} = \text{Blau} + \text{Grün} = \text{Weiß} - \text{Rot}$$

$$\text{Gelb} = \text{Grün} + \text{Rot} = \text{Weiß} - \text{Blau}$$

$$\text{Magenta} = \text{Rot} + \text{Blau} = \text{Weiß} - \text{Grün}$$

Die Farbe eines Objektes ist eigentlich keine physikalische Eigenschaft, sondern eine subjektive Wahrnehmung. Die unterschiedlichen Farben entstehen aufgrund des Umstandes, dass es je nach Oberfläche und Material eines Objektes zu einer unterschiedlichen Absorption und Reflexion der einzelnen Wellenlängen des sichtbaren Lichtes kommt. Dadurch werden verschiedene Wellen vom weißen Licht der Sonne subtrahiert und im Falle der Abbildung auf der Netzhaut eines Menschen von diesem als bestimmte Farbe wahrgenommen. Die Farbe eines Objektes kann sich je nach Lichtquelle ändern (ALBERTZ 2007, 109). Künstliche Lichtquellen wie eine Glühbirne emittieren häufig kein

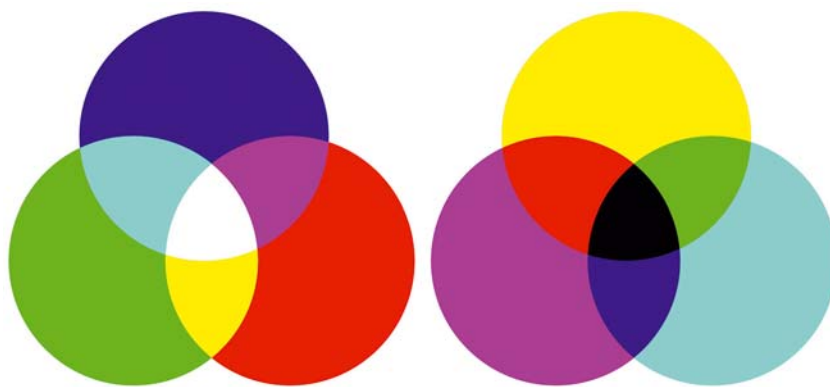


Abb. 41: Additiver (links) und subtraktiver (rechts) Farbkreis (Grafik: Michael Doneus).

weißes Licht. Dadurch kommt es zu einem veränderten Mischungsverhältnis der reflektierten Wellenlängen des sichtbaren Lichtes (zum Beispiel fehlen bei Beleuchtung durch Glühbirnen häufig blaue, kurzwellige Anteile) und dadurch zu einem veränderten Farbeindruck. Die Subtraktionen bestimmter Wellenlängen werden im Rahmen der Fernerkundung durch optische Filter ermöglicht (z. B. UV-Sperrfilter, Gelbfilter) (KRAUS 2004, 82).

10.3.1.5 Der spektrale Reflexionsgrad

Trifft elektromagnetische Strahlung auf ein Objekt, etwa eine vitale Getreidepflanze, so wird eine bestimmte Bandbreite an Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen reflektiert, eine weitere absorbiert und der Rest transmittiert. Im Bereich des sichtbaren Lichtes kommt es dabei zu einer verstärkten Reflexion im Bereich jener Wellenlängen, die der Mensch als „grün“ empfindet. Blaues und rotes Licht werden hingegen vor allem von Chlorophyll absorbiert. Aus diesem Grund erscheint eine gesunde, sich im Wachstum befindende Getreidepflanze grün.

Beleuchtet man nun ein bestimmtes Objekt, etwa die Getreidepflanze abwechselnd mit Licht bestimmter Wellenlängen und misst dabei jeweils den prozentualen Anteil der reflektierten Strahlung, so erhält man den sogenannten „spektralen Reflexionsgrad (ρ)“ dieses Objektes, welcher in einer Reflexionskurve (Abb. 42) veranschaulicht werden kann (ALBERTZ 2007, 18 f.; LILLESAND, KIEFER 2000, 14 ff.). In Abhängigkeit von verwendeten Methoden und Parametern kommt es zu unterschiedlichen Kurvendarstellungen, dennoch lassen sich für ein bestimmtes Objekt Charakteristika herausarbeiten (ALBERTZ 2007, 18). Der spektrale Reflexionsgrad ist von großer Bedeutung für die Fernerkundung, was anhand der grünen, vitalen Getreidepflanze näher erläutert werden soll (vgl. KRAUS, SCHNEIDER 1988, 48 ff.).

Wie bereits oben erwähnt, absorbiert die Pflanze aufgrund seiner Pigmente (v. a. Chlorophyll) im sichtbaren Licht vor allem die als blau und rot empfundenen Wellenlängen.

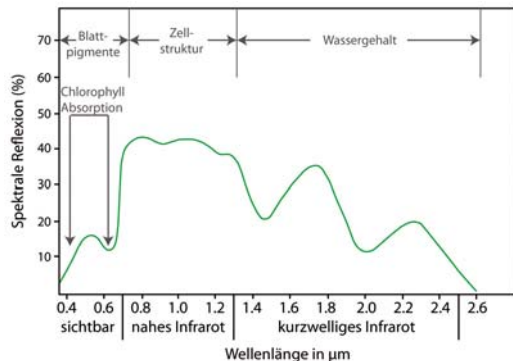


Abb. 42: Der spektrale Reflexionsgrad einer Pflanze (nach KAPPAS 1994, 63).

Wie auf Abb. 42 dargestellt, ist die Reflexion im gesamten Bereich des sichtbaren Lichtes jedoch sehr gering und liegt selbst im Fall der „grünen“ Wellenlängen unter 15 Prozent. Im Bereich des nahen Infrarots kommt es zu keiner Absorption durch die Pigmente. Die Strahlung wird transmittiert und im Inneren der Pflanze an den Zellwänden gestreut und reflektiert. Somit liegt im nahen Infrarot, zwischen 0,7 µm und 1,3 µm, der reflektierte Anteil der Strahlen bei fast 50–60 Prozent und ist somit um ein Vielfaches höher als beim sichtbaren Licht. Dies bedeutet, dass eine aktive Getreidepflanze – und aktive Vegetation im Allgemeinen – eigentlich infrarot sein würde, wenn wir mit unseren Augen diese Wellenlängen erfassen (sehen) könnten. Unterschiedliche Wellenlängen des mittleren Infrarots werden durch Wasser bzw. Feuchtigkeit absorbiert. Ist die Pflanze aufgrund von Krankheit, Trockenheit, Reifung oder Verwelkung geschädigt, nimmt die Rückstrahlung im Bereich des sichtbaren Lichtes zu (vor allem im gelben Wellenlängenbereich), während sie im nahen Infrarot eine verringerte Reflexion aufweist (Abb. 43) (LILLESAND, KIEFER 2000, 17 ff.).

Ein gepflühtes Feld zeigt je nach Bodenart, Bodentyp und Bodenfeuchte unterschiedliche Reflexionskurven. Generell kann man bereits im sichtbaren Licht Unterschiede erkennen. Diese ergeben sich vor allem aufgrund von Struktur (je kleiner die festen Bestandteile und je glatter die Oberfläche (gepflügt – geeggt – gewalzt), desto stärker ist die Reflexion), chemischen Komponenten (Eisenoxid absorbiert zum Beispiel grünes Licht), organischen Bestandteilen (je mehr, desto schwächer ist das Reflexionsvermögen) sowie Wassergehalt. Je mehr Bodenwasser vorhanden ist, desto geringere Anteile des sichtbaren Lichtes werden reflektiert. Zudem kommt es im mittleren Infrarot (bei Wellenlängen von 1,4 µm, 1,9 µm sowie 2,7 µm) zur Absorption durch Wasser (KRAUS, SCHNEIDER 1988, 50).

All dies hat Implikationen für die Luftbildarchäologie: Während man im sichtbaren Bereich vitale von einer im Anfangsstadium einer Schädigung befindlichen Vegetation

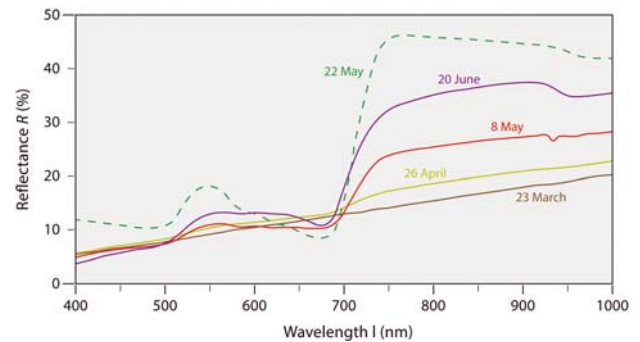


Abb. 43: Spektraler Reflexionsgrad einer Getreidepflanze zwischen 23. März und 20. Juni. Daten erhoben mit dem Spektrometer GER 1500 (© Geert Verhoeven).

(z. B. Getreide) noch kaum unterscheiden kann, zeigt sich dies im nahen Infrarot durch die stärkere Rückstreuung deutlicher (siehe z. B. Abb. 85). Bei stark geschädigter Vegetation sind die Unterschiede im nahen Infrarot sehr deutlich zu sehen. Dadurch kann man davon ausgehen, dass sich Bewuchsmerkmale unter Umständen deutlicher erkennen lassen, wenn sie mit einem Sensor erfasst werden, welcher den Bereich des nahen Infrarots erfassen kann (eine detaillierte Diskussion findet sich bei VERHOEVEN 2011). Ähnliches gilt für Unterschiede der Bodenfeuchte. Auch diese lassen sich im nahen Infrarot deutlicher erkennen (LILLESAND, KIEFER 2000, 19), was sich bei der Auffindung von Boden- bzw. Feuchtigkeitsmerkmalen als hilfreich erweisen kann. Ein weiterer Effekt ergibt sich beim Vergleich von Reflexionskurven verschiedener Pflanzenarten. Während sie im Bereich des sichtbaren Lichtes kaum Unterschiede im Reflexionsverhalten aufweisen, zeigen sie im Bereich des nahen Infrarots mitunter deutlich höhere oder niedrigere Reflexionsanteile. Dadurch kann man – sofern man entsprechende Interpretationsschlüssel zur Hand hat – unter Berücksichtigung der Textur individuelle Pflanzenarten (z. B. Bäume) voneinander unterscheiden (LILLESAND, KIEFER 2000, 15).

10.3.1.6 Der Weg des Lichts von der Sonne zum Sensor

Die von der Sonne emittierten elektromagnetischen Wellen unterschiedlichster Bandbreite (jedoch mit einem Maximum im Bereich des sichtbaren Lichtes) werden, wenn sie sich in Richtung Erde bewegen, zunächst von den oberen Schichten der Atmosphäre zum Teil reflektiert. Der restliche Anteil unterliegt auf dem Weg durch die Atmosphäre unterschiedlichen Prozessen, nämlich der Refraktion, der Reflexion (meist gestreut) sowie der Absorption (KRAUS 1990b, 52).

Neben den Gasen besteht der untere Bereich der Atmosphäre (vgl. S. 48 f.) zu einem variablen Anteil aus Wassertropfchen und Aerosolen (schwebende Partikel, meist

Staub, Rauch, Mikroorganismen). Die Wassertröpfchen werden durch Verdunstung von der Erdoberfläche aus zugeführt und sind nicht gleichmäßig verteilt. Vor allem Wasserdampf, Kohlendioxid und Ozon sorgen dafür, dass bestimmte Wellenlängen absorbiert werden (z. B. wird in der Ozonschicht aber auch durch Stickstoff und Sauerstoff ultraviolettes Licht zerstört) (ALBERTZ 2007, 14). Sichtbares Licht, Teile des nahen, mittleren und fernen Infrarots sowie die Mikrowellen transmittieren prinzipiell durch die Atmosphäre, werden aber zum Teil von dort schwebenden Teilchen (Aerosol: Wassertropfen bzw. Eiskristalle, Dunst, Verunreinigungen) gestreut.

Das sichtbare Licht, für welches die Atmosphäre durchlässig ist, wird an sehr kleinen Teilchen in der Luft vor allem im kurzweiligen, blauen Bereich gestreut (*Rayleighstreuung*) (LILLESAND, KIEFER 2000, 10). Dies bedeutet, dass der blaue Lichtanteil nicht nur auf geradem, direkten Weg von der Sonne zu uns gelangt, sondern indirekt, als sogenannte Streustrahlung auf uns wirkt. Dies hat zwei, in unserem täglichen Leben nur allzu bekannte Konsequenzen: der blaue Himmel und die gelbe Sonne. Ohne Atmosphäre gäbe es keinen aufgehellten Himmel – dieser wäre schwarz mit einer sich scharf abzeichnenden, weißen Sonne (ALBERTZ 2007, 15).

An etwas größeren Wassertröpfchen kommt es zur sogenannten *Mie-Streuung* (LILLESAND, KIEFER 2000, 10). Hier wird auch das langwelligere sichtbare Licht diffus reflektiert. Dadurch kommt es zum Beispiel zur Orange- bis Rotfärbung der Sonnenscheibe beim Sonnenauf- oder Untergang. Dies hat zur Folge, dass bei hoher Luftfeuchtigkeit ein großer Anteil des sichtbaren Lichtes gestreut wird, wodurch wir die Wassertröpfchen als hellen, weißen bis bläulichen Dunst und im Extremfall als undurchsichtigen Nebel wahrnehmen. Das vermindert nicht nur die mögliche Sichtweite; da die diffus reflektierte Streustrahlung aus allen Richtungen auf die Erdoberfläche auftrifft, dringt sie auch in die durch das gerichtete Licht nicht beleuchteten Schattenbereiche ein. Dadurch werden Schattenkontraste vermindert, die Schatten sind nicht mehr deutlich zu erkennen. Die sichtbare Wirkung des Dunstes ist abhängig von der Blickrichtung: Steht einem die Sonne gegenüber, so entfaltet der Dunst seine stärkste Wirkung und vermindert Schatten- und Farbkontraste. Hat man die Sonne hinter seinem Rücken, so ist die Wirkung des Dunstes nicht so stark – die Kontraste sind besser zu erkennen und auch die Farben erscheinen stärker gesättigt.

Die schließlich auf die Erdoberfläche eintreffende Globalstrahlung setzt sich aus der gerichteten (auf direktem Weg, vom Aerosol unbeeinflussten) und der gestreuten (indirekten) Strahlung zusammen. Diese interagiert mit

dem beleuchteten Objekt in der weiter oben (vgl. Kapitel 10.3.1.3) beschriebenen Weise, also Transmission, Absorption und Reflexion. Der reflektierte Teil muss dann nochmals durch die Atmosphäre, wo er wiederum gestreut werden kann, bis er schließlich (nach eventueller Absorption durch Filter und Optik) auf den Aufnahmesensor auftrifft. Je nach Sensor wird von diesem Rest nur ein bestimmter Wellenlängenbereich aufgezeichnet.

Von Fernerkundungssensoren wird demnach Folgendes aufgenommen:

- Gerichtetes Licht, welches durch die Atmosphäre je nach Wellenlänge unterschiedlich in der Intensität abgeschwächt und durch Interaktion mit dem reflektierenden Objekt in Bezug auf die Wellenlänge „selektiert“ wurde.
- Gestreutes Licht, welches direkt aus der Atmosphäre oder von Objekten aus unterschiedlichen Richtungen reflektiert wurde.

Je nach Sonnenstand, Blickrichtung, Verschmutzung der Atmosphäre, Luftfeuchtigkeit, Geländehöhe oder Flughöhe wird trotz prinzipiell gleichbleibender Reflexionseigenschaft eines Objektes eine in spektraler Zusammensetzung und Intensität unterschiedliche Aufnahme stattfinden. Diese Störfaktoren können zum Teil durch geeignete Maßnahmen vermindert werden. Die einfachste Maßnahme ist die Wahl eines geeigneten Zeitpunktes, etwa wenn nach Durchgang einer Schlechtwetterfront die Luft gereinigt wurde und deshalb wenig streuendes Aerosol vorhanden ist. Sonnenstand und Blickrichtung erfüllen bei der Aufnahme jedoch oft einen Zweck (zum Beispiel lange Schatten bei im Geländerelief erhaltenen Denkmälern oder Bewuchsmerkmalen) und können bzw. sollen deshalb nicht verändert werden.

Vor allem die Streustrahlung hat für die Fernerkundung negative Effekte. Durch das diffuse, aus allen Richtungen kommende, bläuliche Licht werden Schattenbereiche aufgehellt und der Kontrast einer Aufnahme zum Teil erheblich gemindert. Dieser kann – allerdings nur bei Schwarz-Weiß-Aufnahmen – durch Benutzung eines Gelbfilters verstärkt werden. Der Gelbfilter subtrahiert nämlich den blauen Lichtanteil und führt so zu einer Reduktion der auf den Sensor auftreffenden Streustrahlung (KRAUS 2004, 82).

10.3.1.7 Sensoren

Um den Informationsgehalt elektromagnetischer Strahlung nutzen zu können, bedarf es geeigneter Aufnahmegeräte, welche die geometrischen (aus welcher Richtung kommt die Strahlung) und radiometrischen (Wellenlängen und deren Intensität) Aspekte der elektromagnetischen Wellen entweder direkt oder über die Zwischenschritte der Speicherung und Verarbeitung abbildet (ALBERTZ 2007, 9).

Dabei kommen mit aktiven und passiven Systemen prinzipiell zwei unterschiedliche Verfahren zur Anwendung. Alle Systeme sind für die Registrierung spezieller Wellenlängenbereiche ausgestattet. Manche Systeme können dabei nur einen einzelnen Bereich abbilden (z. B. der Schwarz-Weiß-Film), andere mehrere Bereiche gleichzeitig aufnehmen (etwa der Farbfilm oder multispektrale Scanner). Diese Bereiche werden Bänder oder Kanäle genannt.

Passive Systeme

Passive Systeme benutzen Sensoren, mit welchen die natürlich vorkommende und von den zu untersuchenden Objekten reflektierte Strahlung abgebildet wird. Die bekanntesten passiven Sensoren sind das menschliche Auge und die analoge Kamera. Beide bilden das sichtbare Licht auf optischem Weg direkt auf die Netzhaut bzw. einen Bildträger ab.

Im Fall der *Kamera* können über spezielle Verfahren (Hinzufügen bestimmter Chemikalien) die Schichten eines Filmes für Licht bestimmter Wellenlängen empfindlich gemacht werden (KRAUS 2004, 92). Dadurch ist es möglich, das Material auch für die Aufnahme von Wellenlängen im nahen Infrarot zu sensibilisieren (bis zu einer Wellenlänge von 1 μm – ALBERTZ 2007, 26). Moderne digitale Kameras generieren das Bild über den Zwischenschritt der Speicherung auf einem Datenträger.

Bei einem *Scanner* wird die Erdoberfläche zeilenweise, und zwar in den meisten Fällen quer zur Flugrichtung abgetastet. Man unterscheidet optisch-mechanische und optoelektronische (Zeilenkameras) Scanner sowie abbildende Spektrometer. Mechanische Scanner benutzen optische Vorrichtungen (rotierendes Prisma) zur Zerlegung des empfangenen Lichts in bestimmte Spektralbereiche, welche in der Folge getrennt voneinander in verschiedenen Kanälen gespeichert werden. Zeilenkameras sind ähnlich digitalen Kameras, besitzen aber anstelle einer flächig rechteckigen Anordnung nur eine Reihe (Zeile) von Sensorelementen (KRAUS, SCHNEIDER 1988, 119 ff.; ALBERTZ 2007, 42 ff.).

Aktive Systeme

Aktive Systeme benutzen Energiequellen, um elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlängen zu erzeugen, mit welchen die zu untersuchenden Objekte bestrahlt werden. Der zurückkommende Teil der Reflexionen wird in der Folge gemessen und kann zu einem späteren Zeitpunkt visualisiert und abgebildet werden.

Das *Radar* (*Radio Detection and Ranging*) „beleuchtet“ bei der Befliegung einen langen, schmalen Streifen der Erdoberfläche mit Mikrowellen. Dieser wird mit zunehmender Entfernung breiter. Die Richtung der ausgesendeten Mik-

rowellenstrahlung ist schräg nach unten und senkrecht zur Flugrichtung. Die Reflexionen kommen mit unterschiedlicher zeitlicher Verzögerung wieder beim Sensor an und werden dort als Bildzeile registriert. Dadurch entsteht die Abtastung eines Gebietes, welches neben dem Flugweg liegt (Seitenansicht-Radar). Man unterscheidet RAR- (*real aperture radar*) und SAR- (*synthetic aperture radar*) Systeme. Bei Letzteren wird, vereinfacht dargestellt, ein breiterer Streifen auf der Erdoberfläche von den Mikrowellen beleuchtet. Dieser hat jedoch eine große Überlappung mit dem nächsten, parallel dazu liegenden Streifen, sodass die einzelnen Geländepunkte mehrfach abgetastet und über komplizierte Verfahren mit höherer Auflösung abgebildet werden können (ALBERTZ 2007, 56 f.).

Bei einem *LiDAR*-System (*Light Detection and Ranging* – vgl. Kapitel 10.5) emittiert ein an der Unterseite eines Flugzeuges oder Hubschraubers montierter Laserscanner kurze Laserpulse (deren Wellenlänge typischerweise im Bereich des kurzwelligen Infrarot liegt) aus, die fächerförmig quer zur Flugrichtung abgelenkt werden. Die meisten der Laserstrahlen werden daher nicht senkrecht nach unten, sondern unter einem schrägen Winkel ausgesandt (in den meisten Fällen liegt dieser bei maximal $\pm 20^\circ$ – $\pm 30^\circ$). Am auftreffenden Objekt wird der Strahl des Lasers meist diffus reflektiert, sodass in der Folge ein geringer Teil der reflektierten Laserenergie (Echo) von einer Fotodiode an der Empfangseinheit des Scanners erfasst werden kann. Aus der Laufzeitdifferenz zwischen ausgesendetem Signal und empfangenem Echo kann die Entfernung zwischen Scanner und Objekt bestimmt werden. Aus der Distanz, dem Ablenkwinkel und der durch ein differenzielles GPS sowie einer inertialen Messeinrichtung (*inertial measurement unit* [IMU]) laufend gemessenen genauen Position und Orientierung des Flugzeuges lassen sich die Koordinaten des reflektierenden Objektes berechnen. In Abhängigkeit vom benutzten Gerät können typischerweise pro Sekunde zwischen 30.000 und 200.000 Pulse ausgesendet werden. Dies garantiert eine sehr hohe Dichte an gemessenen Geländepunkten (oft mehrere Punkte pro Quadratmeter) aus der in der Folge ein detailliertes Geländemodell bestimmt werden kann (DONEUS et al. 2008b).

10.4 Luftbildarchäologie

Die Luftbildarchäologie gilt nach der Feldbegehung als älteste Prospektionsmethode, deren Anfänge bereits ein Jahrhundert zurückreichen (CERAUDO 2005 – vgl. Kapitel 4.2). Auch wenn sich die zugrunde liegende Technologie in dieser Zeit ständig weiterentwickelt hat, fand eine echte Grundlagenforschung vor allem während der 1970er Jahre statt. Erst in den letzten 10 Jahren kam es erneut zu einer

weiteren Belebung innerhalb der luftbildarchäologischen Gemeinschaft, welche unter anderem dazu führte, dass der detaillierten Interpretation von Luftbildern mehr Raum gewidmet wird (BEWLEY 2002; PALMER 2005; BEWLEY 2005, 22 – siehe auch zahlreiche Beiträge in AARGNews: <http://www.univie.ac.at/aarg> <September 2012>), eine Neubewertung der unterschiedlichen Datenquellen (Senkrecht- und Schrägaufnahmen) (DONEUS 2000; PALMER 2007, 2005) sowie Diskussionen zur theoretischen Standortbestimmung stattfanden (BROPHY, COWLEY 2005a; RAČZKOWSKI 2005, 2002a, 1999, 2001; BROPHY 2002) und somit eine bessere Integration zu anderen Prospektionsmethoden aber auch innerhalb der Landschaftsarchäologie ermöglicht wird.

Durch Finanzierung der Europäischen Union konnten in den vergangenen Jahren zahlreiche Workshops und Schulungen in den unterschiedlichsten Ländern Europas durchgeführt werden, welche helfen sollten, das Verständnis und die Akzeptanz dieser Methode bei Archäologen zu erhöhen (BEWLEY et al. 1996; BRAASCH et al. 1998; MUSSON, STOERTZ 2003; BEWLEY 2005, 24). Dies ist umso wichtiger, als es in vielen Ländern der Welt aber selbst innerhalb der EU (z. B. Griechenland, Spanien) nicht oder nur unter großen bürokratischen Hürden möglich ist, Luftbilder aus zivilen Flugzeugen herzustellen (BRAASCH 2002).

Die Luftbildarchäologie trägt so viel wie keine andere Methode zum Denkmalschutz bei. Die Überreste früherer Kulturen werden in steigendem Ausmaß großflächig zerstört. Die natürliche Erosion, beschleunigt durch modernen Ackerbau und den damit verbundenen Flurbereinigungen, aber auch Abbauvorhaben, Straßen- und Eisenbahnbau, Errichtung von Industriearealen und Windparks und nicht zuletzt die zahllosen Neubaugebiete stellen ein ständiges Bedrohungsszenario für die im Boden verborgene materielle Hinterlassenschaft dar. Diese kontinuierlich ablaufenden Zerstörungsvorgänge sind irreversibel – erst durch Kenntnis der bedrohten Archäologie lassen sich die Fundstellen und deren Strukturen wirksam schützen oder das Ausmaß der Zerstörung schlimmstenfalls beurteilen. Dabei stellt die Luftbildarchäologie die im Moment einzige Methode dar, große Gebiete systematisch mit vertretbarem finanziellen Aufwand zu untersuchen. Dies stellen die bis 1995 entdeckten 47.000 Fundstellen aus Deutschland nur allzu eindrucksvoll unter Beweis (BRAASCH 1996, 16). Mittlerweile ist die Luftbildarchäologie auch in Österreich weitaus besser in der denkmalschützerischen Praxis verankert als noch vor einem Jahrzehnt. So werden im Vorfeld vieler größerer Bauvorhaben luftbildarchäologische Untersuchungen durchgeführt.

Dennoch ist die Akzeptanz der Methode in den Reihen der „wissenschaftlichen“ Archäologie, welche sich in erster

Linie über die Ausgrabung definiert, oft nicht gegeben. In vielen Ländern wird Luftbildarchäologie überhaupt nicht angewandt, was nicht immer auf militärisch begründete Verbote oder administrativen Schwierigkeiten zurückzuführen ist. Aber auch in jenen Ländern wie Österreich oder Deutschland, wo es eine bereits längere Tradition gibt, fehlt es zum Teil am nötigen Verständnis der Möglichkeiten aber auch der Beschränkungen dieser Methode. Wie noch weiter unten detaillierter ausgeführt wird (vgl. Kapitel 11.1.5), ist das Potenzial der Luftbildarchäologie, Fundstellen zu entdecken, durchaus bekannt. Darüber hinausgehende Einsichten finden sich jedoch so gut wie gar nicht.

Dies lässt sich anhand der Rezeption der Luftbildarchäologie innerhalb der Siedlungs- und Landschaftsarchäologie des deutschsprachigen Raumes zeigen. Diese reicht von annähernder Nichtbeachtung (SCHADE 2000) bis zu einer einseitigen Beurteilung ihrer Möglichkeiten (SCHIER 1990, 130 ff.) (vgl. Kapitel 11). Selbst in England, dem Land mit der weltweit längsten und intensivsten luftbildarchäologischen Tradition, wird über eine ähnlich gelagerte Problematik berichtet (BEWLEY 2002). Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass Luftbildarchäologie nur an einigen wenigen Universitäten vertiefend gelehrt und praktiziert wird. In den folgenden Kapiteln ist es daher ein Anliegen, das Potenzial der Luftbildarchäologie auch außerhalb des Denkmalschutzes zu erörtern.

10.4.1 Definition von Luftbildarchäologie

Zu Beginn dieses Abschnittes soll anhand von zwei Definitionen das Wesen der Luftbildarchäologie geklärt werden:

Unter einem *Luftbild* versteht man allgemein eine fotografisch erzeugte Aufnahme, welche von einem Luftfahrzeug aus gemacht wurde und einen Ausschnitt der Erdoberfläche abbildet.

Die *Luftbildarchäologie* ist eine archäologische Prospektionsmethode, mittels der man durch direkte Beobachtung aus Luftfahrzeugen oder aufgrund von vorhandenen Luftbildern zerstörungsfrei großflächig Informationen zur materiellen Hinterlassenschaft und ihrer Umwelt gewinnt, dokumentiert und archäologisch interpretiert.

Die Luftbildarchäologie ist Teil der Fernerkundung und verwendet somit auch deren Prinzipien. Als Luftfahrzeuge dienen für gewöhnlich kleine, einmotorige Hochdecker. Bisweilen verwendet man auch Helikopter, Ultra-Leichtflugzeuge, Paragleiter oder Ballone zur Herstellung von Luftbildern. Ein Satellitenbild zählt nicht zu den Luftbildern, da es aus Raumfahrzeugen heraus hergestellt wird. Die Arbeit mit Satellitenbildern ist somit streng genommen nicht Teil der Luftbildarchäologie. Dennoch verschwim-

men in den letzten Jahren die Grenzen zur satellitengestützten Prospektion immer mehr, zumal sich die Methodik der Interpretation nur unwesentlich unterscheidet und multispektrale Aufnahmen vielerorts bereits aus Luftfahrzeugen gemacht werden. Auch das flugzeuggetragene Laser-Scanning ist nicht Teil der luftbildarchäologischen Prospektion, sondern eine eigenständige Vermessungsmethode, welche Anwendung in der archäologischen Prospektion findet. Sie hat Gemeinsamkeiten sowohl mit der Luftbildarchäologie als auch mit der archäologisch-topografischen Aufnahme (vgl. Kapitel 10.5.6).

Der Begriff „Luftbildarchäologie“ und sein englisches Pendant „*aerial archaeology*“ sind von ihrer implizierten Bedeutung nicht deckungsgleich. Kurioserweise wird *air photo archaeology*, die Übersetzung des deutschen Begriffes von manchen Autoren in England als der bessere Begriff gesehen (PALMER 1983, 41), während Otto Braasch in Deutschland den Begriff „Flugprospektion“ der Luftbildarchäologie den Vorzug gibt:

„Die ... Bezeichnung „Luftbildarchäologie“ für die archäologische Flugprospektion trifft im Wortsinn nur dann zu, wenn durch gezielte Auswertung von meist zu fremden Zwecken gefertigten Aufnahmen (Reihenbilder für Vermessungszwecke, Satellitenfotos usw.) archäologische Befunde entdeckt werden“ (BRAASCH 2005, 60).

Man kann darin zwei durchaus unterschiedliche Konzeptionen dieser Prospektionsmethode erkennen, auf die noch später näher eingegangen wird (vgl. Kapitel 10.4.4.2). Robert Bewley unterscheidet in diesem Sinn auch *aerial archaeology* (Luftbildarchäologie) und *aerial survey* (Flugprospektion) (BEWLEY 2005, 15).

Der luftbildarchäologische Prozess beginnt bereits bei der Planung und Herstellung von Luftbildern, bei der abgesehen von der Wahl des richtigen Zeitpunktes, der optimalen Aufnahmeposition etc. am Boden sichtbare Strukturen als archäologisch relevant erkannt werden müssen. Die Arbeit mit dem Luftbild – Archivierung, Entzerrung, Interpretation – ist die zweite, weitaus zeitaufwendigere Phase des luftbildarchäologischen Prozesses.

Wie alle anderen archäologischen Prospektionsmethoden hat die Luftbildarchäologie keinen Selbstzweck. Sie ist Teil der Archäologie. Somit ist die archäologische Fragestellung ein zentraler Punkt luftbildarchäologischen Arbeitens. Diese werden von den jeweils vorherrschenden theoretischen Strömungen und methodischen Konzepten vorgegeben, weshalb sich auch die Arbeitsweise der Luftbildarchäologie durch die Zeiten und über die Länder hinweg verändert bzw. unterscheidet (BEWLEY, RĄCZKOWSKI 2002b, 6). So dient sie im theoretischen Umfeld der kulturhistorischen Archäologie vor allem dazu, Informationen

und Fakten zu sammeln. Ein Mehr an Fakten ist aber nicht gleichbedeutend mit mehr Wissen. Dieses kommt erst zustande, wenn die Daten auch „verarbeitet, reflektiert und verinnerlicht“ werden (KNOX, MARSTON 2008, 248). Luftbildarchäologie hat somit auch die Möglichkeit, abseits vom reinen Faktensammeln über eine Schwerpunktbildung bei Interpretation und kritischer Reflexion die theoretischen Fesseln archäologischer Forschung zu sprengen und aufgrund ihrer Erkenntnisse neue Fragestellungen und neue Denkweisen zu ermöglichen.

10.4.2 Sichtbarkeitsmerkmale

Die materielle Hinterlassenschaft kann sich an der Erdoberfläche je nach Erhaltungszustand mehr oder weniger deutlich abzeichnen. In vielen Fällen ist es möglich, archäologisch relevante Strukturen direkt aus der Luft zu beobachten. So zeigen sich etwa ein massives, durch Deflation freigelegtes Scherbenpflaster in der Wüste, eine Ruine oder auch Schiffswracks, die im seichten Gewässer liegen, mitunter sehr deutlich und können aus der Luft in ihrem Landschaftskontext dokumentiert und lagemäßig verortet werden. Je nach gegebener physischer Struktur der Landschaft sowie Bildungsprozessen an Funden und Strukturen haben sich aber auch unterschiedlichste Kontraste ausgeformt, welche dabei helfen können, archäologische Fundstellen zu erkennen, zu dokumentieren, zu kartieren und zu interpretieren.

Kontraste kann man entweder direkt messen oder indirekt über Indikatoren erkennen. In der Luftbildarchäologie werden diese auch „Sichtbarkeitsmerkmale“ (*marks*) genannt. Je nach Art dieser Hinweise unterscheidet man gemeinhin Schatten-, Flut-, Schnee-, Boden-, Feuchtigkeits-, Frost- und Bewuchsmerkmale. Diese Liste umfasst die am häufigsten genannten Merkmale, kann aber prinzipiell erweitert werden. Egal, um welches Merkmal es sich in einem konkreten Fall handelt, alle sind indirekte Indikatoren für physikalisch veränderte Eigenschaften des Bodens. Diese physikalischen Eigenschaften können mit der Methode der Luftbildarchäologie jedoch – mit Ausnahme des Höhenunterschiedes bei im Relief erhaltenen Bodendenkmälern – nicht gemessen, sondern allein aufgrund der Indikatoren beobachtet werden.

Das Auftreten der einzelnen Merkmale ist jedoch von vielen Faktoren abhängig. Deshalb ist das Wissen um die möglichen Anzeiger sowie um die zum Teil komplexen Prozesse und Faktoren, welche die Entstehung dieser Anzeichen materieller Hinterlassenschaft beeinflussen, eine Notwendigkeit. Erst mit diesem Wissen kann man gezielt und systematisch nach Merkmalen für archäologische Strukturen suchen, wobei Zeitpunkt, Flughöhe und Blickrichtung

die drei entscheidenden Kriterien für eine gute luftbildarchäologische Erkennungsrate sind.

Auch wenn es in der Literatur nur für die Bewuchsmerkmale explizit angegeben ist, kann sich jede der Kategorien von Sichtbarkeitsmerkmalen aufgrund „positiver“ oder „negativer“ Ausprägung zeigen. Diese Begriffe sind natürlich nicht wertend gemeint, sondern lassen Aussagen zur „Polung“ des angezeigten Kontrastes zu und können dadurch wichtige Hinweise zur Beschaffenheit der archäologischen Struktur geben. Die einzelnen Sichtbarkeitsmerkmale wurden noch nie explizit definiert. Es handelt sich jeweils um Beschreibungen dessen, was sich unter welchen Umständen in welcher Form an der Oberfläche zeigen kann. Deshalb gibt es in manchen Fällen durchaus Unterschiede bei der Benennung eines Merkmals etwa als positives oder negatives Bewuchsmerkmal.

In der Folge sollen nun die wichtigsten Kategorien von Sichtbarkeitsmerkmalen dargestellt und beschrieben werden. Grundlage für die Betrachtungen sind einige vielzitierte Arbeiten (RILEY 1987, 17–40; WILSON 2000, 38–87; SCOLLAR et al. 1990, 33–76; ILLE 1993; LEIDORF 1996, 38–44) sowie die mittlerweile 20-jährige persönliche Erfahrung.

10.4.2.1 Im Relief erhaltene Bodendenkmäler

Zahlreiche archäologische Strukturen zeichnen sich im heutigen Relief als Erhebung oder Vertiefung ab, wie z. B. Gräben, Wälle, Straßen und Wege, Pingen, Halden, Steinbrüche oder Hügelgräber. Obwohl auch erhaltene Gebäude, Ruinen oder andere Objekte (zum Beispiel Unterwasserobjekte, wie Schiffswracks – vgl. BRAASCH 2005, 37 ff.) streng genommen dazugehören, sollen sie bei den folgenden Betrachtungen aber ausgeschlossen werden, da sie als Objekte direkt erkennbar und anzusprechen sind und daher keiner Indikatoren für deren Sichtbarkeit bedürfen. Die den Burgen oft vorgelagerten Wälle oder Gräben, welche sich in vielen Fällen nicht so gut erhalten haben, sind jedoch sehr wohl auch Gegenstand der folgenden Betrachtungen.

Je nach Entstehung und Wandel ist das Relief stark oder sehr schwach ausgeprägt. In den Landschaften Mitteleuropas ist der Hauptfaktor für die Einebnung ehemals deutlich aufragender oder vertiefter Strukturen die mit der intensiven Landwirtschaft einhergehende Erosion. Lediglich in den Bereichen, wo eine schützende Vegetationsdecke den Erosionsprozess weitgehend stoppen konnte und bis heute erhalten ist (meist Weideflächen oder Waldgebiete), haben sich Bodendenkmäler im Geländere relief erhalten können.

In vielen Fällen können sich im Relief abzeichnende Fundstellen auch vom Boden aus erkannt werden, in fast allen Fällen lassen sich jedoch Details und Zusammenhänge aus der Luft einfacher, schneller und verständlicher darstel-

len. Oft ist jedoch auch der Erosionsprozess so weit fortgeschritten, dass ein Erkennen vor Ort – wenn überhaupt – nur für das langjährig geschulte und geübte Auge des Feldarchäologen möglich ist. Vor allem dort, wo Wald oder andere dichte Vegetation diese flachen Denkmäler verbirgt, ist auch das Luftbild chancenlos. Hier hat sich neuerdings das flugzeuggetragene Laser-Scanning als die beste Methode erwiesen.

10.4.2.1.1 Schattenmerkmale

Aufgrund des noch erhaltenen Reliefs werfen an der Oberfläche erhaltene Bodendenkmäler bei entsprechendem Sonnenstand einen Schatten. Die Qualität der Sichtbarkeit variiert dabei in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, wie erhaltene Höhe des Objektes, seine Ausrichtung zur Sonneneinstrahlung, Oberflächenfarbe, Bewuchs, Datum und Uhrzeit der Aufnahme sowie Flughöhe und Betrachtungswinkel zum Zeitpunkt der Aufnahme (Abb. 44).

Fast eingeebnete Objekte benötigen sehr schräg einfallendes Sonnenlicht um einen ausreichenden Schattenwurf zu produzieren, d. h., die Aufnahmezeit sollte entweder der frühe Morgen oder der späte Nachmittag sein. Wie dramatisch sich die Sichtbarkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten ändern kann, zeigt ein von David Wilson (WILSON 2000, 40 f.) publiziertes Beispiel der Abtei von Kirkstead (Abb. 45 und Abb. 46). Von den zerstörten Gebäuden ist nur noch eine kleine Mauerecke mehrere Meter hoch erhalten. Um die Mittagszeit fotografiert, sind die von einer Schafweide bedeckten Mauern nur als flächige Veränderung der Textur zu erkennen, da in diesem Bereich auch eine etwas verän-



Abb. 44: Schattenmerkmal einer undatierten Befestigungsanlage bei Michelstetten, NÖ, vom November 1981. Durch die Wahl des Aufnahmezeitpunktes in der vegetationslosen Periode kann der Verlauf des Wall-Graben-Systems auch im bewaldeten Bereich verfolgt werden (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 45: Kirkstead, England. Die Aufnahme wurde um die Mittagszeit gemacht, geringe Reliefunterschiede zeichnen sich daher nicht durch Schattenwurf (aus WILSON 2000, Abb. 8 – Copyright reserved Cambridge University Collection of Aerial Photography).



Abb. 46: Kirkstead, England. Situation aus Abb. 45 bei tief stehender Sonne fotografiert. Durch den spitzen Einfallswinkel der Sonnenstrahlung werfen nun auch feine Reliefunebenheiten genügend lange Schatten und sind deshalb gut zu erkennen (aus WILSON 2000, Abb. 9 – Cambridge University Collection of Aerial Photography).

derte Vergesellschaftung von Pflanzen wächst. Bei sehr tief stehender Sonne kommen die einzelnen seichten Erhebungen durch die nun längeren Schatten jedoch so deutlich zum Vorschein, dass der Grundriss der gesamten Abtei auf Anhieb verständlich wird.

Ein wichtiges Kriterium für die Erkennbarkeit des Bodendenkmals ist die Ausrichtung eventuell vorhandener linearer Strukturen zur Sonneneinstrahlung: Liegen sie quer zu ihr, so sind deutliche Schatten die Folge. Hingegen werfen längs des Sonnenlichtes verlaufende Objekte kaum Schatten. Dies kann man zum Beispiel bei der Wallanlage von Abb. 44 erkennen: Die Einstrahlrichtung der Sonne verläuft in diesem Fall diagonal über das Bild von rechts oben nach links unten. Daher sind jene Wall-Graben-Abschnitte, welche sich im linken oberen Bereich des Bildes finden, schlechter zu erkennen, da sie kaum Schatten werfen. Eine Möglichkeit, auch diese Bereiche deutlicher sichtbar zu machen ist die Wahl eines anderen Zeitpunktes (ev. andere Tages- oder Jahreszeit). Gerade bei sehr komplexen linearen Strukturen wie dem Beispiel in Kirkstead werden aber meistens einige Strukturen keinen Schatten werfen. In diesem Fall sind mehrfache Befliegungen nötig, um ein möglichst vollständiges Bild der materiellen Hinterlassenschaft zu erhalten.

Bei der Aufnahmerichtung ist zu beachten, dass, wenn man die Sonne im Rücken hat, die Strukturen ihre von der Sonne beschienene Seite zeigen. Die Schatten sind dadurch etwas verdeckt, wodurch sich die Reliefunterschiede nur undeutlich zeigen. Fotos, die gegen die Sonne gemacht werden, zeigen die Schatten am besten, allerdings kann hier der Dunst

aufgrund der Mie-Streuung (vgl. S. 156) zu einem Problem werden, da er seine stärkste Wirkung bei eben dieser Blickrichtung entfaltet. Daher ist bei extrem schrägem Sonnenlicht auf eine ausgezeichnete Sicht (geringe Luftfeuchtigkeit und Luftverschmutzung – etwa nach Durchzug einer Kaltfront) zu achten, um gute Resultate erzielen zu können.

Bei von Laubwald bedeckten Bodendenkmälern sind Aufnahmen in der vegetationslosen Periode, wenn die entlaubten Bäume den Blick zum Boden freigeben, notwendig (Abb. 47 und Abb. 48). Im während des Sommers aufgenommenen Bild kann man den unter dem Wald liegenden, rechteckigen und sehr gut erhaltenen Wall nur dann erraten, wenn man seine Position bereits kennt. Erst in der Aufnahme zur vegetationslosen Zeit werden Grundriss und Ausmaß der Befestigung evident.

Im Winter können bei einer gleichmäßigen Schneebedeckung extrem flach erhaltene Reliefunterschiede aufgrund des sehr deutlichen Schattenkontrastes gut sichtbar werden. Als Beispiel soll hier ein Bild von Otto Braasch dienen, in welchem man ein fast völlig eingeebnetes Hügelgräberfeld erkennen kann (Abb. 49). Diese Merkmale, auch wenn sie bei Schneebedeckung gemacht werden, zählen ebenfalls zu den Schattenmerkmalen, da ein Schattenwurf der Indikator für die archäologische Struktur ist.

10.4.2.1.2 Schneemerkmale

Als Schneemerkmal bezeichnet man einen Indikator dann, wenn eine im Geländere relief erhaltene Struktur durch unterschiedliche Schneebedeckung sichtbar wird. Die Un-



Abb. 47: Gars-Thunau: Bereich der slawischen Wallanlage, welche im Sommer nicht zu sehen ist (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 48: Gars-Thunau. Situation von Abb. 47. Der Wall ist in der vegetationslosen Zeit im Laubwald gut zu sehen (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

terscheidung zwischen Schnee- und Frostmerkmalen ist in der Literatur nicht eindeutig. In manchen Fällen werden Frostmerkmale und Schneemerkmale gleichgesetzt (vgl. z. B. BRAASCH 2005, 17 ff.; LEIDORF 1996, 42). Diese Arbeit verwendet im Großen und Ganzen die Einteilung im Sinne David Wilsons (WILSON 2000): Beim Schneemerkmal bewirkt das Geländere relief eine unterschiedliche Mächtigkeit der Schneelage bzw. eine ungleiche Erwärmung aufgrund der lokal variierenden Intensität der Sonneneinstrahlung. Dies führt zu einer archäologische Strukturen nachzeichnenden Verteilung von Schnee. Beim Frostmerkmal ist die unterschiedliche im Boden gespeicherte Wärme *eingeebnete* Strukturen ausschlaggebend für Geschwindigkeit und Intensität der Abtauvorgänge.

Ein Schneemerkmal kann sich somit auf unterschiedliche Weise zeigen: (1) Durch Windverwehung können die dem Wind zugewandten Seiten des Bodendenkmals frei-



Abb. 49: Schattenmerkmal eines beinahe eingeebneten Hügelgräberfeldes (© Otto Braasch, Landshut).



Abb. 50: Michelstetten – Situation von Abb. 44. Die Wälle werden nun jedoch aufgrund der unterschiedlichen Dichte des Schnees nachgezeichnet (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

geweht und dadurch sichtbar gemacht werden, wobei sich der Schnee meist im Windschatten oder Vertiefungen ablagert. (2) Bei der Schneeschmelze verdeutlichen Schneereste in den Schattenzonen von Gräben oder Wällen deren Verlauf. In Abb. 50 ist dieselbe Fundstelle wie auf Abb. 44 dargestellt. Diesmal werden die Wälle und Gräben jedoch aufgrund des zur Zeit der Aufnahme bewölkten Himmels vom abgetauten bzw. liegen gebliebenen Schnee (und nicht vom Schatten) nachgezeichnet. (3) Ein weiteres Beispiel zeigt, dass das selektive Abschmelzen von Schnee auch bei kleineren im Relief erhaltenen Strukturen, wie den Hügelgräbern bei Gündlkofen deutlich sichtbar sein kann (Abb. 51). Auch hier handelt es sich um ein klassisches Schneemerkmal. Der Abtauvorgang verläuft deshalb unterschiedlich, weil die Reliefierung in manchen Bereichen von der Sonne unter einem direkteren Winkel angestrahlt wird. Der



Abb. 51: Schneemerkmal eines Hügelgräberfeldes bei Gündlkofen, Deutschland, vom Dezember 1980. Die Hügel sind deutlich sichtbar, da der Schnee auf der von der Sonne beschienenen Seite bereits geschmolzen ist (© Otto Braasch, Landshut).

Abtauvorgang findet deshalb in Bezug auf die Exposition unterschiedlich rasch statt.

10.4.2.1.3 Flutmerkmale

Flutmerkmale treten vor allem in Überschwemmungsebenen von Gewässern auf. So können sich bei entsprechendem Wasserhochstand die Gräben einer Befestigungsanlage mit Wasser füllen und sich somit deutlich abzeichnen. Steigt das Wasser noch höher an, bilden Wälle und Grabhügel gut sichtbare, trockene Flächen im überschwemmten Bereich (Abb. 52).

Häufig füllen sich bei Überschwemmungen zunächst die noch im Relief erhaltenen Altwasserarme mit Wasser. Auf diese Weise lassen sich Teile von ehemaligen Mäandergürteln mitunter sehr deutlich erkennen, wie am Beispiel der steirischen Lafnitz vom April 1965 (Abb. 53). Bei stärkeren Hochwässern lassen sich die Kanten der unteren Flussterrassen häufig gut beobachten und dokumentieren. Sie können in vielen Fällen dazu genutzt werden, alluviale Gebiete zu zeigen und können, wie in Abb. 54 auch siedlungsanzeigend sein: Entlang der Leitha wurden zum Beispiel im Jahr 1965 während einer Hochwasserkatastrophe Schrägaufnahmen durch das österreichische Bundesheer gemacht. Anhand der Grenze der Wasserfläche lässt sich die untere Terrassenkante der Leitha gut verfolgen. Auf der charakteristischen „Landzunge“ im Vordergrund fanden sich bei Begehungen und späteren Befliegungen Funde und Strukturen aus den unterschiedlichsten Zeitstufen, die bis zum Neolithikum zurückreichen.

10.4.2.2 Eingeebnete Bodendenkmäler

Darunter versteht man jene Bodendenkmäler, die bereits soweit eingeebnet sind, dass sie sich nicht mehr vom heu-



Abb. 52: Flutmerkmal eines Hügelgräberfeldes in Altmühl, Deutschland, vom Februar 2002 (© Otto Braasch, Landshut).

tigen Geländere relief unterscheiden. Sie bilden vor allem in landwirtschaftlich genutzten Regionen die überwiegende Anzahl von Fundstellen. In der Luftbildarchäologie sind momentan vor allem Boden-, Feuchtigkeits-, Frost- oder Bewuchsmerkmale bekannt, anhand derer man eingeebnete, im Relief nicht sichtbare Bodendenkmäler zu erkennen vermag.

Im Kapitel zu den Bildungsprozessen wurde gezeigt, dass durch das Ausheben von Gruben, Gräben, Gräbern usw. je nach Tiefe des Eingriffs Material aus unterschiedlichen Bodenhorizonten entnommen und das Bodenprofil somit lokal gestört wird. Die zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte Füllung dieser Störungen zeigt in praktisch allen Fällen physikalische und chemische Unterschiede zum ungestörten Boden, was Auswirkungen auf eine Reihe von Indikatoren hat. Die komplexen Wechselwirkungen zwischen veränderten Sedimenteigenschaften innerhalb der Stratifikation bzw. im ungestörten Bereich und den einzelnen Indikatoren sind zwar prinzipiell bekannt aber kaum zufriedenstellend untersucht. So glaubt man zum Beispiel, die Mechanismen für einen veränderten Bewuchs über einer archäologischen Struktur zu kennen. Detailliertere Aussagen, welche zu besseren Vorhersagen zu Intensität sowie räumlichem und zeitlichem Auftreten ermöglichen würden, fehlen jedoch bislang. So obliegt es meist der persönlichen Erfahrung eines Archäologen, zu welchem Zeitpunkt in welchem Gebiet die besten Erkenntnisse durch luftbildarchäologische Befliegungen zu erhoffen sind. Dies ist vor allem für jene KollegInnen, die versuchen, ein entsprechendes Prospektionsprogramm aufzubauen, oft frustrierend und ein Grund für die zögerliche Anerkennung des luftbildarchäologischen Potenzials.

10.4.2.3 Der veränderte Boden

In der verhältnismäßig spärlich gesäten, zum Großteil bereits älteren Literatur zur Grundlagenforschung ar-



Abb. 53: Lafnitz, Steiermark. Während eines Hochwassers im April 1965 zeigten sich die ehemaligen Mäander als Flutmerkmale (© bmlvs/luaufklsta).

chäologischer Sichtbarkeitsmerkmale werden einige für die folgenden Betrachtungen wichtige physikalische Eigenschaften von Böden beschrieben (SCOLLAR et al. 1990, 9–25; STRUNK-LICHTENBERG 1965; STANJEK, FASSBINDER 1995, 1996; JONES, EVANS 1975; EVANS, JONES 1977; RILEY 1979; EVANS 2007). Dazu gehören das Verhältnis der Bodenbestandteile (mineralische und organische Bestandteile, Wasser, Gas) zueinander, die Korngrößenverteilung der mineralischen Bestandteile und deren Rolle für die Bindung von Bodenfeuchte als Haftwasser sowie die damit in Zusammenhang stehende elektrische Leitfähigkeit des Bodens, die mineralogische Zusammensetzung, der pH-Wert sowie seine Wärmeleitfähigkeit.

Bereits in den 1960er Jahren hatte Gustav Strunk-Lichtenberg gezielt Untersuchungen an durch Bewuchsmerkmale entdeckten Gräben durchgeführt (STRUNK-LICHTENBERG 1965). In drei Gebieten, welche aufgrund ihrer jeweils unterschiedlichen Böden selektiert worden waren, wurden Schnitte durch die Gräben gelegt. Konkret handelte es sich um ein römisches Marschlager in sandigem Boden auf Schotter, einen kreisförmigen Graben der Urnenfelderkultur in vulkanischem Sediment sowie um eisenzeitliche Viereckschanzen im Löss. In fast allen Fällen wurden das Porenvolumen, die Korngrößenverteilung, der pH-Wert, der Humusanteil sowie die Nährstoffe bestimmt.

Bei der Ausgrabung des römischen Marschlagers konnte Strunk-Lichtenberg feststellen, dass das wahrscheinlich absichtlich eingebrachte Füllmaterial eine bessere Durchmischung in Bezug auf die Partikelgröße aufwies als der ungestörte Bereich. Auch wenn der Unterschied nicht allzu groß



Abb. 54: Hochwasserkatastrophe entlang der Leitha im Jahr 1965. Anhand der Grenze der Wasserfläche lässt sich die untere Terrassenkante der Leitha gut verfolgen. Auf der charakteristischen „Landzunge“ im Vordergrund (Flur untere Fuchsbicheln bei Sommerein) finden sich Funde und Strukturen aus den unterschiedlichsten Zeitstufen, die bis zum Neolithikum zurückreichen (© bmlvs/luaufklsta).

war, und vor allem im oberen Bereich kaum ein Unterschied zwischen den Korngrößenverteilungen des Füllsediments und des ungestörten Bodens bestand, so zeigte sich vor allem im unteren Bereich, ab einer Tiefe von etwa 70 cm ein signifikant höherer Anteil an Feinsediment. Zudem hatte das Füllmaterial aufgrund eines höheren Eisenanteils eine kräftigere Braunfärbung, welche durch die vermehrte Oxidation der etwas lockereren Füllung mit mehr gasförmigen Bestandteilen intensiviert wurde (STRUNK-LICHTENBERG 1965, 186 f.).

Strunk-Lichtenberg nahm an, dass der Graben vor allem deshalb als Bewuchsmerkmal sichtbar wurde, weil er in den tieferen Bereichen, in denen Pflanzenwurzeln zugegen sind, aufgrund der feineren Korngröße mehr Feuchtigkeit speichern konnte. Ein nahe gelegenes Gräberfeld mit nur 50 bis 60 cm tiefen Gräben war im gleichen Jahr nicht sichtbar (STRUNK-LICHTENBERG 1965, 187). Auch die Viereckschanzen zeigten sich nur deshalb im Löss, da dieser nicht so mächtig war und die Gräben daher in den gröberen, darunterliegenden C-Horizont einschnitten (STRUNK-LICHTENBERG 1965, 201).

Das Füllmaterial der dreifachen Grabenanlage auf vulkanischen Böden wies eine im Vergleich zum umgebenden Boden stärkere Verbraunung auf und bot aufgrund der festgestellten vermehrten biologischen Aktivität (v. a. Regenwürmer) bessere Standortbedingungen für die Pflanzen (STRUNK-LICHTENBERG 1965, 195).

Helge Stanjek und Jörg Faßbinder nahmen einige Beobachtungen von Otto Braasch (BRAASCH 1985a) zum Anlass, ebenfalls bodenkundliche Untersuchungen zur Klärung



Abb. 55: Hornsburg, NÖ. Die beiden konzentrischen Gräben einer zweifachen mittelneolithischen Kreisgrabenanlage zeichnen sich als Boden- und Bewuchsmerkmal ab (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

luftbildarchäologischer Sachverhalte durchzuführen (STANJEK, FASSBINDER 1996, 1995). An drei Grabungen im Lössgebiet Bayerns entnahmen sie Proben mit Stechzylindern und nahmen Messungen in Bezug auf die Lagerungsdichte, das Porenvolumen und die Menge an organischer Substanz vor. Lagerungsdichte und Porenvolumen unterschieden sich an allen drei Plätzen statistisch nicht vom umgebenden Material. Dies erkläre ihrer Meinung nach den Umstand, dass bei den drei Fundstellen jeweils extrem trockene Saisons notwendig waren, damit Bewuchsmerkmale erkennbar wurden (STANJEK, FASSBINDER 1996, 251). Große Unterschiede gab es jedoch in der Menge der organischen Substanz, die im Füllmaterial auch in tieferen Zonen beträchtlich höher war, als im ungestörten Bereich (STANJEK, FASSBINDER 1996, 251, Tab. 1).

Aus diesen und den oben zitierten Untersuchungen ergeben sich folgende Konsequenzen, welche bei der Charakterisierung und Interpretation der Sichtbarkeitsmerkmale theoretisch von Bedeutung sind:

(1) Von primärer Bedeutung ist der Unterschied im Verhältnis der Bodenbestandteile (mineralische und organische Bestandteile, Wasser, Gas) zueinander (vgl. Kapitel 6.2.4.2). Dieses ist in einer Stratifikation zumeist anders als im umgebenden Boden – und zwar unabhängig davon, ob die Füllung schnell und intentionell oder langsam und natürlich erfolgte.

(2) In vielen Fällen hat die Füllung archäologischer Gräben oder Gruben vor allem in unteren Bereich einen signifikant höheren Anteil an organischen Bestandteilen. Diese ha-

ben Auswirkungen auf den Wasser-, Nährstoff- und Wärme-Haushalt des Sediments. In Zusammenhang mit der häufig höheren Menge an humosem Material kommt es dadurch zu vermehrter biologischer Aktivität und somit zu besseren Bedingungen für das Pflanzenwachstum.

(3) Die Füllungen von Gräben und Gruben enthalten häufig mehr gasförmige Anteile und sind daher besser durchlüftet. Eine bessere Durchlüftung bedeutet auch eine vermehrte Oxidation und dadurch im Falle von vorhandenen Eisenanteilen eine intensivere Braunfärbung.

(4) Der Unterschied an relativer Menge des Bodenwassers zwischen Füllung einer Struktur und Umgebung ist ein bedeutender Faktor für die Ausbildung von Sichtbarkeits-

merkmalen (aber auch der elektrischen Widerstandsmessung) (SCOLLAR et al. 1990, 15).

(5) Da Bodenfeuchte an der Oberfläche der festen Bestandteile gebunden wird, spielt die Korngrößenverteilung der mineralischen Bestandteile eine zentrale Rolle bei der Ausbildung sämtlicher Merkmale. Je feiner das Material, desto mehr Oberfläche besitzt es, was zu einer erhöhten Speicherung von Bodenfeuchte führt: Ein Kubikzentimeter feiner Ton hat nach einer groben Schätzung etwa 1000m², etwas gröberes Material nur 15 m² (SCOLLAR et al. 1990, 12).

(6) Gefüllte archäologische Strukturen, wie zum Beispiel Gruben, Gräber und Gräben beinhalten meist vermehrt feines Sediment und können deshalb einen signifikant höheren Prozentsatz an Wasser in größerer Tiefe speichern.

10.4.2.3.1 Bodenmerkmale

Bodenmerkmale zeigen sich an der Erdoberfläche aufgrund einer unterschiedlichen Farbgebung des Sediments. Im Fall von wieder gefüllten Gräben und Gruben ist dies auf eine unterschiedliche mineralogische Zusammensetzung der festen Bodenbestandteile, vermehrt humoses Material, eine höhere Feuchtigkeit sowie eine erhöhte Oxidationsrate zurückzuführen. Je nach umgebendem Material ist die Färbung in der Regel dunkler, brauner oder rötlicher (Abb. 55). Am besten ist dieser Farbkontrast, wenn der ebenfalls durch den Pflug an die Oberfläche gebrachte Unterboden hell ist (z. B. Löss, kalkhaltige Böden) (WILSON 2000, 57 f.), Braunerden geben einen schlechten Hintergrund ab (SCOLLAR et al. 1990, 41).

Steinsetzungen und Mauerreste können keine Feuchtigkeit speichern und führen erwartungsgemäß zu einer rascheren Austrocknung des darüber liegenden Pflughorizontes. Zudem werden durch den Pflug vermehrt Steine und Mörtelbrocken an die Erdoberfläche gebracht, was insgesamt zu einer helleren Färbung des Bodens führt. Ähnlich verhält es sich mit Flächen, unter denen der Boden über einen langen Zeitraum komprimiert wurde – etwa unterhalb von massiven Erdaufschüttungen wie Wällen oder Grabhügeln, aber auch unter ehemaligen Wegen und Straßen. Hier erreicht der Pflug oft eine etwas geringere Eindringtiefe (WILSON 2000, 54). In der Folge zeichnen sich diese Bereiche aufgrund der rascheren Austrocknung als hellere Linien oder Flächen am Boden ab (Abb. 56).

Auch wenn es nicht üblich ist, könnte man in Analogie zu den Bewuchsmerkmalen im Fall einer dunkleren Färbung des Bodens von einem „positiven Bodenmerkmal“, im gegenteiligen Fall von einem „negativen Bodenmerkmal“ sprechen.

Die unterschiedliche Farbe von Sedimenten ist den Archäologen an und für sich von Ausgrabungen bestens bekannt. Dass der Farbunterschied auch an der Erdoberfläche zu erkennen ist, liegt an dem in unseren Gebieten typischen Wendepflug. Dieser schneidet die archäologischen Sedimente an und bringt sie an die Erdoberfläche. Am besten zeigt sich der Farbunterschied, wenn der Boden nicht zu feucht und nicht zu trocken ist (JONES, EVANS 1975, 1). Auch das Eggen kann zu einer Verbesserung der Sichtbarkeit führen, da die trockenen Erdklumpen an der Bodenoberfläche aufgebrochen werden und die farblichen Kontraste sich erneut zeigen können – allerdings nur für einen kurzen Zeitraum (WILSON 2000, 59).

Der Umstand, dass Bodenmerkmale vor allem durch Verbringung von ungestört stratifiziertem Material an die Erdoberfläche entstehen, bedeutet auch, dass ihr Erkennen ein Anzeichen für bereits stattfindende erosive Zerstörung ist. Bodenmerkmale sind dann am deutlichsten zu sehen, wenn durch den Pflug neue, zuvor ungestörte Schichten erfasst wurden. Da in der Regel die Abtragung des Erdmaterials fortschreitet, werden in der Folge immer wieder neue, ursprünglich tiefer liegende Schichten hochgepflügt, was in der völligen Zerstörung des Bodendenkmals resultieren kann. Schwächt sich die Erosion ab, so verschwinden auch die Bodenmerkmale (WILSON 2000, 55). Im Falle eines Kolluvium, welches stärker als die Eindringtiefe des Pfluges ist, können abgesehen vom Kolluvium selbst (welches sich häufig dunkler abzeichnet) keine archäologischen Bodenmerkmale erkannt werden.

Bei uns sind Bodenmerkmale nur in ackerbaulich genutzten Flächen während der bewuchsfreien Zeit zu sehen,

welche sich in Abhängigkeit von der angebauten Frucht (Sommer-, Wintergetreide, Mais) von Feld zu Feld unterscheidet. Durch den Pflug werden die frisch erfassten Schichten nach oben befördert und gleichzeitig auch in Pflugrichtung verschoben (WILSON 2000, 54), was die Ursache für den häufig beobachtbaren zickzackförmigen Verlauf linearer Bodenmerkmale ist (Abb. 57). Im Extremfall können einzelne Objekte, wie zum Beispiel kleinere Gruben, oberflächlich durch den Pflug „entzweit“ werden (WILSON 2000, 65). Bodenmerkmale sind daher in der Regel etwas verlagert und können unter Umständen nicht mit der gleichen lagemäßigen Genauigkeit ausgewertet werden, wie zum Beispiel Bewuchsmerkmale. Es kommt jedoch nicht zu so großen Verlagerungen wie bei Artefakten (WILSON 1989, 70), da verlagertes Sediment sich rasch mit dem umgebenden Boden durchmischt und daher „unsichtbar“ wird. Zudem ist der Helligkeitsunterschied aufgrund von Bodenfeuchte im Fall von Bodenmerkmalen auch an den Untergrund gekoppelt (TAYLOR 1979, 94).

Weitere Faktoren, welche die Erkennbarkeit von Bodenmerkmalen beeinflussen, sind die Ausdehnung und Tiefe des ursprünglichen Eingriffes, die Pflugrichtung, der Grad an Bodenerosion sowie Flughöhe und Betrachtungswinkel zum Zeitpunkt der Aufnahme. Generell kann man davon ausgehen, dass kleinere Strukturen, wie zum Beispiel Pfostengruben, nur in extremen Ausnahmefällen (sehr heller Boden und sehr dunkle Grubenfüllung) als Bodenmerkmal sichtbar werden. Anders als beim Bewuchsmerkmal ist



Abb. 56: Carnuntum. In dieser Aufnahme vom März 1998 zeigen sich Straßen sowie Einbauten innerhalb des römischen Lagers als helle Linien im gepflügten Feld ab (© bmlvs/luauflsta).



Abb. 57: Verlauf einer modernen Leitung als Bodenmerkmal. Deutlich ist die aufgrund des Pflügens erfolgte, zickzackförmige Verlagerung des helleren Erdmaterials zu sehen (© bmlvs/luaufklsta).



Abb. 58: Simonsfeld, NÖ. Feuchtigkeitsmerkmal einer dreifachen mittelnolithischen Kreisgrabenanlage (© bmlvs/luaufklsta).

beim Bodenmerkmal der Farb- und Feuchtigkeitskontrast der Füllung zum an der Oberfläche liegenden ungestörten Material wichtig. Unterscheidet diese sich nicht grundlegend, so werden Bodenmerkmale nur in seltenen Fällen sichtbar werden.

Bei der Aufnahme erzielt man die besten Ergebnisse, wenn man mit der Sonne im Rücken auf das Bodenmerkmal sieht, da unter diesem Blickwinkel der Farbkontrast am deutlichsten ist. Dies ist auch bei der Flugplanung wichtig, da bei entsprechender Blickrichtung natürlich auch die Erkennungsrate während der Befliegung gesteigert werden kann. Zusätzlich berichten Autoren, dass bei einer Ost-West-Orientierung der Pflugrichtung der Farbkontrast stark verringert werden kann, da, wenn die Sonne im Süden steht, das meiste Sonnenlicht wegreflektiert wird (WILSON 2000, 60 f.; JONES, EVANS 1975, 2).

Prinzipiell ist es auch möglich, Bodenmerkmale bei leichter Bewölkung zu fotografieren (SCOLLAR et al. 1990, 45), sofern man nur die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes aufzeichnet. Die Verwendung von Infrarot-Materialien kann helfen, die Feuchtigkeitsunterschiede etwas kontrastreicher darzustellen.

10.4.2.3.1.1 Feuchtigkeitsmerkmale

Feuchtigkeitsmerkmale zeigen sich aufgrund einer zeitlich unterschiedlichen Auftrocknungsrate des Oberflächenmaterials im Bereich eingeebener archäologischer Strukturen. Im Kapitel zur Fernerkundung konnte im Zusammenhang mit dem spektralen Reflexionsgrad dargestellt werden, dass ein Sediment mit zunehmender Feuchtigkeit dunkler wirkt (vgl. Kapitel 10.3.1.5). Da die Helligkeit als eine Komponente der Farbe des Bodens mit der Feuchte des Erdmaterials zusammenhängt, sind Feuchtigkeitsmerkma-

le eine weitere Facette der Bodenmerkmale. Sie haben vor allem in jenen Gebieten Bedeutung, wo sich das archäologische Sediment farblich nicht vom umgebenden Boden abhebt (WILSON 2000, 62).

Feuchtigkeitsmerkmale treten nach einer Regenperiode auf und sind meist nur für einige wenige Tage zu sehen. Die Auftrocknung eines Bodens nach einer Regenperiode erfolgt nicht gleichmäßig. Variierende Korngrößenverteilung, Anteil an humosem Material, Hangneigung und Tiefe des Bodens führen zu Unterschieden im Trocknungsprozess (SCOLLAR et al. 1990, 46). Aufgrund der bei den Bodenmerkmalen beschriebenen unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften kann die Füllung eines Grabens oder einer Grube die Feuchtigkeit über einen längeren Zeitraum halten als der umgebende, ungestörte Bereich des Bodens. Das Resultat ist ein dunkleres Erscheinungsbild des gestörten Erdreichs (Abb. 58). Diese Wirkung kann noch verstärkt werden, wenn archäologische Strukturen zusätzlich die eingedrungene Feuchtigkeit wie eine Drainage aus der unmittelbaren Umgebung entziehen. Mauern bzw. Bereiche mit kompaktem Erdreich (z. B. ehemalige Wege oder Grabhügel) oder sandige Bereiche können während des Regens weniger Feuchtigkeit aufnehmen, trocknen rasch wieder aus und haben daher ein helleres Erscheinungsbild.

10.4.2.3.1.2 Frostmerkmale

Der Unterschied im Feuchtigkeitsgehalt zwischen archäologischer Füllung und ungestörtem Bereich bewirkt zu Winterbeginn und am Ende der kalten Jahreszeit auch Temperaturunterschiede im Sediment. Wasser hat im Vergleich zu Bodenmineralien oder Luft eine wesentlich höhere Wärmekapazität (Vermögen, thermische Energie zu speichern) bei geringerer Wärmeleitfähigkeit (STANJEK,



Abb. 59: Frostmerkmal einer Grabenanlage bei Moos, Deggendorf, vom Dezember 1982. Der noch etwas wärmere Boden im Bereich des Grabens konnte die leichte Schneedecke abschmelzen und zeigt sich daher als dunkles Band (© Otto Braasch, Landshut).

FASSBINDER 1996, 252). Daher ändern Sedimente mit geringer Korngröße ihre Temperatur langsamer als jene aus größerem Material.

Zu Winterbeginn kann es vorkommen, dass der Boden bereits unter null Grad Celsius abgekühlt ist, das Sediment einer Grabenfüllung jedoch aufgrund der soeben beschriebenen Eigenschaften noch eine Temperatur über dem Gefrierpunkt aufweist. Wenn zu solch einem Zeitpunkt geringe Mengen von Schnee fallen, so wird dieser über dem Graben früher auftauen (STANJEK, FASSBINDER 1996, 254). Der Graben kann dann als dunkles Band auf einer weißen schneebedeckten Fläche sehr gut erkannt werden (Abb. 59).

Am Ende des Winters stellt sich dieses Phänomen um, und der Graben speichert nun die Kälte. Dadurch bleibt der Schnee über dem Graben länger liegen als im umgebenden Bereich. Im Boden verborgene Mauerfundamente, Schotterungen ehemaliger Straßen aber auch Schotterbänder ehemaliger Bachläufe zeigt das umgekehrte Verhalten: In der Regel bleibt der Schnee am Beginn des Winters über diesen Bereichen länger liegen (Abb. 60).

Otto Braasch hat sich diesen Erscheinungen angenommen und auch zahlreiche Beispiele für Frostmerkmale zusammengestellt (BRAASCH 1985b, 128). Für eine erfolgreiche Suche nach diesen Merkmalen sind „neben einer dünnen Schnee- oder Reifdecke vorhergehende Wetterumschwünge zur Ausbildung genügend starker Temperaturdifferenzen an der Erdoberfläche erforderlich“. Mitunter zeigen sich diese Merkmale nur innerhalb weniger Stunden.

10.4.2.3.2 Bewuchsmerkmale

In ackerbaulich unberührten Gebieten kann man aufgrund von zahlreichen Zeigerpflanzen (z. B. Brennnessel)



Abb. 60: Frostmerkmal einer undatierten Befestigungsanlage bei Galgweis, Deutschland, vom Februar 1983. Deutlich zeichnen sich die drei Gräben durch die etwas dichtere Schneedecke aufgrund der niedrigeren Temperatur ihrer Füllung ab (© Otto Braasch, Landshut).

auf ehemalige menschliche Hinterlassenschaften schließen (biologische Prospektion – siehe z. B. HERBICH 1996). Dort, wo Feldfrüchte angebaut werden, haben diese Pflanzen jedoch kaum Chancen, sich zu entwickeln. Hier sind es Abweichungen im Wachstum der einheitlich angebauten Pflanzen, welche die archäologischen Strukturen mitunter deutlich anzeigen: Die eingangs erwähnten Unterschiede zwischen der Füllung archäologischer Strukturen und dem umgebenden Boden führen auch zu veränderten komplexen Interaktionen zwischen Boden, Nährstoffen, Feuchtigkeit und Vegetation. Dadurch kommt es zu mehr oder weniger deutlichen Differenzen in Wuchshöhe, Dichte und Farbgebung der Pflanzen, die sich als sogenannte „Bewuchsmerkmale“ (*cropmarks*) abzeichnen. Diese sind primär von den Faktoren Boden, Klima und Vegetation abhängig.

Faktor Klima

Wie bereits bei der Beschreibung der Lithosphäre dargelegt, wird nach einem Regen oder künstlicher Bewässerung das Wasser durch Verdunstung, Aufnahme durch Pflanzen, Versickerung und Drainage aufgebraucht. Der Größtenfaktor dieser sogenannten „potenziellen Transpiration“ lässt sich anhand von Modellen und entsprechend zur Verfügung stehender Daten schätzen (siehe dazu (SCOLLAR et al. 1990, 58–66); aktuelle Werte finden sich z. B. auf den Webseiten des Deutschen Wetterdienstes: (www.agrowetter.de <September 2012>).

Ist die Transpiration größer als die zugeführte Wassermenge, so kommt es zu einem „Defizit an Bodenfeuchte“ (*soil moisture deficit* – SMD). Je nach Pflanzenart und Phase des Wachstums erzeugt dieses für die Pflanze früher oder später „Stress“. Derrick Riley konnte in Großbritannien

beobachten, dass eine Reaktion von Getreide in der Regel 7 bis 10 Tage nach dem Einsetzen eines SMD von 100 mm eintrat (RILEY 1979, 31). Die Art der Reaktion fällt unterschiedlich aus, zumeist versuchen die Pflanzen jedoch, ihre Wurzeln tiefer zu verlegen, um dort eventuell vorhandene Feuchtigkeitsreserven aufschließen zu können. Hierbei sind Pflanzen im Bereich einer wiedergefüllten archäologischen Störung im Vorteil. Sie können aufgrund der höheren Feuchtigkeit noch weiterwachsen, was zu größerer Höhe, einem intensiveren Grünton und späterer Reife im Unterschied zu den Nachbarpflanzen führt. Bei Pflanzen über einer verborgenen Mauer ist das Gegenteil der Fall: Sie stellen ihr Wachstum bei geringer Höhe ein, werden früher reif und unterscheiden sich weiters durch eine intensivere Gelbfärbung (vgl. Abb. 69). Derrick Riley hat diese beiden unterschiedlichen Kontraste mit den Termini „*positives*“ bzw. „*negatives Bewuchsmerkmal*“ bezeichnet (vgl. RILEY 1946, 5). Ein positives Bewuchsmerkmal ist demnach dann gegeben, wenn Pflanzen bessere Wachstumsbedingungen vorfinden, negativ nennt man das Merkmal dann, wenn die Pflanzen ein geringeres Wachstum aufweisen oder bisweilen überhaupt nicht aufgehen.

Faktor Boden

Korngrößenverteilung und Porenvolumen (je feinkörniger, desto mehr Feuchtigkeit kann gebunden werden), chemische Unterschiede (Nährstoffe) sowie der pH-Wert sind die wichtigsten Kriterien in Bezug auf den Boden. In den meisten Fällen haben Pflanzen über mit feinerem und humosem Material gefüllten Gräben oder Gruben ein größeres Feuchte- und Nährstoffreservoir zur Verfügung.

Es gibt eine große Bandbreite von Nährstoffen, welche das Wachstum einer Pflanze beeinflussen können. Der bei Weitem wichtigste ist Stickstoff (N), welcher für den Aufbau der organischen Substanz verantwortlich ist (GEISLER 1988, 158, Tab. 2.72 und 164). Während die meisten anderen Nährstoffe innerhalb der obersten Bodenschichten bis in eine Tiefe von etwa 30 cm vorkommen, kann Stickstoff auch in tiefere Schichten geschwemmt werden (JONES, EVANS 1975, 4). Da – wie bereits bei den Feuchtigkeitsmerkmalen erwähnt – Graben- und Grubenfüllungen wie Drainagen wirken, also vermehrt Feuchtigkeit in tiefere Zonen ableiten, könnte dies mit ein Grund sein, weshalb dort mehr Nährstoffe vorhanden sind als im ungestörten Boden vergleichbarer Tiefe.

In Bezug auf die Korngrößenverteilung der Sedimente ist zu beachten, dass Pflanzen nur jene Feuchtigkeit und die darin gelösten Nährstoffe tatsächlich nutzen können, welche in Poren zwischen 2 und 10 µm gelagert ist. Sind die Poren zu klein, hat die Pflanze nicht genug Saugkraft. Sind

sie zu groß, versickert das Wasser (GLAWION 2007b, 420). Generell haben sandige Böden einen geringeren Nährstoffgehalt als tonreiche Böden. Bei Letzteren ist jedoch durch die hohe Adsorptionskraft der Bodenpartikel die hohe Feuchtigkeit nicht für die Pflanzen verfügbar. Daher sind die etwas gröberen lehmigen Böden (Lehm ist ein Gemisch aus Ton (15–45 %), Schluff (15–70 %) und Sand – vgl. AHNERT 1996, 112) am fruchtbarsten, da sie ihren Nährstoffreichtum auch über das Wasser an die Pflanzen weitergeben (GEISLER 1988, 155). Diese Böden können größere Wasserreserven an sich binden, welche den Pflanzen im Falle eines SMD zur Verfügung stehen. Deshalb gelten sie in der Luftbildarchäologie als „schwierige“ Böden:

„In summary, ‘difficult’ soils for recording crop marks and patterns are those in arable areas which are deep and hold large soil moisture reserves ... This reserve can be released to the crop during spells of dry weather“ (EVANS 2007, 19).

Dies führte vielerorts dazu, dass Gebiete mit lehmigen Böden kaum beflogen wurden, da sie weniger gute Resultate erbringen (MILLS, PALMER 2007a; GRADY 2007, 37 ff.). Die geringere Befliegungsintensität verstärkt jedoch die in der Archäologie verbreitete Annahme, dass in solchen Regionen anscheinend weniger gesiedelt wurde und kann somit in einem Zirkelschluss enden (vgl. KIARSZYS et al. 2007).

Da sandige und schotterige Böden rascher austrocknen, zeigen sich dort erwartungsgemäß die meisten und deutlichsten Bewuchsmerkmale, die auch sehr rasch auftreten können (BRAASCH 2005, 29). So waren bei einer Untersuchung in den 1970er Jahren in England von 62 Fundstellen, die als Bewuchsmerkmal ausgeprägt waren, 59 auf Schotterböden gelegen (JONES, EVANS 1975, 7). Dennoch ist – wenn wir auf die Untersuchungen von Gustav Strunk-Lichtenberg zurückgreifen (vgl. Kapitel 10.4.2.3) – die Tiefe des Bodens und die darunterliegende Geologie ein wichtiger Faktor als die Bodenart. In den obersten 50 cm ist der Unterschied in Bezug auf Feuchtigkeit und Nährstoffe zwischen ungestörtem Boden und etwa Grabenfüllung nicht besonders ausgeprägt – und zwar egal, um welche Bodenart es sich handelt (JONES, EVANS 1975, 3; EVANS 2007, 26). Erst darunter sind die Unterschiede mitunter deutlich und unterstützen die Ausbildung von Bewuchsmerkmalen. Diese Beobachtung hat einige Konsequenzen:

Wichtig sind die Tiefe des Bodens und die Art des anstehenden C-Horizontes (vgl. auch RILEY 1983, 72). Wenn dieser aus gut entwässerndem Schotter besteht, sind die Chancen für Bewuchsmerkmale besonders gut. Im Fall von Löss sind die Chancen viel schlechter. Auch die Geschwindigkeit, mit der sich Merkmale ausbilden, hängt davon ab (WILSON 2000, 69).

Im Fall von Mauern kehrt sich diese Situation oft um: Sie zeigen z. B. im Löss einen großen Unterschied zur Umgebung, während sie auf steinigem Untergrund nur schlechte Kontraste abgeben.

Die Tiefe des Bodens kann sich mit dem Geländere Relief oder aufgrund von erosiven Prozessen kleinräumig verändern. Deshalb ist eine höchst unterschiedliche Ausprägung von Bewuchsmerkmalen auf ein und demselben Feld häufig. Manchmal kann man z. B. positive Bewuchsmerkmale nur in kleinen Ausschnitten, sogenannten „Sichtfenstern“ erkennen (Abb. 61).

Vor allem positive Bewuchsmerkmale zeigen sich in der Anfangsphase meist aufgrund von Unterschieden im



Abb. 61: Wampersdorf, NÖ. Häufig sind Bewuchsmerkmale aufgrund der unterschiedlichen Bodentiefe nur innerhalb kleinerer Bereiche eines oder mehrerer Felder zu sehen (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 62: Leobersdorf, NÖ. Getreidefeld mit detaillierten Spuren neolithischer Hausgrundrisse sowie eines Pfostenbaus und eines ehemaligen Windschutzgürtels (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 63: Rothenseehof, NÖ. Im Raps gezeichnete Grubenhäuser und Siedlungsgruben (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

Nährstoffangebot. Erst später, nach Einsetzen eines Defizits an Bodenfeuchte, sind die Feuchtigkeitsreserven in den Gruben- und Grabenfüllungen von Bedeutung.

Faktor Vegetation

Im Prinzip können alle Pflanzen Bewuchsmerkmale anzeigen. Insofern ist der deutsche Begriff Bewuchsmerkmal eine bessere Beschreibung des Indikators als die englischen *cropmarks* (*crop* = Feldfrucht). Je nach Pflanzenart ergeben sich zum Teil erhebliche Unterschiede, was den Zeitpunkt, die Detailliertheit und die Deutlichkeit des Bewuchsmerkmals betrifft. Ein prinzipieller Unterschied besteht in der „Zeiggenauigkeit“ einer Pflanze. Ein Getreidefeld hat einen dichten Wuchs und wird deshalb ein besseres, schärferes Bild erzeugen als z. B. Mais oder die in größerem Abstand voneinander gepflanzten Rüben.

Allgemein gilt *Getreide* als der beste Indikator für unter dem Boden Verborgenes: Es wird großflächig angebaut, hat eine gute Zeiggenauigkeit und reagiert sensibel auf Feuchtigkeitsveränderungen. Gerste wird in der Literatur als die beste Frucht für Bewuchsmerkmale bezeichnet (RILEY 1979, 30). Auch Weizen, Hafer und Roggen zeigen die sich im Boden befindenden archäologischen Strukturen gut an. Unter entsprechenden Bedingungen können Bewuchsmerkmale im Getreide exzellente Indikatoren sogar feinsten archäologischer Strukturen sein. So lassen sich des Öfteren Hausgrundrisse und Pfostensetzungen im Getreide deutlich erkennen (Abb. 62). Verhältnismäßig früh im Jahr bilden sich Bewuchsmerkmale in *Raps* (Abb. 63) aus. Er be-

nötigt jedoch ein trockenes Frühjahr (RILEY 1987, 30).

Auch in anderen Feldfrüchten können für den Archäologen brauchbare Bewuchsmerkmale beobachtet werden. Hülsenfrüchte (z. B. *Erbsen*) gelten als gute Indikatoren. Sie zeigen archäologische Strukturen an, diese sind aber aufgrund der Wuchsform nicht so deutlich wie im Getreide zu erkennen (RILEY 1979, 29). Auf Abb. 64 kann man den Grundriss einer römischen Villa bei Pötttsching erkennen, welcher sich auf unterschiedlichem Bewuchs zeigt (von links nach rechts): Saatweizen, Nacktweizen,



Abb. 64: Pötttsching, NÖ. Römische Villa, welche sich in unterschiedlichen Feldern zeigt. Von links nach rechts: Saatweizen, Nacktweizen, Erbse und Nacktweizen (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 65: Gersdorf, Stmk. Kreisförmiges Gräbchen einer Bestattung in einem Maisfeld (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 66: Pötsching, NÖ. Kreisgrabenanlage in Zuckerrüben (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 67: Winden am See, Bgld. Spuren eines Gebäudes auf einer Grasfläche (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 68: Oslip, Bgld. Neben den Tennisplätzen zeigen sich zahlreiche Grubenhäuser in einem mit Brache bestellten Feld (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

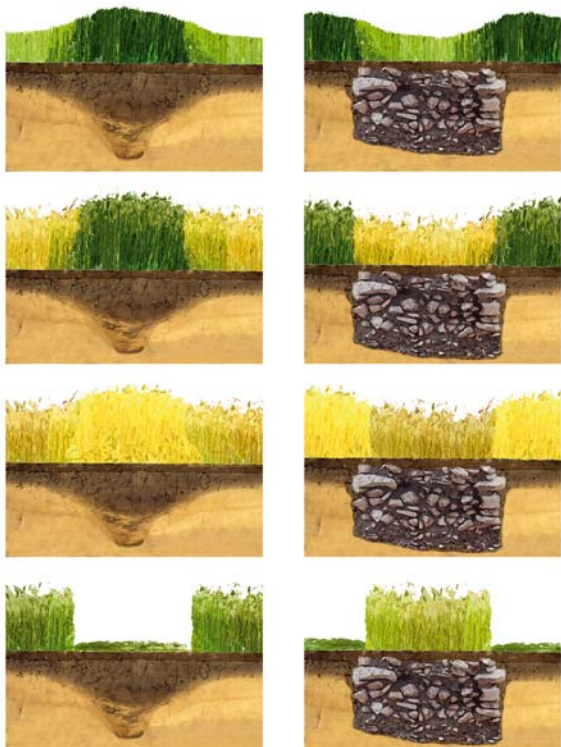


Abb. 69: Schema der Entwicklung von Bewuchsmerkmalen
(© Thomas Pertlwieser).

Erbse und Nacktweizen. Die Mauern zeigen sich in Erbsen allerdings nicht so deutlich.

In den letzten Jahren konnten aufgrund von Projekten im Leithagebiet etwas südlich von Wien sowie in der südlichen Steiermark auch Bewuchsmerkmale in *Mais* beobachtet werden. Mais wird in manchen Gegenden über große Flächen angebaut. Er beginnt spät zu wachsen, was die Bodenerosion verstärkt, da die Bodenoberfläche über einen längeren Zeitraum vegetationslos bleibt und den Kräften von Wind und Wasser schutzlos ausgesetzt ist. Vor allem im jungen Mais konnten zum Teil ausgezeichnete Bewuchsmerkmale dokumentiert werden. Trotz relativ weit auseinanderstehender Maispflanzen lassen sich Gruben, Gräbchen oder Grubenhäuser mitunter sehr deutlich abgrenzen (Abb. 65).

Zuckerrüben gelten prinzipiell als guter Anzeiger von Veränderungen im Boden (RILEY 1979, 29). In Österreich konnte beobachtet werden, dass vor allem die jungen Rüben luftbildarchäologisch gute Ergebnisse bringen können. In Abb. 66 zeigt sich eine mittelneolithische Kreisgrabenanlage bei Bad Sauerbrunn. Der Großteil der Anlage liegt in einem Feld mit Zuckerrüben. Die Detailliertheit ist dabei erstaunlich hoch: Sogar Palisadengräbchen zeichnen sich deutlich ab.

Gras und Weideland sind sehr problematisch. Bewuchsmerkmale zeigen sich dort in erster Linie aufgrund von

Kuhfladen und Wiesenchampignons (sog. Hexenringe). Dennoch kann es in sehr trockenen Phasen zur Ausbildung archäologischer Merkmale kommen. Vom Autor konnten dabei bislang nur die negativen Bewuchsmerkmale römischer Gebäude dokumentiert werden (Abb. 67).

In seltenen Fällen sind archäologische Bewuchsmerkmale auch in *Brache* zu erkennen. Auf Abb. 68 zeigen sich deutlich die Umrisse zahlreicher Grubenhäuser einer noch nicht datierten Siedlung.

Entwicklung von Bewuchsmerkmalen

Prinzipiell zeigen sich im Getreide die Bewuchsmerkmale in mehreren Phasen (vgl. WILSON 2000, 73 f.). Wenn nach dem Säen die ersten Pflanzen aufgehen, können bereits schwache Merkmale zu sehen sein: Pflanzen auf dunklem Boden sind aufgrund der erhöhten Wärmespeicherung bevorteilt und beginnen daher etwas früher zu wachsen. Dies konnte zum Beispiel in einem Maisfeld über einer späteisenzeitlichen Siedlung beobachtet werden (Abb. 70). Etwas später kommt es aufgrund landwirtschaftlicher Tätigkeit häufig zu sogenannten Düngemerkmalen (Abb. 71). Erst danach – je nach Trockenheit der Witterung – bilden sich die „klassischen“ Bewuchsmerkmale aus. Je nach Pflanzenart und Anbaumethode ist dieser Zeitpunkt höchst unterschiedlich. Wintergetreide geht z. B. noch im Herbst auf, was zu früheren Bewuchsmerkmalen und einer entsprechend frühzeitigen Ernte führt.

Die klassischen Bewuchsmerkmale zeigen sich zuerst lediglich aufgrund von Höhenunterschieden, dann auch durch Farbkontraste. Positive Bewuchsmerkmale sind dabei zunächst als dunkelgrüne Bereiche in einer hellgrünen Umgebung zu erkennen (Abb. 72 links oben). Etwas später wandelt sich das Bild. Für einen kurzen Zeitraum, wenn das im ungestörten Bereich angebaute Getreide bereits zu reifen beginnt und die Pflanzen über den Gruben und Gräben noch genug Feuchtigkeit vorfinden, zeigen sich die positiven Bewuchsmerkmale als sehr deutlich zu erkennender Gelb-Grün-Kontrast (Abb. 72 rechts oben). Kurz vor der Ernte, wenn sämtliche Pflanzen gereift sind, kann man positive Merkmale als Hellgelb-Gelb-Kontrast erkennen (Abb. 72 links unten).

Da die Pflanzen über den archäologischen Strukturen aufgrund ihrer besseren Wachstumsbedingungen höher wachsen konnten (bis zu 30 cm Höhenunterschied sind durchaus möglich) und auch größere Ähren entwickeln ergeben sich zwei häufig beobachtete Effekte: Zum einen zeigen sich positive Bewuchsmerkmale in diesem Stadium als helleres Gelb (Abb. 72 links unten), da die größeren Ähren mehr Licht zu reflektieren scheinen. Dies kann vor allem bei Benutzung von Schwarz-Weiß-Aufnahmen dazu füh-



Abb. 70: Prellenkirchen, NÖ. In einem Maisfeld zeigen sich die ersten Pflänzchen über den Bereichen ehemaliger Grubenhäuser (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 71: Ausgeprägte Düngemerkmale (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

ren, dass sie mit negativen Bewuchsmerkmalen verwechselt werden können. Zum Anderen werden positive Merkmale aufgrund ihrer längeren Stängel und schwereren Ähren durch Wind oder Regen umgeknickt, wodurch sie zwar leicht erkannt, aber bei zu großer Distanz und schlechter Auflösung des Bildes ebenfalls mit negativen Merkmalen verwechselt werden können. Die beiden Bilder von Abb. 73 wurden von derselben Fundstelle im Bezirk Bad Radkersburg gemacht. Das linke Bild zeigt die klassischen positiven Bewuchsmerkmale von Gruben. Im etwa 3 Wochen später angefertigten rechten Bild sind große Teile des Getreides umgeknickt, darunter auch exakt jene Halme, welche sich über den Gruben befinden.

Negative Bewuchsmerkmale ergeben sich durch spärliches bis nicht vorhandenes Wachstum. In ähnlicher – allerdings umgekehrter – Weise zeigen sie sich zunächst als hellgrüne Bereiche in einer dunkleren Umgebung, dann als Gelb auf Grün (Abb. 74), um später durch eine intensivere, dunklere Gelbfärbung auf hellgelbem Hintergrund sichtbar zu bleiben (Abb. 75). Durch Wind und Regen werden sie, da sie kürzer und „stämmiger“ sind, in der Regel nicht gebrochen, wohl aber das Getreide in ihrer Umgebung. O. Braasch bemerkt, dass sich seiner Erfahrung nach negative Bewuchsmerkmale nur dann ausbilden, wenn die Oberkante einer im Boden verborgenen Mauer nicht tiefer als 60 cm unter der Erdoberfläche liegt (BRAASCH 2005, 31).

Zusammenfassend ist von Bedeutung, dass Bewuchsmerkmale auf zwei Arten sichtbar werden:

Aufgrund des **Höhenunterschieds**, der aufgrund unterschiedlichster Faktoren alle Abstufungen von extrem schwach ausgeprägt bis zu deutlich sichtbar zeigen kann.

Aufgrund eines **farblichen Kontrastes**, der je nach Zeitpunkt zwischen Hellgrün/Dunkelgrün, Gelb/Grün und Hellgelb/Dunkelgelb variieren kann.

Faktoren der Erkennung

Der Faktor Boden gibt die Bedingungen für die prinzipielle Ausbildung von Bewuchsmerkmalen vor. Die Bodenart verändert sich über die Jahre nur unwesentlich. Dadurch gibt es in Abhängigkeit von vorherrschender Geologie und Böden relativ stabile qualitative und quantitative Unterschiede zwischen einzelnen Regionen, was Vorkommen und Deutlichkeit von Bewuchsmerkmalen betrifft. Klima und Vegetation (gemeint sind hier die ackerbaulich genutzten Pflanzen) sind hingegen extrem variabel und somit jene Faktoren, welche für die unterschiedliche Ausprägung von Merkmalen in einer Region verantwortlich sind. Der Zeitpunkt einer Befliegung ist aus diesem Grund wichtig. Dieser kann regional höchst unterschiedlich sein. Die Erfahrung zeigt, dass es kein Jahr ohne Bewuchsmerkmale gibt – selbst in extrem verregneten Jahren zeigen sich diese, wenn auch nicht so deutlich. Mitunter gibt es jedoch auch kleinräumige Unterschiede.

Ein wichtiges Kriterium für die gute Erkennbarkeit von Bewuchsmerkmalen ist auch die Blickrichtung. Hat man die Sonne im Rücken, so zeigen sich die Farbkontraste am deutlichsten. Beim Blick in Richtung Sonne sind wiederum die Schatten am besten zu erkennen. Bewuchsmerkmale, welche sich nur aufgrund ihres Wuchshöhenunterschieds zeigen, kann man daher nur gegen die Sonne fotografieren. Jene Merkmale, die sich sowohl aufgrund von Wuchshöhe als auch farblichen Kontrast zeigen, sollte man mit dem



Abb. 72: Hanfthal, NÖ. Grubenhäuser einer ausgedehnten, mehrphasigen Siedlung. Links oben: Grün-Grün-Kontrast, rechts oben: Grün-Gelb-Kontrast, links unten: Gelb-Gelb-Kontrast (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 73: Hummersdorf, Stmk. Die Getreidepflanzen, welche Ende Mai noch positive Bewuchsmerkmale ausgebildet hatten sind Ende Juni durch heftigen Wind und Regen umgebrochen und zeichnen die Siedlungsgruben noch gut nach (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

Flugzeug umkreisen und möglichst aus beiden Richtungen fotografieren. In jedem der Bilder wird man dann unterschiedliche Details der angezeigten Strukturen besser oder schlechter erkennen (Abb. 76). In Kombination enthalten sie die meiste Information.

Dieser Umstand hat jedoch noch eine andere, viel wichtigere Implikation: Strukturen, welche durch Bewuchsmerkmale angezeigt werden, können, wenn sie man aus der in Bezug zur Sonne falschen Richtung sucht, oft nicht erkannt werden und bleiben somit undokumentiert. Deshalb



Abb. 74: Carnuntum, NÖ. Ausschnitt aus der Lagerstadt. Im linken Feld zeigen sich die Mauern und Straßen als Grün-Grün-Kontrast, während im Feld rechts davon bereits Gelb-Grün-Kontraste erscheinen (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



Abb. 75: Carnuntum, NÖ. Ausschnitt aus der Lagerstadt. Die Mauern und Straßen zeigen sich als Gelb-Gelb-Kontrast (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

ist es bei systematischen Befliegungen wichtig, ein Gebiet möglichst aus beiden Blickrichtungen zu erkunden. Eine weitere Schwierigkeit kann sich bei Bewuchsmerkmalen aus der Flureinteilung einer Region ergeben. In vielen Regionen werden auf benachbarten Feldern unterschiedliche Pflanzen angebaut. Dies führt vor allem dort, wo die einzelnen Ackerflächen klein sind, zu sehr unterschiedlichen Bedingungen

für Bewuchsmerkmale. Fundstellen zeigen sich in diesen Gebieten oft nur ausschnittsweise. Ein Beispiel aus Trausdorf im Burgenland demonstriert dies sehr deutlich. Je nach angebauter Feldfrucht lassen nur einige der langen, schmalen Äcker Bewuchsmerkmale von kreisförmigen Gräbchen eines Gräberfeldes sichtbar werden. Erst nach mehreren Jahren kann man – sofern über die Jahre hinweg alle Felder mit

entsprechend anzeigenden Pflanzen bestellt wurden – in solchen Fällen zu einem Gesamtbild der strukturellen materiellen Hinterlassenschaft gelangen (Abb. 77).

Faktoren der Interpretation

Wie bereits weiter oben erwähnt, spricht man je nach Wachstum der Pflanzen von einem positiven (Pflanzen wachsen besser) oder negativen (schlechtes bis verkümmertes Wachstum) Bewuchsmerkmal. In der Regel verbindet man ein positives Bewuchsmerkmal mit darunter gelegenen Gräben und Gruben, ein negatives mit Mauern und Straßen. Dies muss aber nicht immer der Fall sein: Auch Gräben können mit im Unterschied zur Umgebung kompakterem Material gefüllt sein, und sich dadurch als negatives Bewuchsmerkmal zeigen. Dieses Phänomen konnte zum Beispiel an der mittelneolithischen Kreisgrabenanlage von Strögen beobachtet werden (Abb. 78). Ein positives lineares Merkmal muss auch nicht immer

als Graben interpretiert werden. Sie kann auch von einem beraubten Mauerfundament stammen (wobei es sich dann streng genommen sehr wohl um einen Graben handelt).

Auf eine paradox anmutende Situation konnte O. Braasch aufmerksam machen. Bei Pocking/Hartkirchen



Abb. 76: Sigleß, Bgld. Quadratisches Fundament, als negatives Bewuchsmerkmal mit Gelb-Gelb-Kontrast. Links: Blickrichtung mit der Sonne im Rücken. Rechts: Blickrichtung zur Sonneneinstrahlung (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

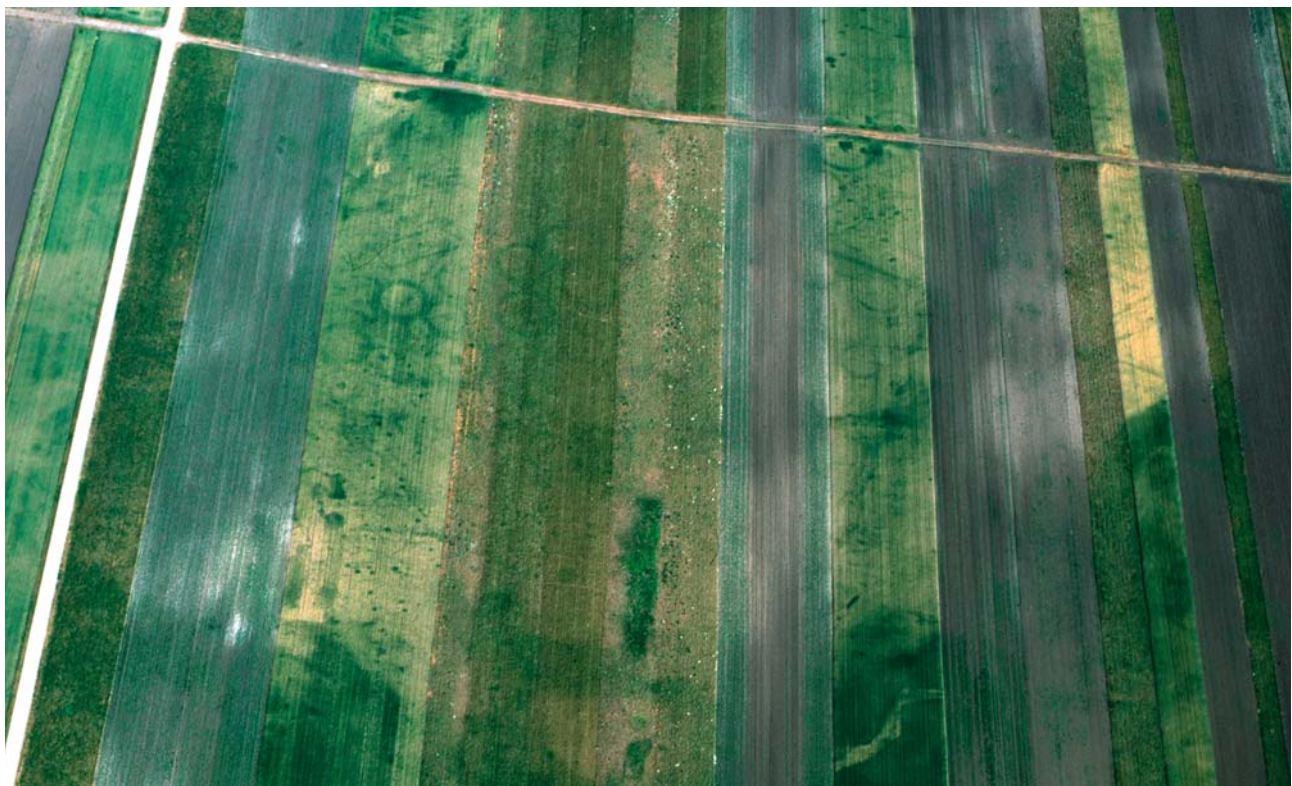


Abb. 77: Trausdorf, Bgld. Bestattungsplatz, welcher aufgrund der schmalen Parzellierung und dem damit verbundenen uneinheitlichen Bewuchs nur ausschnittsweise Bewuchsmerkmale zeigt (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

Abb. 78: Strögen, NÖ. Mittelneolithische Kreisgrabenanlage, deren Gräben sich in einem Erbsenfeld als negative Bewuchsmerkmale zeigen (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).



zeigte sich der Graben einer latènezeitlichen Viereckschanze zunächst als positives Bewuchsmerkmal, um dann einen Monat später als negativer Kontrast in Erscheinung zu treten (BRAASCH 1985a). Eine Erklärung dafür bieten H. Stanjek und J. Faßbinder an (STANJEK, FASSBINDER 1996, 254): Aufgrund der großen Biomasse in den als positives Merkmal sichtbaren Pflanzen wurde die im Graben enthaltene Feuchtereserve im Endeffekt schneller aufgebraucht. Dies führte in der Folge zur Ausbildung negativer Bewuchsmerkmale.

Bewuchsmerkmale gelten als die besten und deutlichsten Hinweise auf verborgene Strukturen. Auch wenn sich Getreidewurzeln größtenteils in einer Tiefe von 30 oder 40 cm befinden, können einzelne Pflanzenwurzeln sehr tief in den Boden eindringen. Im niederösterreichischen Horn konnten in Kalkbraunerdeböden durchschnittliche Wurzeltiefen des Winterweizens von 1,4 m gemessen werden (KUTSCHERA 1960, 123). Dies erklärt die Ergebnisse von Gustav Strunk-Lichtenberg, dass Pflanzen auch dann Bewuchsmerkmale entwickeln, wenn sich Unterschiede zwischen Füllmaterial und ungestörtem Boden erst in einer Tiefe von 0,7 m zeigen. Dies bedeutet zudem, dass in Abhängigkeit von der Wurzeltiefe eine Pflanzenart auch dann archäologische Strukturen anzeigen kann, wenn diese von einem Kolluvium verschüttet sind. Andererseits können Bewuchsmerkmale bei starker Erosion oft schlecht ausgeprägt bis gar nicht sichtbar sein (SCOLLAR et al. 1990, 52; WILSON 2000, 84).

David Wilson macht noch auf einen weiteren wichtigen Umstand aufmerksam (WILSON 2000, 84): Bewuchsmerkmale zeigen auch archäologische Strukturen, deren Füllun-

gen sich optisch nicht vom umgebenden Sediment unterscheiden. Dies ist zum Beispiel bei vielen Gräberfeldern der Fall, wo bei einer Ausgrabung die Umrisse der Grabgruben nur mit Mühe erkannt werden können, obwohl sie im Luftbild deutlich sichtbar waren.

10.4.3 Der Blick von oben

Alle besprochenen Sichtbarkeitsmerkmale können auch vom Boden aus wahrgenommen werden. Beobachtungen von Färbungen der Bodenoberfläche lassen sich etwa bei systematischen Begehungsprojekten kartieren. Geht man an einem beliebigen Tag im Frühsommer entlang von Getreidefeldern, kann man in diesen Wuchshöhenunterschiede sowie farbliche Änderungen der Halme und Ähren mitunter deutlich erkennen (Abb. 79). Von dieser bodennahen Perspektive lassen sich jedoch in der Regel keine Aussagen darüber machen, ob bzw. welche Strukturen diesen veränderten Farben, Helligkeitsabstufungen und Höhenunterschieden zugrunde liegen. Die Form ihres Grundrisses lässt sich ebenso wenig erkennen, wie Bezugswinkel, mögliche parallele Linienführungen oder ihr Zusammenhang, kurzum das Muster, welches sie an der Erdoberfläche abbilden.

Erst von einem erhöhten Standpunkt aus werden die Zusammenhänge klarer erkennbar und ein Muster beginnt sich abzuzeichnen. Je höher der Standpunkt, desto deutlicher wird dies, da irrelevante Details ausgeblendet und durch die Informationsreduktion das Wesentliche besser wahrgenommen werden kann (SCOLLAR et al. 1990, 29) (vgl. Kapitel 10.4.5.1). So beginnt man, einen „Sinn“ in den am Boden



Abb. 79: Carnuntum, NÖ. Links: Vom Boden aus gesehen kann man Unebenheiten im Bewuchs des Getreides erkennen, sie jedoch nicht interpretieren. Rechts: erst aus der Luft lassen sich die Unterschiede deuten. Der Pfeil markiert Position und Blickrichtung des linken Bildes (© Michael Doneus).

als wirr und zusammenhanglos erschienenen Formationen zu erkennen. Farbunterschiede werden zu Linien, welche wiederum Umrisse formen, die man je nach Vorwissen und Intuition als Gebäude, Straßen oder Umfassungsmauern interpretieren kann (Abb. 79, rechts).

Gleichgültig, ob die Wahrnehmung in der Luft anhand der Erdoberfläche oder im Büro anhand eines Luftbildes stattfindet, es gilt diese Muster zu erkennen und als archäologisch relevant zu interpretieren. Auch wenn dies ein höchst individueller, subjektiver Akt ist, so hat die Geschichte der Luftbildarchäologie deutlich gezeigt, dass diese Methode äußerst erfolgreich ist.

In der postprozessualen Literatur zur Landschaftsarchäologie wird die „Ausblendung“ des Individuums durch das Luftbild kritisiert. Der Blick von oben sei ein „being everywhere at once and nowhere in particular“ (INGOLD 1993, 155). Luftbilder seien Illustrationen, welche „Distanz“ erzeugen. Die Landschaft wird in einer Perspektive wiedergeben, die dem prähistorischen Menschen fremd wäre (THOMAS 1993, 25). Ähnlich argumentiert Matthew Johnson. Er erkennt in der Benutzung von Luftbildern ein Relikt des Romantizismus. Der Mensch verliere in der distanzierten Betrachtungsweise seine Bedeutung:

„...we are seduced by the aesthetic appeal of the scene laid out before us in our elevated position, and turn it into a spectacle rather than regard it as an arena for human action. Human beings are either absent entirely, or become ant-like figures in the background; their homesteads and crofts have either been destroyed long ago, or only survive in the fine detail“ (JOHNSON 2007, 93).

„From the air photo, human beings are either tiny or non-existent. Instead, the pattern of the landscape dominates and is shown off in a manner that subtly suggests that it is independent of human agency. The complex and multi-layered nature of the contents of aerial photographs need, like a difficult puzzle, decoding“ (JOHNSON 2007, 90).

Diese Kritik mag berechtigt sein, sie zielt aber an einem wesentlichen Punkt vorbei: Die von den hier angeführten Postprozessualisten kritisierte Distanz wird geschaffen, um die Spuren menschlicher Strukturen überhaupt erkennen und dokumentieren zu können. Die Kritik richtet sich wohl vielmehr gegen jene Nutzung von Luftbildern, welche ohne Interpretation als Illustration verwendet werden. Insofern ist diese Kritik berechtigt und betont die Notwendigkeit der detaillierten archäologischen Interpretation von Luftbildern. Erst diese kann es schaffen, die zur Entdeckung notwendige Distanz wieder zu überbrücken und sich dem Menschen als Ziel der Archäologie zu nähern.

Insofern bezieht sich diese Kritik auf ein Verständnis von Luftbildern und ihrer Aussage, welches auch in der luftbildarchäologischen Gemeinschaft häufig gegeben und bis heute Thema fortlaufender Debatten ist. So wird in der Luftbildarchäologie anstelle von Siedlungen, Gräbern, Gruben oder Gräben häufig von *cropmarks*, bisweilen sogar von *cropmark landscapes* gesprochen (siehe auch die Kritik PALMER 2000, 3). Durch diese Terminologie wird bewusst oder unbewusst die Distanz zur Archäologie gewahrt und die zentrale Rolle der Interpretation untergraben. Die Luftbildarchäologie wird zur bloßen Technik des Fotografierens von Sichtbarkeitsmerkmalen aus einem Flugzeug heraus.

10.4.4 Datenherstellung

Die Flugprospektion und damit verbunden die Herstellung von Luftbildern bildet den wichtigsten Teilbereich der Luftbildarchäologie. Angesichts der rasch fortschreitenden Zerstörung weiter Landstriche durch Erosion, Abbau von Schotter, Kohle etc. oder größeren Bauvorhaben ist sie die einzige Möglichkeit, die uns geblieben ist, unser kulturelles Erbe vor seiner endgültigen Zerstörung zu finden und (zumindest) zu dokumentieren. Denn erst wenn eine archäologische Fundstelle bekannt ist, können denkmalpflegerische Maßnahmen ergriffen werden. Zudem sind auch in sämtlichen weiteren Vorgehensweisen der Luftbildarchäologie Befliegungen oder zuvor hergestellte Luftbilder das grundsätzliche Arbeitsmittel.

Alle besprochenen Sichtbarkeitsmerkmale können an der Erdoberfläche im Spektralbereich des sichtbaren Lichtes, also mit unseren Augen wahrgenommen werden. Daher bedarf es keiner komplizierten Apparaturen zur Messung physikalischer Eigenschaften, um luftbildarchäologisch arbeiten zu können.

Bei der Herstellung archäologischer Luftbilder spielt vor allem der richtige Zeitpunkt eine wichtige Rolle. Je nach Art, Größe und Formation der archäologischen Struktur sowie der Landnutzung und Tiefe des Bodens kann ihre prinzipielle Sichtbarkeit von Quadratmeter zu Quadratmeter variieren. Zusätzlich präsentiert sich in Abhängigkeit von Witterung, Art der Feldfrucht und Sonnenstand ein und dieselbe Fundstelle über den Tagesablauf, innerhalb von wenigen Wochen und Jahreszeiten oder durch die Jahre hinweg mit variierender Deutlichkeit und Detailreichtum. Erstreckt sich eine Fundstelle über mehrere Felder, so ist nur in Ausnahmefällen die gesamte Ausdehnung auf einmal im Detail zu erkennen. Deshalb ist eine wiederholte Befliegung und Dokumentation für ein umfassendes Bild der materiellen Hinterlassenschaft unbedingt notwendig. Die mittlerweile jahrzehntelange Erfahrung hat also gezeigt, dass die Flugprospektion ihr volles Potenzial erst bei systematischen, wiederholten Befliegungen weiter Landstriche ausschöpfen kann. So konnte allein O. Braasch bis 1995 über 47.000 Fundstellen in Deutschland aus der Luft ausfindig machen (BRAASCH 1996, 16 und Abb. 1).

Prinzipiell unterscheidet man zwei Arten von Luftbildern: Senkrecht- und Schrägaufnahmen. Der Hauptunterschied liegt, wie bereits die Benennung zeigt – in der unterschiedlichen Blickrichtung. Auch wenn beide Arten von Aufnahmen in der Luftbildarchäologie Verwendung finden, sind abgesehen von ihren unterschiedlichen Perspektiven auch der eigentliche Zweck, das prinzipielle Motiv, die verwendete Technologie, die Art der Befliegung, die Kartierungsgenauigkeit und die Aussagemöglichkeiten unterschiedlich. Über

den Wert vor allem von Senkrechtaufnahmen wurde lange Zeit zum Teil heftig debattiert (vgl. weiter unten).

10.4.4.1 Schrägaufnahmen

Schrägaufnahmen beziehungsweise deren Herstellung gelten als wichtigste Stufe des luftbildarchäologischen Prozesses. Wichtig ist dabei ein archäologisch geschulter Pilot oder Mitflieger, die mit „bloßen“ Augen archäologische Spuren aus dem Flugzeug heraus suchen, identifizieren und aus dem Seitenfenster des Flugzeuges heraus mit der Kamera (meist Kleinbild oder Mittelformat) auf Film oder digitalen Sensor dokumentieren. In den meisten Fällen werden dabei einmotorige Hochdecker (z. B. Cessna 172) verwendet. Beim Hochdecker sind die Flügel oberhalb der Kabine angebracht. Dadurch hat man das gesamte Sichtfeld nach unten frei. Beim Tiefdecker sitzt die Kabine auf den Flügeln, wodurch das Sichtfeld stark eingeschränkt ist. Nähere Informationen zu praktischen Aspekten der Durchführung finden sich in zahlreichen Publikationen (u. a. BRAASCH 2005, 42 ff., 1992; MUSSON 1995; PICKERING 1995; CRAWSHAW 1995; RILEY 1987, 41 ff.).

Der große *Vorteil* dieser Art der Bildherstellung ist, dass während der Dokumentation Blickwinkel, Brennweite, Flughöhe, Anzahl und Richtung der Überblicks- und Detailaufnahmen sowie Aufnahmesensor in Abhängigkeit von der Fundstelle variiert werden können. Dadurch liegt ein optimales Ergebnis die für die spätere Interpretation vor. Die Herstellung von Schrägaufnahmen kann flexibel betrieben werden, d. h., man hat die Möglichkeit, je nach Wetter- und Witterung kurzfristig Gebiete zu befliegen und je nach Ergiebigkeit mehr oder weniger intensiv zu untersuchen. Zudem werden die im Vergleich geringen Kosten sowie die aufgrund des meist näheren Abstandes zum Objekt hohe Detailwiedergabe der Bilder als positiv bewertet.

Aufgrund der mehr oder weniger schrägen Ansicht von oben weisen Schrägaufnahmen eine unterschiedlich starke perspektivische Verzerrung auf. Diese kann vor allem bei Illustrationszwecken hilfreich sein, da die Bilder die materielle Hinterlassenschaft in ihrem landschaftlichen Kontext darstellen. Dadurch sind sie auch von Laien leicht zu verstehen. Nachteilig wirken sich die perspektivischen Verzerrungen bei der detaillierten archäologischen Interpretation der fotografierten Sichtbarkeitsmerkmale aus. In vielen Fällen ist es unmöglich, die Geometrie der Strukturen aus der Schrägaufnahme heraus zu bewerten oder lineare Anordnungen zu erkennen. Zudem kann es sich als äußerst schwierig erweisen, einzelne Gruben in zwei Aufnahmen, die aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen worden waren, zu identifizieren. Deshalb ist eine Entzerrung der Bilder vor einer detaillierten Interpretation notwendig.

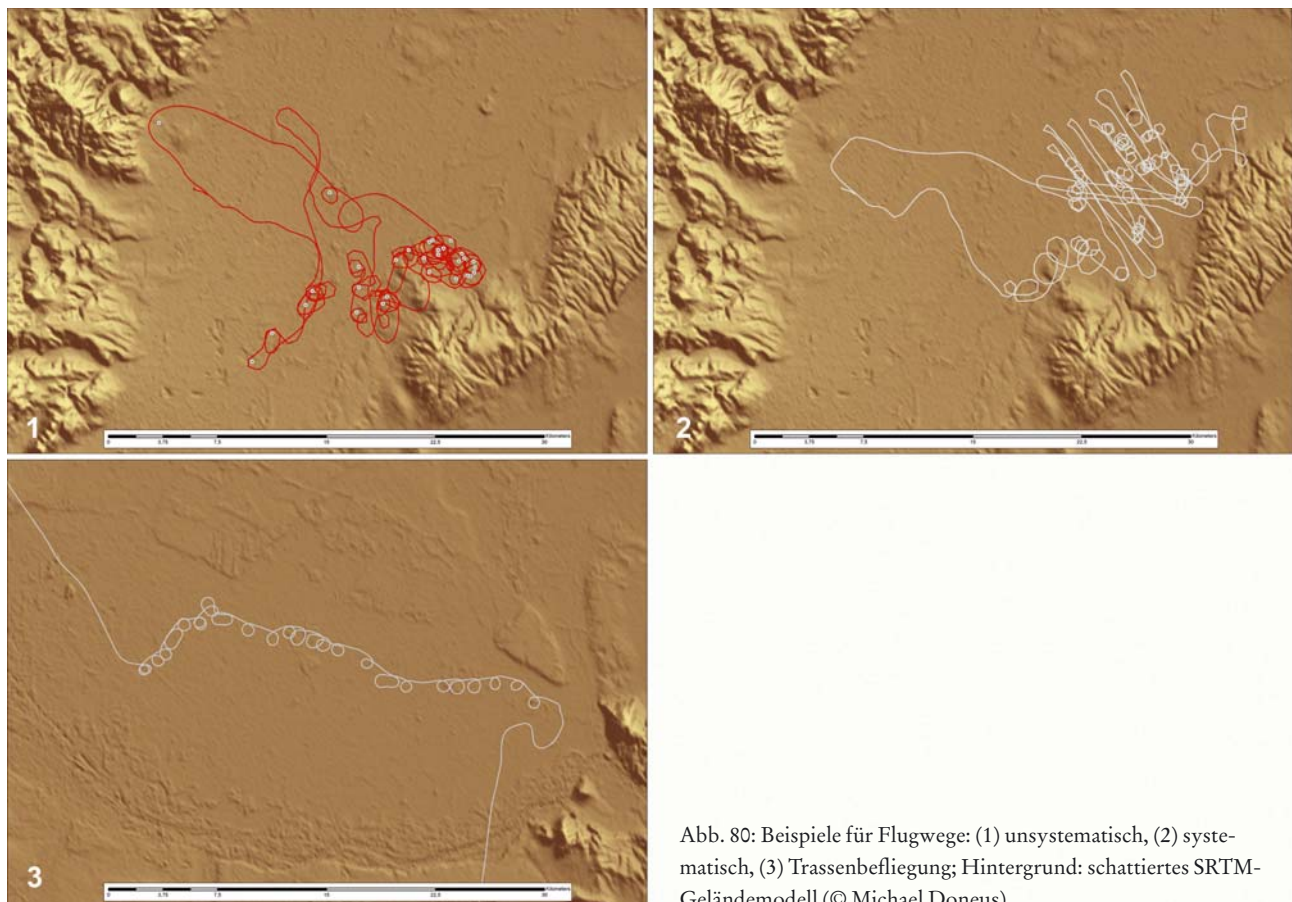


Abb. 80: Beispiele für Flugwege: (1) unsystematisch, (2) systematisch, (3) Trassenbefliegung; Hintergrund: schattiertes SRTM-Geländemodell (© Michael Doneus).

Diese ist aber im Fall von Schrägaufnahmen in der Regel schwierig und im Falle eines nicht ebenen Geländes verhältnismäßig ungenau (meist > 1 m).

Schrägaufnahmen (zumindest jene Schrägaufnahmen, die nicht von vornherein für Illustrationszwecke geplant sind) sollten daher so hergestellt werden, dass sie für eine im Rahmen der Interpretation notwendige Entzerrung benutzt werden können. Dies bedeutet, dass ihr ästhetischer Wert nicht im Vordergrund steht. Viel wichtiger ist es, sicherzugehen, dass genügend Passpunkte (mindestens vier) um die dokumentierten Strukturen herum mit abgebildet sind. Zwar gibt es Möglichkeiten, durch Verknüpfungspunkte oder sekundäre Passpunkte auch jene Bilder in eine Entzerrung mit einzubeziehen, welche zu wenige Passpunkte aufweisen, der dafür nötige Aufwand steigt jedoch beträchtlich (DONEUS 2001b). R. Palmer nennt jene Bilder, welche unter diesen Gesichtspunkten aufgenommen wurden, „*working photographs*“ und unterscheidet diese von den „*illustrations*“, deren Wert er mit durch Raubgrabung entstandenen Funden vergleicht (PALMER 2005, 95).

Während der Befliegung kann jeweils nur ein kleiner Ausschnitt des Sichtfeldes tatsächlich nach Sichtbarkeits-

merkmalen abgesucht werden. Es gibt daher unterschiedliche *Strategien der Befliegung*:

Das Nachfliegen einer linearen Strecke, z. B. einer Fluss-terrasse, einer Straßentrasse bzw. das Abfliegen kleinerer Flächen zukünftiger Bauvorhaben. Diese Art der Befliegung findet häufig im Rahmen des Denkmalschutzes statt. Da erfahrungsgemäß nicht viel Zeit zur Verfügung steht, können in der Regel nur ein bis drei Befliegungen durchgeführt werden. Umso wichtiger ist in diesen Fällen das Vorhandensein von Ergebnissen systematischer Befliegungen mit Senkrecht- und Schrägaufnahmen, welche in einem bestehenden Archiv rasch aufgefunden und interpretiert werden können (Abb. 80/3).

Das unsystematische Befliegen ist vor allem dann gegeben, wenn man bestimmte, bereits bekannte Fundstellen abfliegen möchte, um ein Monitoring durchzuführen und eventuell neue, zuvor noch nicht gesehene Details zu dokumentieren. Manchmal finden solche Flüge statt, um das momentan gegebene Potenzial des Vorhandenseins von Sichtbarkeitsmerkmalen in einer Region zu bestimmen (Abb. 80/1).

Vor allem bei geringem Flugbudget und der Möglichkeit zur Herstellung von Senkrechtaufnahmen ist dies eine Al-



Abb. 81: Asparn/Zaya, NÖ. Barocke Gartenanlage, welche trotz mehrfacher Befliegung bisher nur ein einziges Mal aus der Luft gesichtet werden konnte (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

ternative zur systematischen Befliegung: Durch unsystematisches Monitoring kann man die vermutlich ertragreichsten Gebiete sondieren und möglichst rasch durch Senkrechtaufnahmen dokumentieren lassen. Diese Strategie wird häufig in Österreich durchgeführt, wo zwar ein meist sehr geringes Budget für Befliegungen gegeben ist, aber durch ein Kooperationsabkommen mit dem österreichischen Bundesheer die Herstellung von Senkrechtaufnahmen unter Vorgabe von Gebiet, Zeitpunkt, Maßstab und Filmmaterial möglich ist (DONEUS 1995, 123 f.; BOHLY 1982; FRIESINGER, NIKITSCH 1982).

Das systematische Absuchen eines großen Gebietes (Abb. 80/2). Dies ist die typische Vorgangsweise, wenn es um landschaftsarchäologische Fragestellungen geht. Dabei wird das Gebiet in parallelen Bahnen systematisch zu 100 Prozent abgesucht. Die Bahnen werden dabei so gelegt, dass je nach zu erwartendem Sichtbarkeitsmerkmal und Sonnenstand eine ideale Erkennbarkeit der Merkmale gewährleistet ist. Da sich gerade die wichtigen Bewuchsmerkmale aufgrund von Farbunterschied und Schatten zeigen können, also sowohl der Blick zur und gegen die Sonne wichtig sein kann, werden die einzelnen Bahnen in beide Richtungen beflogen. Wird eine Fundstelle entdeckt, so wird sie umkreist und Bilder aus den für die Interpretation jeweils am besten erscheinenden Richtungen erzeugt. Unter günstigen Verhältnissen kann jedoch die Dichte der zu dokumentierenden Strukturen so groß werden, dass eine vollständige Dokumentation in Form von Schrägaufnahmen nur schwer möglich erscheint. Um daher sicherzugehen, dass bei solch günstigen Gelegenheiten alle

Strukturen garantiert dokumentiert werden, hat es sich als die sinnvollste Möglichkeit erwiesen, das Gebiet zusätzlich mit Senkrechtaufnahmen dokumentieren zu lassen.

Wichtig ist außerdem, dass das systematische Befliegen einer Region wiederholt stattfindet. Die Erfahrung vor allem aus Deutschland und Großbritannien zeigt, dass dort trotz intensivster Befliegungen, welche nun bereits Jahrzehnte andauern, immer noch zahlreiche neue Fundstellen entdeckt werden können. Dies kann auch an Beispielen aus Österreich demonstriert werden. In Asparn an der Zaya konnten in dem extrem trockenen Jahr 2003 zum ersten Mal die Spuren einer barocken Gartenanlage im Bewuchs dokumentiert werden, und das, obwohl dieser Bereich seit den späten

1970er Jahren fast jährlich beflogen worden war (Abb. 81).

Auch wenn Karten noch immer das wichtigste Werkzeug bei der Navigation und Orientierung sind, hat sich bei allen Strategien der Befliegung die Verwendung eines *GPS-Empfängers* als mittlerweile unentbehrliches Werkzeug vor allem bei der Dokumentation herausgestellt. Dieses etwa handgroße Instrument kann in Echtzeit Signale von bis zu 12 Satelliten verarbeiten und daraus seine momentane Position bestimmen. Per Knopfdruck lässt sich diese auch unter einer fortlaufenden Nummer abspeichern. Des Weiteren wird der gesamte Flugweg aufgezeichnet. Somit werden die Lage der während einer Befliegung erkannten und dokumentierten Fundstellen entweder auf Karten markiert oder – falls vorhanden – per Knopfdruck im GPS-Empfänger gespeichert und später gemeinsam mit dem aufgenommenen Flugweg in ein geografisches Informationssystem (GIS) integriert.

Bei der Aufzeichnung des gesamten Flugweges wird je nach individueller Einstellung in bestimmten Abständen – meist alle 5 oder 10 Sekunden – automatisch die aktuelle Position des GPS-Empfängers gespeichert. Damit können auch jene Gebiete dokumentiert werden, in denen trotz Befliegung keine Fundstellen entdeckt wurden. Dies ist eine sehr wichtige Information für zukünftige Flugplanungen, da durch Kartierung der Flugwege im GIS jene Bereiche erkannt werden können, welche bis dato gar nicht oder kaum beflogen wurden. Zudem geben die kumulativen Flugwege auch wichtige quellenkritische Informationen: Anhand der durch Flugwege rekonstruierbaren Befliegungsdichte

lassen sich Lücken in der archäologischen Verbreitungskarte besser Quellenkritisch interpretieren.

Ihr größter *Nachteil* liegt darin, dass Schrägaufnahmen ein Resultat einer zuvor stattgefundenen Interpretation sind. Dabei muss vom Archäologen sehr oft eine rasche Entscheidung gefällt werden, ob die auf der Erdoberfläche wahrgenommenen Farbkontraste oder Schatten archäologisch zu deuten sind oder nicht. Rog Palmer problematisiert dies angesichts der Tatsache, dass sich vielerorts Luftbildarchäologie fast ausschließlich auf Schrägaufnahmen stützt:

„... the majority of these photographs are oblique views that have been taken after an observer's 80mph decision that the ground 1500 ft below holds something of archaeological merit or will make an otherwise pleasing view. I pose the question whether this brain in the air is what we really require to guide the principal means of data collection ...“ (PALMER 2005, 95).

R. Palmer nennt diese Art der Bildherstellung beobachtungsgeleitet (observer-directed photography) und unterscheidet sie von der unvoreingenommenen blockweisen Senkrechtaufnahme (unbiased block cover) (PALMER 2005, 103 und 105).

Beobachtungsgeleitete Aufnahmen sind oft tendenziös. Zum einen sind sie sehr stark vom Vorwissen der Person, welche die Beobachtung und Dokumentation durchführt, beeinflusst bzw. selektiert. Zum anderen werden – sofern keine systematisch zu prospektierenden Gebiete vorliegen – bevorzugt jene Gebiete befliegen, die sich bereits als günstig herausstellten und die daher erfolgsversprechend sind. Sie werden oft als „Honigtöpfe“ (*honeypot-areas*) bezeichnet (COWLEY 2002, 257 f.; COWLEY, GILMOUR 2005, 55). Dies führt in der Folge zu Verzerrungen in den resultierenden archäologischen Karten, wie dies zum Beispiel in England anhand der Gebiete mit schweren Böden demonstriert werden konnte (PALMER 2007). Andererseits ist es schwierig, ohne fixes Budget Befliegungen in wenig erfolgreichen Gebieten aufrechtzuerhalten, da die Geldquellen aus Mangel an Ergebnissen bald versiegen könnten (vgl. GOJDA 1994, 24). David Wilson erwähnt weitere tendenziöse Praktiken (WILSON 2005a): So wird von den meisten Luftbildarchäologen vor allem Archäologisches dokumentiert und andere Informationen (etwa Geologie, Landnutzung, ...), welche für eine

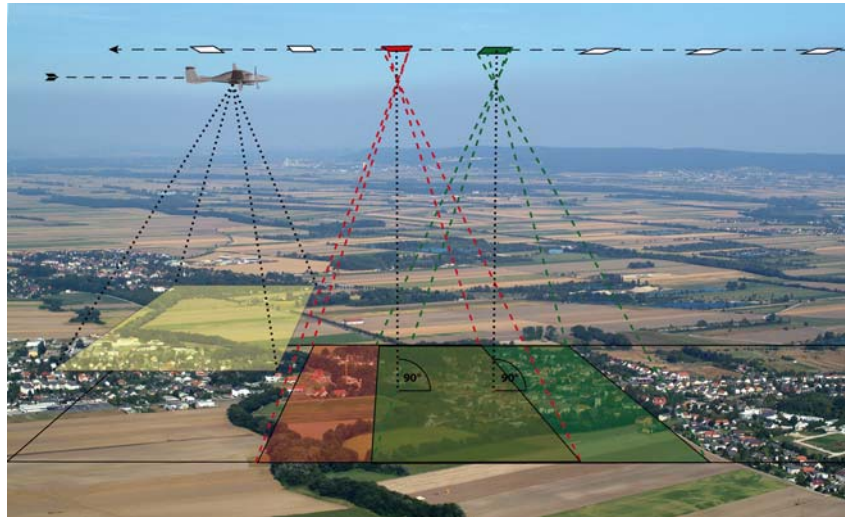


Abb. 82: Schema eines Reihenbildfluges zur stereoskopischen Dokumentation eines begrenzten Gebietes mit Senkrechtaufnahmen (Grafik: Michael Doneus nach Voss 1987, Bild 3).

landschaftsarchäologische Auswertung von Interesse wären, ignoriert. Vorgefasste Meinungen (etwa, dass es in bestimmten Regionen aufgrund von Böden, Entfernung zu Wasser etc. nichts Bedeutsames zu finden gäbe), oder die Tendenz, Unbekanntes zu ignorieren oder mit nur geringem Aufwand auf (zu) wenigen Bildern zu dokumentieren, tragen ebenfalls zu Verzerrungen in einem Verbreitungsbild bei.

Die Schrägaufnahme ist also das Ergebnis eines aktiven Prozesses, bei dem ein Sichtbarkeitsmerkmal durch zahlreiche Filter hindurch als archäologisch relevant wahrgenommen und auf fotografischem Weg nach Gutdünken des (archäologischen) Fotografen dokumentiert wird. In diesem Sinn ist sie von gleichem Stellenwert wie eine freigelegte Schichtoberfläche einer Grabung. Beide bedürfen einer Interpretation, für die der Herstellungskontext von großer Bedeutung ist.

10.4.4.2 Senkrechtaufnahmen

Die zweite Kategorie von Luftbildern sind die in sogenannten „Reihenbildflügen“ hergestellten Senkrechtaufnahmen, wobei ein Flugzeug, an dessen Boden eine Messkamera mit Blickrichtung nach unten montiert ist, das aufzunehmende Gebiet mäanderförmig abfliegt (Abb. 82). Die Intervalle, in denen der Auslöser betätigt wird, sind dabei meist so gewählt, dass zwei benachbarte Luftbilder sich um etwa 60 Prozent überlappen. Zwei benachbarte Streifen haben meist eine Überlappung von 30 Prozent.

Bei den verwendeten Kameras handelt es sich zumeist um fotogrammetrische Messkamern, mit einem Bildformat von 23 x 23 cm (Näheres zu den zugrunde liegenden Kameras: LILLESAND, KIEFER 2000, 98 ff.; KRAUS 2004, 144

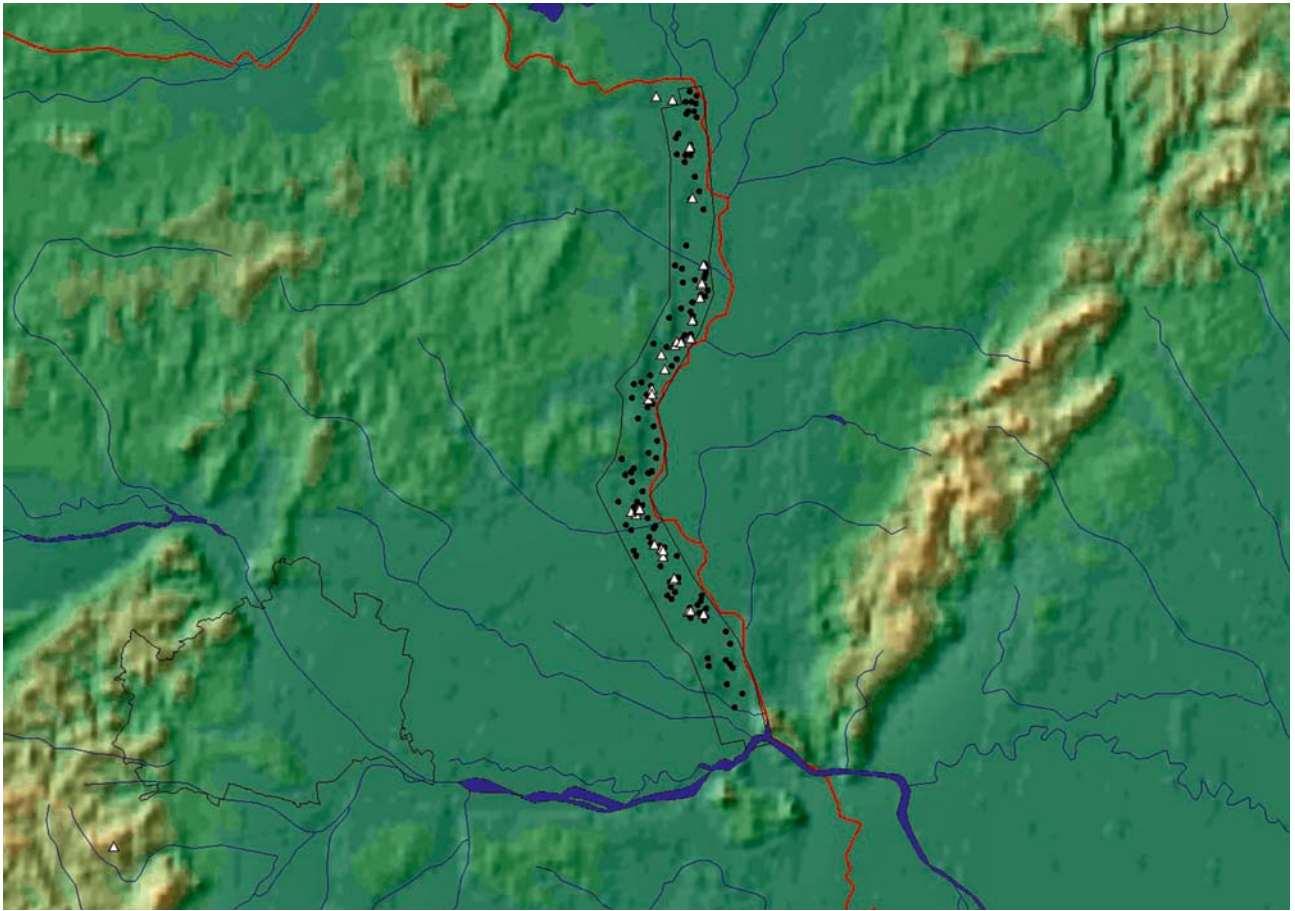


Abb. 83: Interpretation von Befliegungen vom Juni 1986 entlang der March. Weiße Dreiecke: mögliche während der Flugprospektion dokumentierte Fundstellen. Schwarze Kreise: mögliche Fundstellen aus der Interpretation eines gezielt angefertigten Reihenbildfluges (© Michael Doneus; Datengrundlage: SRTM).

ff.). Dadurch lassen sich diese Bilder mit entsprechender Hard- und Software mit hoher Genauigkeit dreidimensional auswerten. Bei einem Bildmaßstab von 1:10.000 (welcher sich für luftbildarchäologische Beobachtungen als ideal herausgestellt hat), kann man mit prinzipiellen Auswertegenauigkeiten unter einem Dezimeter rechnen. Durch das große Bildformat ergibt sich auch eine sehr hohe Auflösung, wobei selbst bei Maßstäben von 1:10.000 noch Pfostengruben erkannt werden können (DONEUS 1997b, 25 f.).

Zwei benachbarte Bilder einer Senkrecht-Befliegung ahmen in ihrer Konfiguration das menschliche visuelle System nach (zwei Kamerapositionen mit paralleler Blickrichtung senkrecht auf die gedachte Linie zwischen den beiden Kameras). Dadurch kann man den sich überlappenden Bereich zweier Senkrechtaufnahmen im Stereoskop dreidimensional betrachten und auch dreidimensional fotogrammetrisch auswerten.

Senkrechtaufnahmen sind aufgrund der verwendeten speziellen Kameras und ihrem Einbau in Flugzeuge teuer

und werden daher vor allem von spezialisierten Firmen und Institutionen hergestellt. In fast allen Fällen werden Senkrechtaufnahmen für andere Bedarfsträger erzeugt und von Archäologen nur „sekundär“ genutzt.

Die luftbildarchäologische Bedeutung von Senkrechtaufnahmen

Der archäologische Wert von Senkrechtaufnahmen wird meist unterschätzt, obwohl die Luftbildarchäologie in den 1920er Jahren gerade mit dieser Art von Aufnahmen ihren systematischen Anfang nahm (CRAWFORD, KEILLER, 1928). Generell galt bis vor wenigen Jahren die Einstellung, Senkrechtaufnahmen seien für die Luftbildarchäologie entbehrlich. Sofern sie in Büchern zur Luftbildarchäologie überhaupt Erwähnung fanden, wurde ihr Beitrag nur als marginal angesehen (CRAWSHAW 1997; WILSON 2000, 32). Mittlerweile hat sich der Blickwinkel verändert. Heute erkennt man – nicht zuletzt aufgrund einiger methodischer Publikationen (DONEUS 2000, 1997b; PALMER 2007; PALMER



Abb. 84: Carnuntum, NÖ. Senkrechtaufnahme mit Farbinfrarotfilm (© bmlvs/luauflksta).

2005) – den Wert von Senkrechtaufnahmen im Rahmen der luftbildarchäologischen Prospektion vielfach an:

„Vertical photographs only provide an adequate record of archaeological features when these are showing readily and plainly. Fortunately, this does happen a good deal of the time, but certainly not always (WILSON 2005b, 33).

Der Grund für die oft ablehnende Haltung liegt darin, dass Senkrechtaufnahmen in fast allen Fällen für andere Bedarfsträger erzeugt werden. Dies bedingt, dass oft zu für die Ausbildung von Sichtbarkeitsmerkmalen ungünstigen Zeiten geflogen wird und archäologische Fundstellen auf den Luftbildern nur zufällig abgebildet sind. Dies täuscht jedoch darüber hinweg, dass vor allem im Rahmen der Landschaftsarchäologie die Senkrechtaufnahmen dem systematischen, einhundert Prozent der Oberfläche abdeckenden, intensiven Survey entsprechen, während Schrägaufnahmen trotz systematischer Befliegung einem systematischen Sample nahekommen. Zu den Schrägbefliegungen meint R. Palmer:

„Yet it remains site-centered data collection and, except by accident, is unlikely to record features that were not noticed in the air ... nor those features not yet accepted as archaeological in origin. All aerial observers will fly with a compendium of known sites in their mind and will use this, plus a bit of common sense, as a way of deciding whether a site on the ground is archaeological or not. I suggest that the human brain in the air is the weakest part of the process of aerial survey and that to continue to use this as a means of filtering

information is bound to leave archaeologists with a selective and partial record of sub-surface features” (PALMER 2005, 97).

Kann jedoch der Zeitpunkt vom Archäologen bestimmt werden, so haben Senkrechtaufnahmen ein großes Potenzial für die Luftbildarchäologie. Dies konnte anhand eines direkten Vergleichs zwischen Senkrecht- und Schrägaufnahmen demonstriert werden (DONEUS 2000). Ende Juli 1998 wurde ein insgesamt etwa 160 km² großes Gebiet entlang der March (an der Grenze zwischen Österreich und der Slowakei) luftbildarchäologisch untersucht. Bei dieser linearen, entlang des Flusses durchgeführten Befliegung waren zwei erfahrene Archäologen anwesend: So konnte das Gebiet beiderseits des Flugzeuges beobachtet werden. Insgesamt wurden 30 (mögliche) Fundstellen dokumentiert. Aufgrund dieses Ergebnisses konnte das Kommando Luftaufklärung in Langenlebarn dazu bewogen werden, zwei Wochen später eine Abdeckung des beflogenen Gebietes durch Senkrechtaufnahmen durchzuführen. Die systematische Interpretation dieser Aufnahmen ergab 133 (mögliche) Fundstellen in demselben Gebiet (DONEUS 2000, 34), wobei bis auf zwei Fundstellen auch alle während der Schrägbefliegung entdeckten Strukturen erkannt wurden (Abb. 83).

Der direkte Vergleich einzelner Merkmale in Schräg- und Senkrechtaufnahme erbrachte ein gemischtes Bild: Manche Merkmale zeigten sich in den Schrägaufnahmen, andere in den Senkrechtaufnahmen besser (DONEUS 2000, 35 ff.). Der senkrechte Blick auf z. B. Bewuchsmerkmale ist nicht immer die für eine Interpretation beste Aufnahmeposition. Dagegen kann sich vor allem bei flächenmäßig sehr



Abb. 85: Gegenüberstellung eines Farb- (oben) und eines Schwarz-Weiß-Infrarotbildes (unten). Im infraroten Licht lassen sich Bewuchsmerkmale deutlicher erkennen (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

großen Fundstellen eine Dokumentation durch Schrägaufnahmen schwierig gestalten. Bei diesen sind aufgrund der perspektivischen Verzerrungen nur die Merkmale im Vordergrund deutlich abgebildet, während jene im Hintergrund einen kleineren Abbildungsmaßstab und dadurch eine niedrigere Auflösung besitzen. Daher muss man bei sehr großen Fundstellen sehr viele Fotos herstellen und es besteht die Gefahr, manche Bereiche nicht optimal abgebildet zu haben. Dieses Problem besteht bei Senkrechtaufnahmen nicht, da hier alles unter dem nahezu gleichen Abbildungsmaßstab aufgenommen wird.

Bei einer Schrägaufnahme ist das archäologische Objekt/Sichtbarkeitsmerkmal das Hauptmotiv. Jene Fundstellen, welche bei der Befliegung nicht erkannt wurden, werden auch nicht dokumentiert. Auch wenn Anthony Crawshaw insistiert, dass dies bei einem erfahrenen Luftbildfotografen kaum vorkomme (CRAWSHAW 1997, 59), so zeigen sich bei näherer Betrachtung von Schrägaufnahmen immer wieder mögliche weitere Fundstellen in der Peripherie des Fotos, welche aber nicht dokumentiert wurden. Diese Fundstellen wurden – sofern sie nicht aus unbekannten Gründen absichtlich im Hintergrund des Bildes belassen wurden –

daher entweder übersehen oder nicht adäquat dokumentiert (COWLEY 2002, 262 ff.).

Zwar können diese Merkmale bei einer späteren Befliegung noch immer sichtbar sein; findet diese aber erst Jahre später statt, gehen nicht dokumentierte Fundstellen im schlimmsten Fall für die wissenschaftliche Forschung und den Denkmalschutz verloren. Die Herstellung von Senkrechtaufnahmen wird in der Weise geplant, dass ein zuvor vorgegebenes Gebiet zur Gänze durch die Aufnahmen stereoskopisch abgedeckt wird. Dadurch lässt sich ein Dokument eines großen Gebietes innerhalb einiger weniger Stunden bewerkstelligen. Sämtliche Sichtbarkeitsmerkmale, welche sich in diesem Zeitraum an der Erdoberfläche gezeigt haben, werden erfasst und mit abgebildet, egal ob sie während des späteren Interpretationsprozesses beobachtet werden oder nicht. Dadurch kann jeder, der später die Bilder erneut interpretiert, das Gelände in demselben Zustand sehen, egal ob dies am Tag danach oder Jahre später geschieht. Dadurch lassen sich die Daten in Zusammenhang mit neuen Luftbildern oder anderen Prospektions- oder Grabungsergebnissen immer wieder re-interpretieren, wobei Erfahrung oder veränderte Fragestellungen zu einer neuen Sichtweise und in der Folge zu neuen Erkenntnissen führen können.

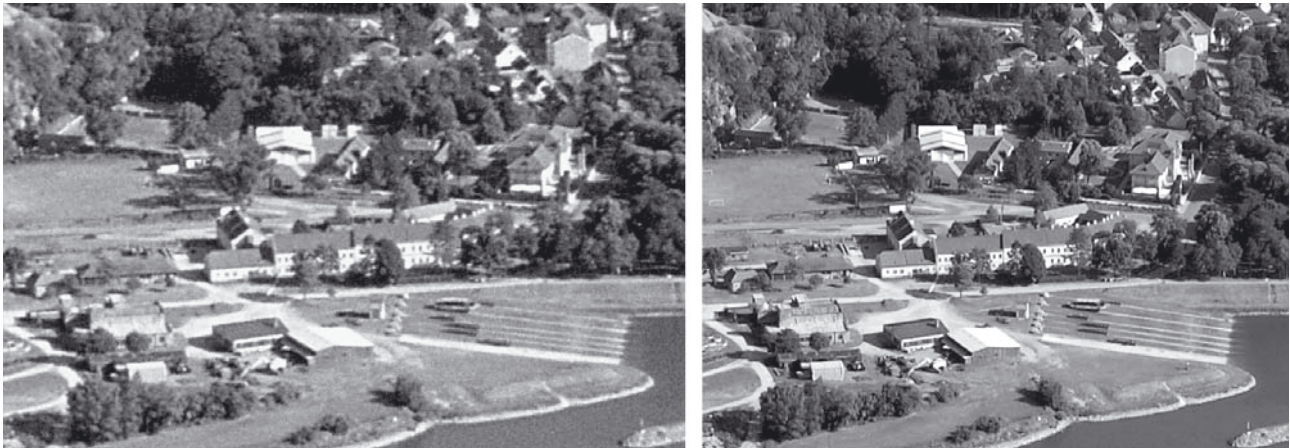


Abb. 86: Gegenüberstellung von Ausschnitten eines mit hoher Auflösung gescannten analogen (links) und eines mit einer digitalen 12MP-Kamera aufgenommenen Bildes (rechts) (aus: DONEUS 2005, 41).

Letztendlich sollte die Frage nicht „Senkrecht- oder Schrägaufnahme“ lauten. Vielmehr muss die Tatsache akzeptiert werden, dass beide Arten der Luftbildherstellung in der Archäologie Bedeutung besitzen. Projekte, vor allem wenn es um landschaftsarchäologische Fragestellungen geht, sollten sich an beide Datenquellen halten und neben eigenen Befliegungen auf einen Fundus an Senkrechtaufnahmen zurückgreifen können (vgl. auch WILSON 2005b, 34).

10.4.4.3 Filme und Sensoren

In der Luftbildarchäologie wurden bis vor Kurzem zu meist der Schwarz-Weiß- und der Farbfilm (meist Farbdiafilm) verwendet. In den letzten Jahren hat jedoch die digitale Fotografie die analogen Datenträger weitgehend verdrängt. Hat man vor Kurzem noch über deren Vor- und Nachteile diskutiert, so ist ihr Einsatz vielerorts aufgrund der immer größer werdenden Schwierigkeit bei der Beschaffung und Entwicklung analoger Materialien eine Notwendigkeit geworden (DONEUS 2005). Es existiert eine große Vielfalt an Publikationen zu Kameras und Filmen und Aufnahmetechniken, welche in der Luftbildarchäologie zum Einsatz kommen sollten (u. a. RILEY 1987, 55 ff.; WILSON 1975b; BRAASCH 1992, 2005, 53 ff.; MUSSON 1995, 62; CRAWSHAW 1995). Detaillierte Beschreibungen zum fotografischen Prozess finden sich auch in diversen Handbüchern zur Fernerkundung (ALBERTZ 2007, 26 ff.; KRAUS 2004, 74 ff.; LILLESAND, KIEFER 2000, 56–124).

Die Bedeutung des panchromatischen *Schwarz-Weiß-Films* in der Luftbildarchäologie ergibt sich aus seiner Archivbeständigkeit. Manche Produkte können eine sehr hohe Auflösung besitzen (HORNE, MACLEOD 1997; PALMER 1995b; BRAASCH 2005, 55).

Der Schwarz-Weiß-Film gibt den Reflexionsgrad des sichtbaren Lichtes anhand von Grauwerten wieder. Dies ist auch sein größter Nachteil, da das menschliche Auge nur wenige Grauwerte unterscheiden kann und somit Information, die sich anhand minimaler Grauwertänderungen zeigt, u. U. nicht erkannt wird. Durch Benutzung eines Gelbfilters kann der blaue Lichtanteil ausgesperrt werden, was bessere Kontraste ergibt, da die Streustrahlung (Dunst) vor allem aus dem blauen Anteil des sichtbaren Lichtes besteht.

Für die Interpretation eignet sich der *Farbfilm* besser. Der Farbdiafilm hat vor allem auch einen ausgezeichneten Kontrastumfang. Sein größtes Manko ist jedoch seine begrenzte Haltbarkeit, da die Farbstoffe in den fotografischen Materialien mit der Zeit ausbleichen (WILSON 1997, 24). Für die Lagerung des Filmmaterials gilt allgemein, dass es unter Benutzung von chemisch neutralem Archivmaterial bei konstanter Luftfeuchtigkeit im Dunkeln gelagert werden sollte. Je niedriger die Lagertemperatur, desto besser ist die Haltbarkeit, da chemische Veränderungen in fotografischen Materialien durch Kühl Lagerung verlangsamt werden (WILSON 1997, 24 f.).

Daneben haben auch die *Infrarotfilme* (Schwarz-Weiß- und Falschfarben-Infrarotfilme) große Bedeutung für die Dokumentation von Bewuchsmerkmalen. Bei Falschfarbenfilmen wird der infrarote Anteil des Lichtes rot dargestellt (Abb. 84), wodurch es zu einer Verschiebung der Farbgebung bei den anderen Wellenlängen kommt (rot wird grün und grün wird blau dargestellt). Für diesen Film ist ein Gelbfilter obligat, weil alle Schichten für blaues Licht überempfindlich sind und dieses somit weggefiltert werden muss (KRAUS 2004, 91). Dadurch werden aber auch Effekte der Streustrahlung vermindert und der Kontrast erhöht.

Die Filme sind verhältnismäßig teuer. Schwierigkeiten bereitet die Belichtung, welche eine entsprechende Erfahrung mit dem Material voraussetzt. Die automatische Belichtungsmessung der Kamera erfasst den nahen Infrarotbereich nicht, weshalb es zu Unter- oder Überbelichtungen kommen kann. Zudem benötigt der Film spezielle Optiken, da durch die etwas größere Wellenlänge der Fokussierungspunkt von dem für normales Licht abweicht (VERHOEVEN 2008, 3091). Dennoch wurden und werden Infrarotfilme von vielen Luftbildarchäologen eingesetzt (AGACHE 1968; BRAASCH 2007; HAMPTON 1974; VERHOEVEN 2007; DONEUS et al. 2001a, 18), da sich Bewuchsmerkmale mitunter deutlicher zeigen (Abb. 85).

Bis vor Kurzem war die Verwendung *digitaler Kameras* noch heftig umstritten (siehe dazu: MUSSON et al. 2005, 314 ff.). Die beiden Hauptkritikpunkte betonten die geringere Auflösung der digitalen Sensoren gegenüber herkömmlichen Farbfilmen sowie die Frage nach der Langzeitarchivierung (DONEUS, SCOLLAR 2006).

Die zu geringe Auflösung kann seit der Markteinführung von qualitativ hochwertigen Spiegelreflexkameras mit einem 12-Megapixel-Sensor als gelöst betrachtet werden (Abb. 86). Zwar hat das analoge Bild rein rechnerisch eine höhere Auflösung als eine digitale Aufnahme mit 12 Megapixeln (OWEN 2006), aber dies gilt nur bei Aufnahmen, welche im Nahbereich unter ausgezeichneten Aufnahmebedingungen gemacht werden. Luftbilder können solche Bedingungen jedoch in der Regel nicht erfüllen. Deshalb ist die rechnerisch bessere Auflösung analoger Farbfilme in der luftbildarchäologischen Praxis nicht haltbar. Dies konnte in einem direkten Vergleich zwischen digitalem Bild und analogem Film gezeigt werden (DONEUS, SCOLLAR 2006). Zudem gibt es bereits digitale Mittelformatkameras mit annähernd 40 Megapixel-Sensoren – Tendenz steigend (mittlerweile werden bereits Kleinbild-DSLR Kameras mit 36 Megapixeln hergestellt – z.B. NIKON D800).

In Bezug auf die Langzeitarchivierung sind digitale Daten zweifach betroffen: Zunächst gibt es zurzeit keinen Datenträger, welcher digitale Daten unter Garantie langfristig erhalten kann. Die Magnetisierung von Festplatten lässt mit der Zeit nach, was dazu führen kann, dass Daten nicht mehr lesbar sind. Auch optische Datenträger wie CD und DVD zeigen Schwächen bei der Haltbarkeit. Daher bedarf es natürlich einer entsprechenden Strategie zur Langzeitarchivierung, welche in jedem Fall ein regelmäßiges Umkopieren sämtlicher Daten inkludieren muss. Ähnliches gilt aber auch für die analogen Medien (vgl. weiter oben). Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass die größte Gefahr bei Archiven besteht, die nicht mehr genutzt werden. Für ein „aktives“ Bildarchiv ist die Gefahr von Datenverlusten auf-

grund schlechter Haltbarkeit wenig bedrohlich, da mit der in verhältnismäßig kurzen Zeitabständen stattfindenden Erneuerung der Hardware auch die Daten entsprechend umkopiert und somit erneuert werden.

Das zweite Problem ist die Lesbarkeit in Bezug auf das Bildformat. Ob es auch in Zukunft Software gibt, welche TIF oder JPG-Formate lesen können, kann heute niemand mit Sicherheit sagen. Bei diesen beiden Formaten kann man jedoch von einer Langlebigkeit ausgehen. Dies gilt allerdings nicht für die kamerainternen RAW-Formate:

Die meisten heute gebräuchlichen digitalen Sensoren bestehen aus einer großen Anordnung einzelner Elemente, welche im Prinzip nur die Intensität der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes messen. Um nun durch die Sensorelemente Farbinformationen zu erhalten, wird vor jedes Element ein entsprechender Rot-, Blau- oder Grün-Filter geschaltet. Das Ergebnis ist eine rechteckige Anordnung einzelner Rot-, Blau- und Grünwerte, welche zu einem vollständigen Bild interpoliert werden müssen (VERHOEVEN 2008, 3093). Dies erfolgt innerhalb der digitalen Kameras, wobei noch zusätzlich Weißabgleich, Schärfung, Rauschunterdrückung etc. stattfinden, bevor das fertige Bild (meist TIF oder JPG) auf dem Datenträger gespeichert wird. Manche Kameras können jedoch auch die ursprünglichen Sensordaten direkt speichern. In diesem Fall können bzw. müssen diese RAW-Daten in einem eigenen Arbeitsschritt am PC in entsprechende Bilder umgewandelt werden.

Der Vorteil dabei ist, dass Rohdaten die ursprünglich mit 12 Bit Information hochwertigeren Aufzeichnungen der einzelnen Sensorelemente speichern, während im umgerechneten JPG das einzelne Pixel nur noch 8 Bit Information bietet – es kommt also zu einem Qualitätsverlust. Weitere Vorteile ergeben sich in der situationsabhängigen Möglichkeit anhand professioneller PC-Software bessere, informationsreichere Bilder zu erzeugen, als dies die Kamera selbst bewerkstelligen könnte (STEINMÜLLER, STEINMÜLLER 2004, 10 f.). Die Rohdaten entsprechen somit dem Negativ eines analogen Bildes und sollten im Rahmen einer professionellen Luftbildarchäologie auf jeden Fall gespeichert werden.

Im Sinne einer Langzeitarchivierung ergibt sich hier jedoch ein massives Problem: Jeder Kamerahersteller benutzt ein eigenes RAW-Format und teilweise verwenden auch unterschiedliche Kameramodelle desselben Herstellers unterschiedliche Formate. Erschwert wird diese Situation noch dadurch, dass manche Firmen die Spezifikation des verwendeten Formats aufgrund des Wettbewerbs nicht oder nur auszugsweise veröffentlichen. Spätestens, wenn ein Hersteller vom Markt verschwindet und die mitgelieferte Software nicht mehr gewartet wird, kann es dazu kommen, dass

ein Format dadurch unlesbar werden könnte. Ein Lösungsweg könnte das von ADOBE propagierte digitale Negativ (DNG) sein, welches als Standard für Roh-Formate konzipiert ist. Momentan ist es jedoch noch zu früh, Aussagen darüber zu machen, ob sich dieses durchsetzen wird.

Gerade in Bezug auf die Archivierung haben digitale Bilder aber einen immensen Vorteil. Sie können ohne Genauigkeitsverlust kopiert werden. Daher ist es möglich, ein digitales Bild an mehreren, voneinander entfernten Orten jeweils in Originalqualität aufzubewahren. Die Gefahren von Diebstahl, Feuer, Hochwasser oder anderer katastrophaler Ereignisse, welche analoge Negative unwiederbringlich zerstören können, lassen sich somit bannen.

Weitere Vorteile sind praktischer Art. Wichtig ist der Umstand, dass das Gelingen und die Qualität der Aufnahme falls nötig noch im Flugzeug überprüft werden können. Im Falle einer defekten Kamera kann somit gleich reagiert und auf die (hoffentlich mitgenommene) Reservekamera zurückgegriffen werden. In Zeiten der analogen Aufnahme kam es dagegen manchmal vor, dass Fehler der Kamera oder des Filmes erst nach seiner Entwicklung offensichtlich wurden.

Als sehr nützlich hat sich auch der Umstand erwiesen, dass die Metadaten der Aufnahme (verwendete Kamera, Brennweite, Belichtungsparameter etc.) automatisch im EXIF-Header (*exchangeable image file format*) gespeichert werden, was vor allem bei Verwendung von Zoomobjektiven und einer späteren fotogrammetrischen Auswertungen nützlich ist. Zudem ist es bei manchen Kameramodellen möglich, eine Verbindung zu einem GPS-Gerät herzustellen, wodurch bei jedem Auslösen der Kamera die momentane Position des GPS-Empfängers im EXIF-Header des Bildes mitgespeichert wird (DONEUS 2005, 28 ff.).

Aufgrund ihrer Bauart sind digitale Sensoren auch für die Wellenlängen des nahen Infrarots sensibilisiert. Da dieser Effekt jedoch negative Auswirkungen auf die Bildqualität hat, wird von den meisten Kameraherstellern ein Filter vor den Sensor installiert, welcher das Licht des nahen Infrarots ausschließt. Es gibt jedoch die Möglichkeit, diese Kameras zu modifizieren, indem man den Filter vom Kamerahersteller oder einer spezialisierten Firma entfernen lässt. Dadurch kann man auch mit einer digitalen Kamera im infraroten Bereich fotografieren (VERHOEVEN 2008, 3094 f.).

10.4.5 Interpretation

Die materielle Hinterlassenschaft zeigt sich im Fall der Luftbildarchäologie aufgrund von Sichtbarkeitsmerkmalen, welche indirekte Indikatoren für veränderte physikalische Eigenschaften des Bodens sind. Dies hat einige für folgende Darstellung wichtige Implikationen: Mit Ausnahme des Höhenunterschiedes bei im Geländere relief erhaltenen

Bodendenkmälern können die Indikatoren nicht „objektiv“ und unvoreingenommen gemessen, sondern müssen durch Beobachtung erkannt werden. Dabei spielt die Wahrnehmung eine wichtige Rolle.

Ein beobachtetes Merkmal an sich ist in den seltensten Fällen ein sicherer Nachweis für eine materielle Hinterlassenschaft. Wird es isoliert betrachtet, so bleibt es in den meisten Fällen unverständlich, kann also gar nicht interpretiert werden. Erst im Zusammenhang mit anderen Merkmalen oder Gegebenheiten an der Erdoberfläche, also im Kontext mit der Umgebung wird es möglich, unterschiedliche Schattierungen oder Färbungen im Boden respektive Bewuchs zu Mustern zusammenzufassen und darin alte, längst vergangene Gräberfelder, Siedlungen oder Befestigungsanlagen zu deuten.

Dies gelingt in der Regel erst von einem erhöhten Standpunkt aus. Dieser erleichtert die Konzentration der Wahrnehmung auf das Wesentliche, wodurch Zusammenhänge deutlicher werden und in der Folge sich Muster abzeichnen beginnen. Was jedoch als das Wesentliche empfunden wird und wie die Muster letztendlich gedeutet werden, wird durch die momentanen Gegebenheiten, das persönliche Vorwissen, die Fragestellung und die verwendete Methode (Senkrecht-, Schrägaufnahme, Wahl des Sensors) beeinflusst.

Egal ob vor der Herstellung des Bildes in der Luft oder bei der Betrachtung von Senkrecht- oder Schrägaufnahmen am Schreibtisch, es kommt in jedem Fall zu einer Interaktion zwischen Merkmal und Beobachter. Wenn wir ein Luftbild betrachten, so haben die einzelnen Elemente (Pixel) drei Eigenschaften: Helligkeit, Farbton und Farbsättigung. Das von uns wahrgenommene Bild kann jedoch weitere Eigenschaften und Informationen aufweisen, die nicht über die elektromagnetische Energieübertragung vom Objekt zu uns gekommen sein können (HELLBRÜCK, FISCHER 1999, 121). Ein Bild kann z. B. Emotionen in uns wecken oder zu Erkenntnissen führen. Dies erfolgt aber nicht zwingend. Vielmehr wirken die Bildinhalte in jedem Menschen anders. Emotion und Erkennen spielen sich im Kopf ab und sind das Ergebnis von Wahrnehmung und Deutung: Erst durch subjektive, individuelle Beobachtung eines Merkmals und seine Interpretation als archäologisch relevant können überhaupt archäologische Strukturen als solche erkannt werden. *Wahrnehmung* und *Interpretation* spielen als zwei Stufen der Flugprospektion und Luftbildauswertung daher die bedeutendste, zentrale Rolle im Rahmen der Luftbildarchäologie.

10.4.5.1 Aspekte der visuellen Wahrnehmung

„Sehen ist das Ergebnis einer Übertragung der äußeren, physisch existenten Welt in unsere eigene Welt der Wahrnehmung, in der unser bisheriges Wissen, unsere Erfahrung

gen und sogar unsere Gemütsverfassung wichtige Rollen spielen“ (MAFFEI, FIORENTINI, A. 1997, 1). Prinzipiell kann nur ein Sachverhalt interpretiert werden, der zuvor wahrgenommen und erkannt wurde. Auch wenn die Wahrnehmung alle unsere Sinne umfasst, wird in Bezug auf die Luftbildinterpretation in der Folge vor allem die *visuelle* Wahrnehmung Thema unserer Betrachtungen sein.

Die Wahrnehmung, also die sinnliche Erfahrung unserer Außenwelt, kann unter unterschiedlichen Aspekten betrachtet werden: physikalisch, physiologisch und psychologisch (ALBERTZ 1997b, 13 f.). Der *physikalische* Aspekt ist aus der Fernerkundung bekannt: In Abhängigkeit des spektralen Reflexionsgrades eines Objektes werden von diesem elektromagnetische Wellen unterschiedlichster Wellenlängen reflektiert. Art der Reflexion und Bandbreite sowie Intensität der reflektierten Frequenzen übermitteln Energie, aus welcher der Mensch durch sein visuelles Wahrnehmungssystem Information über das Objekt gewinnen kann. Die elektromagnetische Welle funktioniert also als Informationsüberträger.

Der *physiologische* Aspekt beinhaltet das menschliche Auge und seine Fähigkeit, die elektromagnetischen Wellen in elektrische Signale umzuwandeln und diese an das Gehirn weiterzuleiten (GOLDSTEIN 1997, 40 ff.): Dabei wird Licht durch Hornhaut und Linse auf die Netzhaut (Retina) fokussiert, und von den sogenannten Stäbchen und Zapfen in elektrische Impulse umgewandelt. Diese reagieren nur auf den sichtbaren Anteil des Lichtes (etwa 400–700 nm). Jede Netzhaut ist mit etwa 6 Millionen Zapfen und 120 Millionen Stäbchen belegt. Die für das Farbsehen verantwortlichen Zapfen befinden sich zum größten Teil in der Sehgrube (Fovea), eine kleine Vertiefung der Netzhaut, auf welche das sichtbare Licht bei der Blickrichtung senkrecht zur Augenbasis (das ist die gedachte Verbindungslinie zwischen den beiden Augen) konzentriert wird. Außerhalb der Fovea befinden sich vor allem Stäbchen, welche für das Sehen von Helligkeitsunterschieden verantwortlich sind. Während die Zapfen eine bestimmte Intensität des Lichtes benötigen, um es in elektrische Impulse umzuwandeln, kommen die Stäbchen mit geringen Energiemengen aus.

Dies hat mehrere Konsequenzen: Am besten, schärfsten und vor allem in Farbe sehen wir anhand der zahlreichen Zapfen in der Fovea. Nachdem dies ein kleiner Bereich direkt in der geraden Blicklinie hinter der Linse ist, drehen wir beim Betrachten eines Objektes den Kopf zu diesem hin, damit die von diesem Objekt reflektierten Lichtstrahlen auf die Fovea auftreffen können. Weiters können wir in der Dämmerung, wenn die Lichtintensität schwach ist, keine Farben sehen. Deshalb ist in dieser Zeit unser Sehvermögen eingeschränkt, da wir nur anhand der Stäbchen

sehen können, welche sich aber nicht in der Fovea befinden (GOLDSTEIN 1997, 44 ff.; MAFFEI, FIORENTINI, A. 1997, 21 f.).

Wie viele Farben der Mensch unterscheiden kann, ist nur grob abschätzbar, wobei die Schätzungen zum Teil weit auseinandergehen (z. B. über 2 Millionen Farben: GOLDSTEIN 1997, 125; 7 Millionen Farben: DITZINGER 1998, 110). Das amerikanische National Bureau of Standards kennt über 7.500 verschiedene Farbnamen (Azurblau, Minzgrün etc. – GOLDSTEIN 1997, 125 f.).

Die von Stäbchen und Zapfen erzeugten elektrischen Impulse werden von weiteren Neuronen in der Netzhaut vorverarbeitet und dann durch den Sehnerv in das Gehirn weitergeleitet, und zwar zum Großteil über das „corpus geniculatum laterale“ (CGL, seitlicher Kniehöcker) zum primären visuellen Cortex (primäre Sehrinde am Hinterhaupt) beziehungsweise in andere Regionen des Gehirns. Dort findet die eigentliche Objektwahrnehmung statt, über die man jedoch noch wenig Bescheid weiß.

Der *psychologische* Aspekt der Wahrnehmung beschäftigt sich mit dem Erkennen der Objekte, von denen die Information in Form von elektromagnetischen Wellen ausgegangen ist. Im Rahmen des psychologischen Aspektes kommt es zu zwei wichtigen Prozessen. Zum einen scheint es, als ob die Hauptaufgabe des menschlichen visuellen Systems darin bestünde, die unglaubliche Datenflut, welche kontinuierlich jede Sekunde auf uns zukommt, möglichst automatisiert zu filtern und vorzuverarbeiten. Jörg Albertz rechnet vor, dass allein über unsere Augen etwa 3 Millionen Bit Information pro Sekunde in elektrische Impulse umgewandelt werden (ALBERTZ 1970, 27). Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen übertragen zugleich eine weitere unbestimmte Menge an Information an unser Gehirn. In unser Bewusstsein können wir jedoch nur kontinuierlich 16 Bit Information pro Sekunde aufnehmen. Der Rest bleibt uns unbewusst.

Zum anderen können wir zusätzliche Informationen zu oder Eigenschaften von Objekten „sehen“, „für die es keinen energetischen Übertragungsweg gibt“ (HELLBRÜCK, FISCHER 1999, 121), etwa die Freude eines lächelnden Gesichtes, oder die Erhabenheit, welche eine gemalte Landschaftsszene „ausstrahlt“. Es bedarf auch, um ein weiteres Beispiel zu nennen, keiner großen Anstrengung, einen unter den Tisch geschobenen und von der Tischplatte zum Teil verdeckten Sessel als solchen zu erkennen. Für einen Computer dies hingegen ein durchaus schwer zu lösendes Problem (GOLDSTEIN 1997, 165).

Zudem stellt sich die Frage, weshalb es uns ohne Weiteres möglich ist, eine rechteckige Tischplatte als solche zu erkennen, auch wenn ihr Abbild auf unserer Netzhaut aufgrund der perspektivischen Betrachtung eigentlich trapezförmig ist. Diese Formkonstanz ist nur eine von Vielen (z.B.

Helligkeitskonstanz, Farbkonstanz, Größenkonstanz, Orientierungskonstanz etc.), welche für die Bewältigung unseres Alltags von großer Wichtigkeit sind (ROCK 1998, 15 ff.; GOLDSTEIN 1997, 145 ff.). Wären diese Konstanzen nicht gegeben, würde sich die Außenwelt für uns ständig verändern.

Mit solchen und weiteren Phänomenen der Objektwahrnehmung beschäftigt sich die Wahrnehmungspsychologie. Auch wenn es ein breites Spektrum an Theorien gibt, die den Objektwahrnehmungsvorgang zu erklären versuchen, sind die Vorgänge und Prozesse der Objekterkennung jedoch noch weitgehend ungeklärt (GOLDSTEIN 1997, 144–216; MAFFEL, FIORENTINI 1997, 4 ff.; ROCK 1998, 8–12). Keine Theorie kann bislang alle Wahrnehmungsphänomene zur Genüge erklären (ROCK 1998, 11).

Gestalttheorie

Die Gestalttheorie und die von ihr aufgestellten Galtsgesetze sind für einige Phänomene der Bildinterpretation von großem Interesse. Sie geht zurück auf das beginnende 20. Jahrhundert und wurde durch Max Wertheimer, Wolfgang Köhler und Kurt Koffka begründet. Ausgangspunkt war die Idee von Christian von Ehrenfels, eine Melodie sei mehr als die Summe ihrer Einzeltöne (GETHMANN 1995, 765). Auch wenn ihr methodisches Vorgehen aus unterschiedlichen Gründen kritisiert wurde (GOLDSTEIN 1997, 178 ff.; HELLBRÜCK, FISCHER 1999, 126), so wird diese Forschungsrichtung noch immer erfolgreich betrieben (ROTH 1997, 258 ff.). Seit 1978 gibt es auch die „Gesellschaft für Gestalttheorie“ (<http://www.gestalttheory.net/> <22. Juni 2012>).

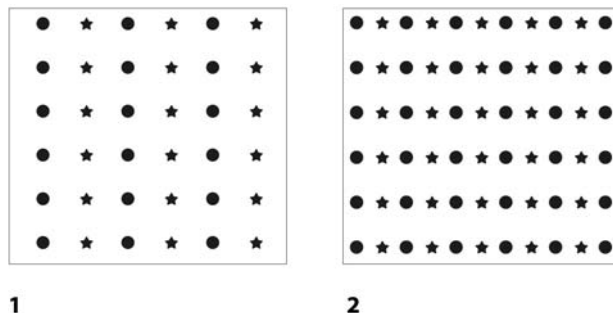


Abb. 87: Gesetz der Prägnanz – anstelle eines 11-Ecks nimmt man bei kurzzeitiger Betrachtung ein Rechteck und ein Dreieck wahr (Grafik: Michael Doneus).

Die zentrale Aussage der Gestalttheorie lautet: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Einzelteile“. Aufgrund der enormen Datenreduktion von über 3 Millionen auf 16 Bit pro Sekunde, die kontinuierlich durch unseren Wahrnehmungsapparat vorgenommen wird, hat der Mensch gelernt, aus der Fülle an Informationen das Wichtigste effizient und unbewusst herauszufiltern. Dabei spielen offenbar Gestalten eine wesentliche Rolle. So hat es sich anscheinend als zweckmäßig erwiesen, Objekte statt ihrer Komponenten wahrzunehmen: So sehen wir z. B. ein Haus und nicht eine Anordnung von Tausenden von Ziegeln, einer Tür und mehrerer Fenster. Unbewusst fassen wir Dinge zusammen, gliedern sie und vereinfachen somit unsere Lebenswelt.

Aber auch in den Fällen, wo keine einfachen Objekte vorhanden sind, etwa bei der Betrachtung einer Landschaft (etwa in einer Senkrechtaufnahme), wird das Wahrgenommene durch flächenhafte und räumliche Gliederung organisiert (ALBERTZ 1970, 27 ff. – die räumliche Gliederung wird hier nicht behandelt; siehe dazu: GOLDSTEIN 1997, 217 ff.; MAFFEL, FIORENTINI 1997, 79 ff.; ALBERTZ 1997a; DITZINGER 1998, 141 ff.). Im luftbildarchäologischen Sinn erkennen wir in einem Feld etwa den Hausgrundriss einer römischen Villa als Bewuchsmerkmal und nicht Tausende von unterschiedlich gefärbten Getreidehalmen. Dabei dürfte es offensichtlich bestimmte Regeln der Gestaltbildung geben. Im Rahmen der Gestalttheorie hat man versucht, diese Regeln herauszuarbeiten und über 100 Galtsgesetze formuliert (ALBERTZ 1970, 28).

Zu den wichtigsten gehört das Gesetz der Prägnanz: „Jedes Reizmuster wird so gesehen, dass die resultierende Struktur so einfach wie möglich ist“ (GOLDSTEIN 1997, 170). Dies trifft vor allem dann zu, wenn nur kurze Zeit für eine visuelle Wahrnehmung zur Verfügung steht. Das in Abb. 87 dargestellte, bekannte Beispiel wird wohl von fast jedem als ein Dreieck und ein Rechteck und nicht als ein Elfeck wahr-



1

2

Abb. 88: (1) Gesetz der Ähnlichkeit: Das Muster wird aufgrund der Ähnlichkeit seiner Symbole in senkrechte Reihen gegliedert. (2): Gesetz der Nähe: Das Muster wird in waagrechte Reihen gegliedert (Grafik: Michael Doneus).

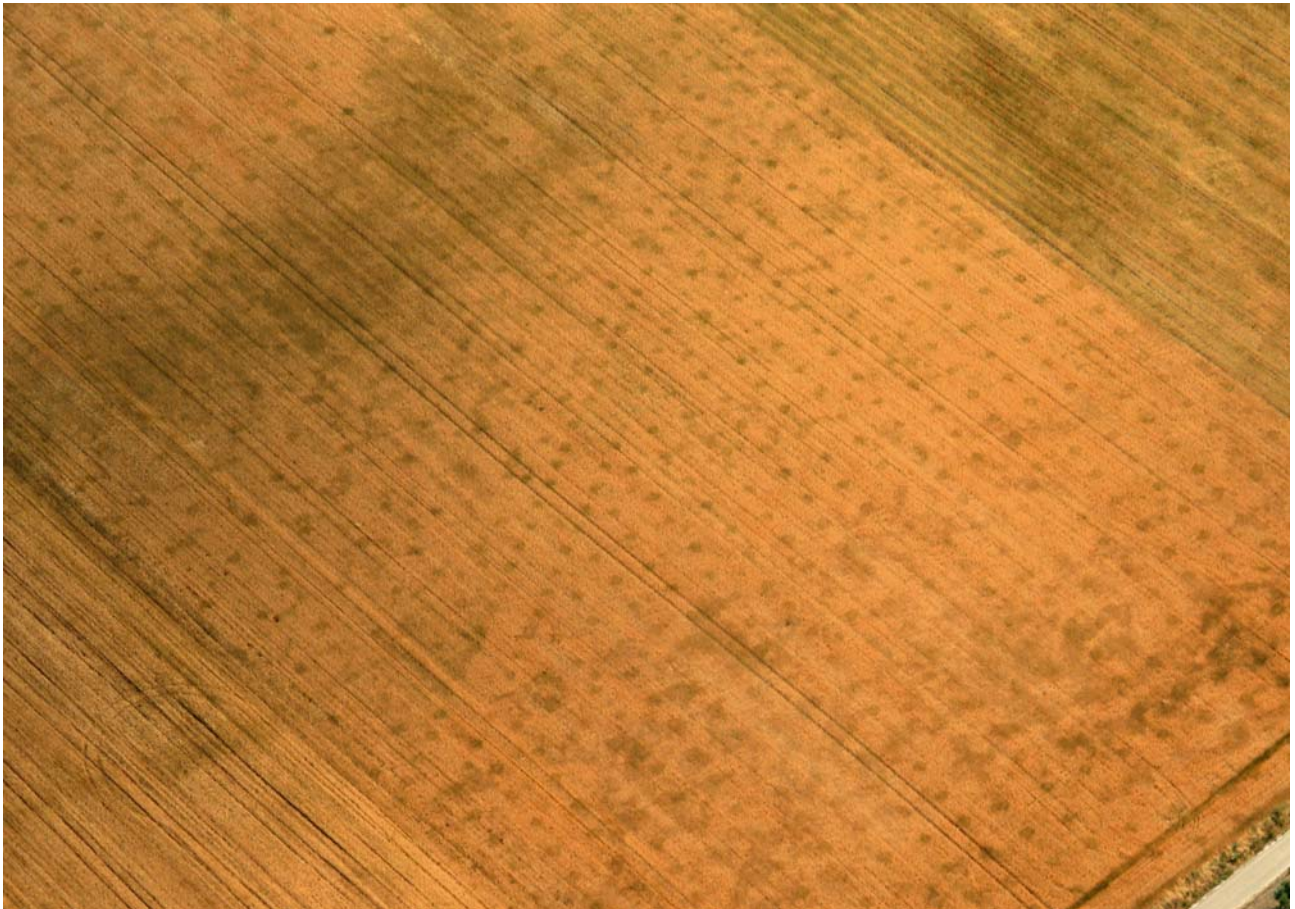


Abb. 89: Feld in der Nähe von Foggia, Italien, mit Bewuchsmerkmalen ehemaliger Bäume als Beispiel für das Gesetz der Nähe: durch eine ehemalige Olivenplantage (die regelmäßigen Punkte sind ehemalige Wurzelgruben der Bäume) führt eine Allee, zu erkennen anhand der beiden parallelen Reihen dichter gesetzter Gruben. (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

genommen. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass es einfacher, prägnanter ist, die Figur in die simplen geometrischen Formen Dreieck und Rechteck zu zerlegen. Hat man jedoch länger Zeit zur Bildbetrachtung, so kann man über dieses Bild reflektieren. Dabei kann man beginnen, die Ecken zu zählen, eine fehlende Kontur für eine der beiden Formen, welche ja eigentlich näher liegen und die andere verdecken müsste, zu bemängeln und unter Umständen ein Elfeck zu erkennen.

Andere Gesetze betreffen die Ähnlichkeit oder Nähe von Objekten und besagen, dass vor allem die Nähe zueinander für eine wahrgenommene Gruppenbildung verantwortlich ist (Abb. 88) und in zweiter Linie deren Ähnlichkeit (GOLDSTEIN 1997, 171 ff.).

Die Gestalttheorie wurde immer wieder kritisiert (GOLDSTEIN 1997, 180 f.). Dennoch funktionieren gerade bei der Luftbildbetrachtung anscheinend viele der Gesteetze. Dies dürfte daran liegen, dass der Mensch, genauso wie er zunächst einmal ein Haus und nicht seine Einzelkomponenten wahrnimmt, die Information aus der Umwelt

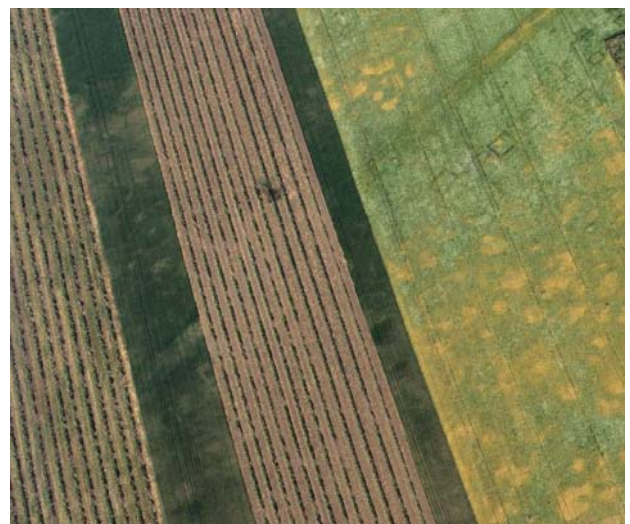


Abb. 90: Als lineares Bewuchsmerkmal sichtbare römische Straße in der Nähe von Carnuntum (© Michael Doneus).

(dem Luftbild) flächenhaft gliedert und dadurch vereinfacht. So sehen wir in einem beliebigen Luftbild, wie be-

reits zuvor erwähnt, nicht Hunderte von Bäumen und Abertausende von Getreide- oder Grashalmen, sondern einen Wald, Wiesen und Felder. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Textur, Helligkeit und Farbgebung können wir sie unterscheiden und nehmen klare Abgrenzungen in Form von Linien und Kanten wahr, welche aber in der Realität gar nicht vorhanden sind. Dadurch wird die Informationsfülle ebenfalls effizient reduziert (ALBERTZ 1997b, 17 f.). Erst bei längerer Betrachtung beginnen wir zusätzliche Information zu erkennen, etwa einzelne Bäume im Wald zu unterscheiden oder unterschiedliche Farbgebung in einem Feld als archäologisch interessant zu interpretieren. Dieser Prozess ist jedoch subjektiv und sehr stark von Fragestellung, Aufmerksamkeit und Vorwissen geprägt.

Die „gestaltgerechte Linienfortsetzung“ bzw. „gute Gestalt“ und die „Bedeutung oder Vertrautheit“ scheinen für die Luftbildinterpretation besonders wichtige Gesetze zu sein. B. Goldstein formuliert die gestaltgerechte Linienfortsetzung folgendermaßen: „Punkte,



Abb. 91: Steinbach, NÖ. Auch wenn der Graben auf den ersten Blick durchgehend erscheint, zeigen sich bei näherer Betrachtung zahlreiche Unterbrechungen (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

die als gerade oder sanft geschwungene Linien gesehen werden, wenn man sie verbindet, werden als zusammengehörig wahrgenommen. Linien werden tendenziell so gesehen, als folgten sie dem einfachsten Weg“ (GOLDSTEIN 1995, 173). Bei der luftbildarchäologischen Interpretation kommt man



Abb. 92: Glaubendorf, NÖ. Dreifache, mittelnolithische Kreisgrabenanlage. Obwohl das Luftbild bei kurzer Betrachtung uns eine vollständig sichtbare Anlage wahrnehmen lässt, zeigt die detaillierte Interpretation, dass größere Bereiche eigentlich gar nicht sichtbar sind (© bmlvs/luauflksta, Grafik: Michael Doneus).

sehr häufig in Situationen, in welchen dieses Gesetz Gültigkeit zu haben scheint. Ein einfaches Beispiel dafür ist auf Abb. 89 dargestellt: In einem Feld mit Bewuchsmerkmalen von ehemaligen, im Raster angepflanzten Olivenbäumen zeigt sich eine durch diese vormalige Plantage führende Allee. Die punktuellen Bewuchsmerkmale der ursprünglich zu beiden Rändern gepflanzten Bäume werden aufgrund ihrer Nähe deutlich als Einheit wahrgenommen.

Ein weiteres Beispiel ist auf Abb. 90 dargestellt: Obwohl die (von oben rechts diagonal in Richtung unten links verlaufende) römische Straße durch die Unterbrechung eines Feldes streng genommen als zwei getrennte, lineare, negative Bewuchsmerkmale gesehen wird, tendieren wir dazu, diese als eine einzelne, zusammengehörende Linie wahrzunehmen. Dies ist für die Interpretation nicht weiter schwierig, da auch nach gründlicher Überlegung eine einzelne zusammenhängende Linie als durchaus plausibel und begründbar erscheint.

Schwieriger wird es, wenn eine lineare Struktur (etwa das Bodenmerkmal eines Grabens) von nicht klar definierten Gegebenheiten unterbrochen wird. Auch wenn hier ebenfalls gerne der Graben als durchgehende Einheit gesehen und bei Interpretationen oft durchgehend gezeichnet wird, so muss dies nicht der archäologischen Realität entsprechen. Es könnte sich bei der Unterbrechung auch um eine Toranlage handeln (Abb. 91).

Ähnlich verhält es sich bei der mittelneolithischen Kreisgrabenanlage von Glaubendorf (Abb. 92). Auch wenn uns diese beim ersten Hinsehen als vollständige, aus drei konzentrischen, kreisförmigen Gräben bestehende Struktur erscheint, so muss man nach einer detaillierten Interpretation und Umzeichnung der tatsächlich sichtbaren Strukturen erkennen, dass von den Gräben insgesamt nur etwas mehr als zwei Drittel tatsächlich als Bodenmerkmal sichtbar sind. Der Rest wurde zunächst durch unsere Wahrnehmung dazu erfunden. Man spricht in diesem Fall auch von einer „amodalen Ergänzung“ (ALBERTZ 1997b, 31 ff.).

Diese Art der „guten Gestalt“ begegnet dem Menschen sehr häufig in Alltagssituationen, und zwar überall dort, wo Objekte durch andere verdeckt werden. Dies kann aber auch zu verblüffenden Phänomenen führen, bei denen Objekte, welche nicht vorhanden sind, wahrgenommen werden. In Abb. 93 meinen wir sogar die Kanten des nicht vorhandenen Dreiecks zu sehen. Dass diese tatsächlich nicht existent sind, kann man erkennen, wenn man die jeweils an den Enden der erfundenen Kanten liegenden Kreise verdeckt. Gerade weil dieses Phänomen in der Alltagswelt so häufig vorkommt, stellt es für die Luftbildbetrachtung eine Quelle für Fehlinterpretationen dar. So werden häufig einzelne Komponen-

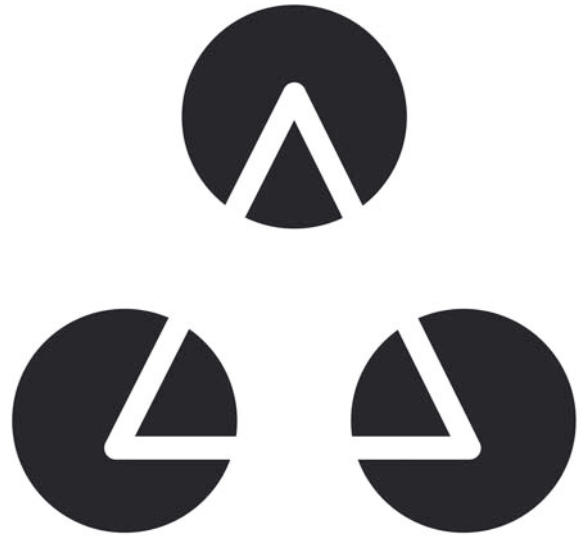


Abb. 93: Von der Wahrnehmung erfundenes Objekt (sog. Kanizsa Illusion). Die vermeintlichen Kanten des Dreiecks verschwinden, wenn man die Kreise abdeckt (Grafik: Michael Doneus).

ten fälschlicher Weise zu Strukturen zusammengesetzt – wir „sehen“ Objekte, obwohl diese nicht vorhanden sind.

Gerade das letzte Beispiel könnte man aber auch anhand des Gesetzes der „Bedeutung oder Vertrautheit“ erklären: „Dinge bilden mit größerer Wahrscheinlichkeit Gruppen, wenn die Gruppen vertraut erscheinen oder etwas bedeuten“ (GOLDSTEIN 1997, 174). Dass etwas „Bedeutung“ hat, heißt auch, dass wir das Wahrgenommene kategorisieren, in eine bestimmte Schublade stecken können (ROTH 1997, 188). Aus diesem Grund kann der (Luftbild-)Archäologe etwa ein sich im Bewuchs eines Feldes abzeichnendes Gräberfeld wahrnehmen – Form, Struktur, Ausdehnung etc. sind ihm vertraut. Dies impliziert aber auch, dass man erst dann etwas als bedeutungsvoll wahrnimmt, wenn man es kennt oder bewusst nach bestimmten Mustern sucht. Hierbei spielt die Erfahrung eine wichtige Rolle (ROCK 1998, 115). Andererseits kann man dadurch etwas auch nicht wahrnehmen, obwohl es prinzipiell gesehen wird (ALBERTZ 1997b, 29): So kann ein Luftbildarchäologe in einem Bild einen Siedlungsplatz oder ein Gräberfeld sehen, während ein Landwirt in derselben Fotografie die unterschiedlichen Bebauungsmuster der Felder wahrnimmt und der fotografisch interessierte Laie sich über die Farbgebung und die sanften Landschaftsformen freut.

Vor allem Kreise oder andere geometrische Figuren wie Quadrate und Rechtecke finden sich häufig als strukturelle materielle Hinterlassenschaft. Sie sind dem Archäologen also vertraut. Aufgrund der Rolle des Gedächtnisses bei der Kategorisierung genügt das Vorhandensein einer bestimmten Menge von Daten, damit das vollständige Bild einer

Gestalt hergestellt werden kann: „Je vertrauter mir eine Situation oder Gestalt ist, desto weniger »Eckdaten« benötigt mein Wahrnehmungssystem, um ein als vollständig empfundenen Wahrnehmungsbild zu erzeugen, das zu diesen Eckdaten paßt“ (ROTH 1997, 268). Dadurch werden auch zufällig vorhandene Farbunterschiede im Boden oder Getreide gerne zu solchen Formen visuell zusammengefasst. Dies geschieht bevorzugt in Situationen, wo wenig Zeit für Reflexionen vorhanden ist oder wo man eine kritische Betrachtung der eigenen Interpretation hintanstellt.

Wie gezeigt werden konnte, haben Gestaltgesetze auch bei der Luftbildarchäologie ihre Gültigkeit – und zwar unabhängig davon, ob die Landschaft bei einer Befliegung aus der Luft abgesucht, oder ein Luftbild im Büro betrachtet wird. In beiden Fällen spielen Hintergrundwissen, Erfahrung, Interesse, Stimmung, Gefühl und Konzentration bei der Wahrnehmung eine wichtige Rolle und können im positiven Sinn dazu führen, Fehlinterpretationen zu vermeiden und die wesentlichen, in unserem Fall archäologischen Strukturen aus der Fülle an Information herauszufiltern. Dies sei nach Irwin Scollar zwar nicht wissenschaftlich (im Sinne der Naturwissenschaften), aber effizient und vor allem erfolgreich (SCOLLAR 1990, 29). Andererseits ist das, was wahrgenommen wird, durch diese Faktoren gefiltert und selektiert und somit als subjektiv voreingenommen zu betrachten: „To a certain extent you cannot see ‚what is there‘ until you know how to look for it“ (HODDER 1999, 36).

10.4.5.2 Von der Wahrnehmung zur Interpretation

Kenneth Brophy argumentiert völlig zu Recht, dass sich die Interpretation durch den gesamten Prozess der Luftbildherstellung hindurchzieht: „aerial photography is an interpretative process from start to finish“ (BROPHY 2002, 36). Man könnte dieses Argument auch auf den gesamten luftbildarchäologischen Prozess ausdehnen. Umso erstaunlicher ist das Fehlen entsprechender Publikationen, welche sich mit der archäologischen Interpretation von Luftbildern auseinandersetzen. Meist handelt es sich dabei um Leitfäden, wie man (bezogen auf die Landschaften Großbritanniens) beim Fliegen oder bei der Bildbetrachtung archäologische von anderen Merkmalen unterscheidet (z. B. SCOLLAR 1965; RILEY 1987; WILSON 2000). Arbeiten, welche sich systematisch mit der detaillierten Interpretation und Kartierung der einzelnen Strukturen beschäftigen, gibt es nur wenige (zuletzt: MUSSON et al. 2005, 107 ff.). Dabei ist es gerade die detaillierte Kartierung, welche archäologisches Wissen in lesbarer, interpretierter Form weitergibt und im Rahmen von GIS anderen Archäologen zur Verfügung stellt (PALMER 1984; STOERTZ 1997; DONEUS et al. 2000; BEWLEY 1999, 2005, 22 f.).

Prinzipiell kann man im luftbildarchäologischen Prozess drei Arten von Interpretation unterscheiden: die Herstellung von Schrägaufnahmen, die Bildbetrachtung und die detaillierte Interpretation (Kartierung). In jedem Fall wird versucht, aus dem Vorhandensein und der Struktur von Sichtbarkeitsmerkmalen eine eventuelle archäologische Bedeutung herauszulesen. Die Verwendung des Begriffs „lesen“ kommt in diesem Zusammenhang nicht von ungefähr. Bereits seit Langem werden die archäologischen und historischen Spuren des Menschen an der Erdoberfläche mit den Symbolen und Schriftzeichen eines Palimpsests verglichen (ASTON, ROWLEY 1974, 14). Diese Spuren können durch die unterschiedlichsten Methoden gelesen und wie ein Text interpretiert werden:

„... in all areas of discovery, the data are never entirely objective or simply ‚given‘. Rather, we always have to ‚read‘ the object of study in terms of our tools, concepts, expectations and values“ (HODDER 1999, 32).

Deshalb ist auch hier die *Hermeneutik* als Kunst der Auslegung die bei der Luftbildinterpretation zugrunde liegende methodische Grundlage: Die beiden Aspekte des hermeneutischen Zirkels (TEICHERT 1996, 850) sind in der luftbildarchäologischen Interpretation von Relevanz:

(1) Zwischen dem Ganzen und seinen Teilen gibt es eine wechselseitige Bedeutungszuweisung (intratextueller Zirkel – TEICHERT 1996, 850): Die Interpretation einzelner Komponenten etwa einer Fundstelle wird durch ihre im Vorfeld angenommene Bedeutung beeinflusst, welche sich wiederum aus der Summe ihrer interpretierten Komponenten erschließt: Eine Interpretation ist somit immer vorläufig. Jede neue Befliegung bringt neue Information, welche in das interpretierte Ganze passen muss. Tut sie es nicht, so ist die Interpretation des Ganzen zu hinterfragen. Ein Beispiel dafür findet sich bei Dave Cowley und soll hier in seiner ganzen Länge wiedergegeben werden:

„The cropmark site at Lagg ... was being transcribed (i.s. computer mapped) as part of a block of work across three 1:10,000 map sheets containing large numbers of cropmark sites, and was initially interpreted and drawn out as a long barrow with some kind of mortuary structure During the process of peer review of the mapping and accompanying text, it was suggested that what was recorded was in fact a square barrow, with a central grave-pit and two parallel lines of pits extending away from the burial. As this was pointed out by a colleague my ... perception of the monument changed and I found myself unable to rationalise why I had not seen the site in this way before – it was by this stage obvious that it was a indeed square barrow and rows of pits!“ (BROPHY, COWLEY 2005b, 18).

(2) Bei jeder Interpretation – sei es in der Luft oder am Schreibtisch – ist ein Vorverständnis vorhanden, was zu einer paradoxen Situation führt: Die eigene Erfahrung ist Teil des Wissens um das, was verstanden werden soll (Text-Kontext-Zirkel – TEICHERT 1996, 851). Im Idealfall hilft das Vorwissen bei der Entdeckung/Interpretation der Fundstelle und ihre Interpretation erweitert das Vorwissen, was in der Folge zu einer Korrektur oder Verbesserung vergangener und zukünftiger Interpretationen führt. In diesem Sinne wird auch gerne von einer hermeneutischen Spirale gesprochen (TEICHERT 1996, 851; VERAART, WIMMER 1995, 88; HODDER 1999, 43; BROPHY 2005b):

„Aerial archaeology is a hermeneutic process, in this case a spiral with no real beginning and no possible end“ (BROPHY 2002, 37).

Das Verständnis des hermeneutischen Zirkels bzw. der Spirale bietet eine Möglichkeit der Selbstkorrektur und hilft, die eigene Praxis zu hinterfragen (BROPHY 2005b, 7). Die Aussage Jim Pickerings, Schrägbefliegung sei eine Sache von Piloten und nicht von Archäologen, da letztere aufgrund ihres Vorwissens indoktriniert seien, setzt Vorwissen mit Vorurteil gleich und kann deshalb nur dann unwidersprochen bleiben, wenn sie sich auf konkrete negative Beispiele bezieht:

„I think one of the problems of using an archaeologist is that they already have too many prejudices. They have been indoctrinated, have learned, archaeology as things like stratified layers, and I think this is a disadvantage“ (PICKERING, PALMER 1994, 28).

Im Gegensatz zu Pickerings Meinung ist meines Erachtens Vorwissen kein Problem, sondern vielmehr eine Bedingung für luftbildarchäologische Interpretation. Es ist Grund dafür, dass zwei Personen, auch wenn sie dasselbe sehen, Unterschiedliches wahrnehmen (CHALMERS 1999, 9). Nur eine Person mit entsprechend archäologischem Vorwissen wird in den Farbunterschieden eines Getreidefeldes die Grundrisse von Siedlungen oder Gräberfeldern etc. erkennen können. Wichtig ist jedoch eine konsequente Selbstkorrektur des Vorwissens im Sinne der hermeneutischen Spirale:

„Das fachliche Wissen schützt vor Fehlinterpretationen. Das fachliche Hintergrundwissen ist zwar für die routinemäßige Interpretation – nach entsprechendem Interpretationstraining – nicht unbedingt erforderlich, es ist aber unbedingte Voraussetzung für die Analyse der Interpretationsergebnisse“ (KRAUS 1990a, 368).

Um Luftbilder archäologisch zu interpretieren, bedarf es daher zweier Arten von Vorwissen (WILSON 2000, 217):

(1) Wissen über die Faktoren, welche für die Ausbildung von archäologischen Sichtbarkeitsmerkmalen verantwortlich sind.

(2) Kenntnis der archäologischen Strukturen selbst.

10.4.5.2.1 Beobachtung in der Luft (Flugprospektion)

Eine erste Interpretation erfolgt bereits während der Flugprospektion und gibt bei Schrägaufnahmen den eigentlichen Anstoß zur Dokumentation der archäologischen Fundstelle. Beim Betrachten der Landschaft aus dem Flugzeug heraus muss man in der Regel mit sich rasch verändernden Perspektiven zurande kommen. Die Ansicht der Landschaft ist nicht statisch; Wind, Temperatur oder Gerüche werden ebenfalls wahrgenommen. Für das Herausfiltern des Wesentlichen bleibt wenig Zeit.

Dadurch läuft man besonders während dieser rasch zu erfolgenden Interpretationstätigkeit Gefahr, bei der Entscheidung, bestimmte Strukturen am Boden zu dokumentieren oder zu ignorieren von einigen der in den Gestaltungsgesetzen dargestellten Phänomenen „betrogen“ zu werden. Zusätzlich ist man bewusster oder unbewusster Voreingenommenheit ausgesetzt und dokumentiert mitunter nur eine tendenziöse Auswahl der am Boden eigentlich sichtbaren Fundstellen und Strukturen. Kenneth Brophy nennt drei prinzipielle Strategien, der Voreingenommenheit zu entgegnen (BROPHY 2005, 36 ff.): eliminieren, im Nachhinein statistisch entzerren oder akzeptieren und kommt zu dem Schluss, dass das Akzeptieren dieser Tatsache letztendlich die einzig sinnvolle Variante ist (BROPHY 2005, 46): Subjektivität ist Teil luftbildarchäologischer Praxis (BROPHY 2002, 33). Wichtig ist somit, Beobachtungen bewusst und kontrolliert durchzuführen und Voreingenommenheit im Sinne der hermeneutischen Spirale durch konstante Reflexion und Selbstkritik zu erkennen und daraus zu lernen. Es bedarf somit großer Erfahrung, die Beobachtung darf dabei jedoch nicht zur Routine werden. Routine ermöglicht ein Handeln bei geringer Aufmerksamkeit. Aufmerksamkeit ist jedoch der bestimmende Faktor, um aus Gesehenem Wahrgenommenes zu machen. Nur das, worauf wir unsere Aufmerksamkeit richten, nehmen wir auch wahr. Da Aufmerksamkeit pro Zeiteinheit nicht beliebig steigerbar ist (ROTH 1997, 221 f.) bedarf es der Routine bei allen Handlungen, welche während der Flugprospektion anfallen (Fotografie, Film/Speicherkartenwechsel, Protokoll, Navigation etc.), damit der Beobachtung selbst die gesamte Aufmerksamkeit gegeben werden kann.

Aufmerksamkeit und Erfahrung sind die wichtigsten Faktoren einer zielgerichteten Wahrnehmung und einer Minimierung von Voreingenommenheit. Die Aufmerksamkeit ist jedoch stark abhängig von situationsbezogenen Faktoren. Stimmung, physische Verfassung, aber auch persönliches Interesse kann die Aufmerksamkeit beeinflussen oder auf bestimmte Ziele lenken. Selbst mit kartierten Flugwegen können wir daher nicht mit Sicherheit sagen, ob das, was be-

flogen wurde auch tatsächlich vollständig und aufmerksam abgesucht wurde:

„...we may know where an aircraft has flown, but we have no certain way of knowing where the observer has looked or how much evidence would have been visible from his flight path“ (PALMER 1978, 136).

Voreingenommenheit ist nur ein Teil des Vorwissens, welches bei jeder Schrägaufnahme „mitfliegt“. I. Hodder (1999, 49 f.) nennt im Kontext mit archäologischen Ausgrabungen noch weitere Aspekte, welche das Vorwissen beeinflussen, wie Fragestellung, Dokumentationskriterien, persönliche Fähigkeiten, soziale Stellung und Geldgeber (vgl. auch ŽUK 2005, 26 ff.). Das Vorwissen ist, wie bereits weiter oben ausgeführt, eine Voraussetzung, überhaupt archäologisch Relevantes als solches zu erkennen und letztendlich zu dokumentieren. Erst durch das Vorwissen können wir das am Boden Wahrgenommene erkennen und durch Interpretation einer archäologischen Kategorie zuweisen. Kategorisierung, d. h., „das Eingruppieren von Wahrnehmungsinhalten“ ist ein wesentliches Element der Wahrnehmung (ROTH 1997, 188). Dies geschieht letztendlich durch Benennen bzw. Verbalisieren des Gesehenen:

„The whole process of observation and interpretation is also the process of categorising and verbalising (and at the time narration making). Each observed feature is constantly named and categorised... So while taking an oblique photograph its textualisation takes place even before the physical moment of taking the photo...“ (RĄCZKOWSKI 2002b, 321).

Wenn mehrere Personen dasselbe Merkmal wahrnehmen, so hängt es in erster Linie vom Vorwissen ab – man könnte es auch Erfahrung oder Fragestellung nennen – wie sie dieses Merkmal beurteilen:

„Different archaeologists with varying levels of experience and under different conditions may well see physically exactly the same thing from the air or on an air photo, but what they think they are seeing and how they label and describe it may well vary“ (BROPHY 2005a, 41).

Dies zeigt deutlich, dass so etwas wie objektive Kriterien, welche es ermöglichen, alles archäologisch relevante bei einer Schrägbefliegung zu finden und zu dokumentieren nicht geben kann – bestenfalls sind sie ein Wunschdenken. Gerade diese Überlegungen haben in den letzten Jahren dazu geführt, die Dokumentation anhand von Senkrechtaufnahmen verstärkt zu propagieren. Bei der Interpretation von Senkrechtaufnahmen wird man zwar auf die gleiche Problematik von Vorwissen und Voreingenommenheit stoßen. Der große Unterschied ist jedoch, dass ein Nichterkennen archäologisch relevanter Sichtbarkeitsmerkmale keinen Einfluss auf deren Dokumentation hat: Eine Re-Interpretation ist möglich, genauso wie eine Interpretation

desselben Bildmaterials durch verschiedene Personen mit unterschiedlichem Vorwissen. Zudem können auch andere Quellen – etwa Luftbilder aus anderen Befliegungen – bei der Interpretation herangezogen werden.

Prinzipiell gibt es zwei Arten von Fehlern, welche bei der Interpretation gemacht werden können – egal ob bei der direkten Beobachtung im Flugzeug oder anhand der Bildinterpretation von Senkrecht- und Schrägaufnahmen am Schreibtisch:

(1) Ein Sichtbarkeitsmerkmal wird als archäologisch relevant interpretiert, obwohl es keine archäologische Struktur anzeigt und somit fälschlicherweise dokumentiert.

(2) Ein Sichtbarkeitsmerkmal wird als nicht archäologisch relevant interpretiert, obwohl es eine archäologische Struktur angezeigt hätte und somit nicht dokumentiert, nicht aus Senkrechtaufnahmen umgezeichnet.

Man kann lange darüber diskutieren, welcher Fehler der schlimmere ist. Im Endeffekt wird die Wertung durch die jeweilige Fragestellung vorgegeben sein. Bei Fehler (1) sind die Auswirkungen jedenfalls nicht so gravierend. Vor allem in Bezug auf den Denkmalschutz gilt sicherlich das Argument: „lieber eine Fundstelle zu viel als zu wenig“. Durch Verifikation anhand einer zweiten Prospektionsmethode kann man diesen Fehler auch weitgehend ausschließen. Fehler (2) resultiert vor allem bei Befliegungen zu einer nicht dokumentierten Fundstelle, die im Extremfall unwiederbringlich verloren gehen kann.

Aus diesem Grund scheint es angebracht, lieber zu viel als zu wenig zu dokumentieren und gegebenenfalls eine Verifikation vor Ort durchzuführen. Otto Braasch meint dazu:

„Wer ängstlich nur bekannte Befunde aufnimmt, bleibt methodisch zwar auf einer „sicheren“, für die weitere Entwicklung der Methode jedoch auf wenig Erfolg versprechender Seite – hier öffnet sich ein Scheideweg für vorsichtige orthodoxe und für spekulativ neugierige Geister“ (BRAASCH 2005, 11).

10.4.5.2.2 Bildbetrachtung

Das bislang Gesagte gilt auch für alle anderen Schritte der Interpretation. Hermeneutische Spirale, Subjektivität und Voreingenommenheit sind auch wichtige Aspekte der Bildbetrachtung oder der detaillierten Kartierung. Der große Vorteil einer Luftbildauswertung am Schreibtisch ist die Möglichkeit, sämtliche für die entsprechende Fragestellung relevante Informationen zusammenzutragen und in die Interpretation als zusätzliches Vorwissen mit einfließen zu lassen. Um diesen Vorteil zu nutzen, ist es daher wichtig, möglichst alle greifbaren Luftbilder für die Interpretation heranzuziehen, wobei die besten Bilder für die spätere detaillierte Kartierung ausgewählt werden.

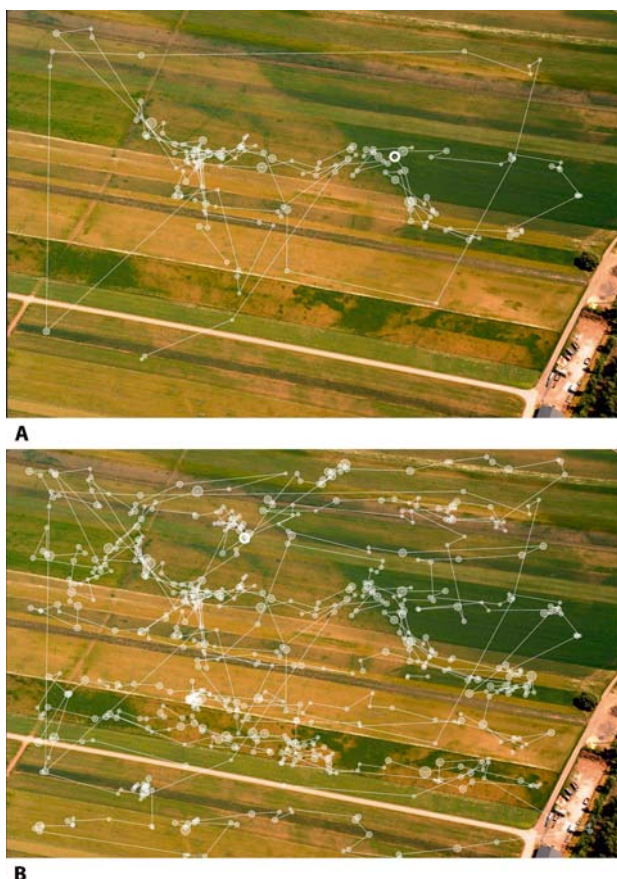


Abb. 94: Kartierung der Blickrichtung beim Betrachten eines Luftbildes. A: 30 Sekunden, B: 120 Sekunden Betrachtungszeit. (Grafik: LeB – Labor für empirische Bildwissenschaft, Institut für Kunstgeschichte der Universität Wien).

Der größte Nachteil besteht darin, dass man mit bereits vorgegebenem Bildmaterial arbeiten muss. Viele Entscheidungen (Zeitpunkt, Blickrichtung, Sensor, Flugweg, Flughöhe etc.) sind bereits gefallen und nicht mehr zu ändern. In Abhängigkeit von vielen Faktoren ist die Verlässlichkeit der Abdeckung eines Gebietes höchst unterschiedlich und schwer quantifizierbar. Vor allem dort, wo Herstellung und archäologische Interpretation von verschiedenen Personen durchgeführt werden (wie dies vor allem in Großbritannien sehr häufig der Fall ist: MUSSON et al. 2005, 107), ist diese Problematik verstärkt gegeben. Der Fotograf ist die einzige Person, welche die Fundstelle in ihrem gesamten Kontext von allen Seiten sehen und betrachten konnte – was übrig bleibt, sind eine Anzahl von Fotografien, eingefrorene Momentaufnahmen, deren Position, Ausschnitt, Maßstab etc. vom Fotografen nach eigenem Gutdünken je nach Vorwissen, Erfahrung, fotografischem Know-how und Fragestellung erzeugt wurden. Vor allem, wenn nur Schrägaufnahmen ohne Metainformation (z. B. aufgezeichnete Flugwege,

Fragestellung ...) zur Verfügung stehen, muss man sich der Tatsache bewusst sein, dass man es häufig mit einem unsystematischen Sample des Arbeitsgebietes zu tun hat.

Die in den Luftbildern sichtbaren Objekte werden aufgrund von diversen Interpretationsfaktoren (relative Helligkeit, Farbton und Farbsättigung einer Fläche, Form und Größe von Objekten, Textur der Oberfläche, Schattierungen, Schlagschatten, relative Lage von Objekten, stereoskopischer Effekt – ALBERTZ 2007, 124 ff.) identifiziert und archäologisch relevante Informationen erkannt. Wichtig ist die Erstellung eines Interpretationsschlüssels speziell für den Untersuchungsraum, für den ein bereits existierender Korpus an Fundstellen von Vorteil ist. Aufgrund der bereits existierenden Fundstellen und ihrer Sichtbarkeitsmerkmale lassen sich auch unbekannte Plätze entdecken. Vorsicht ist in jedem Fall geboten, denn auch die vorhandenen Fundstellen sind Resultat einer oft langen archäologischen Tradition und als solches nicht frei von einseitigen Darstellungen, Selektionen und anderen Voreingenommenheiten. Es besteht daher immer die Möglichkeit, Neues, bisher Unkategorisiertes zu entdecken. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, ist es weiters notwendig, den Interpretationsschlüssel um Spuren aus Geomorphologie, Geologie und moderner Landnutzung des Untersuchungsraumes zu erweitern, um Strukturen nicht archäologischen Ursprungs besser herauszufiltern zu können.

Am häufigsten treten dabei geologische Merkmale sowie Spuren landwirtschaftlicher Tätigkeiten auf. Auch andere rezente Strukturen wie Pipelines, Entnahmegruben, Bombentrichter sowie Spuren temporärer Einrichtungen sind häufig zu beobachten und zeichnen sich ebenso anhand von Sichtbarkeitsmerkmalen ab, wie archäologische Strukturen. Aber auch simple fotografische Fehler, wie Staub, Kratzer, Wassertropfen oder Reflexionen können bei der Interpretation problematisch sein. Zahlreiche Beispiele und nähere Information zu Kriterien der Unterscheidung aller hier erwähnten Sichtbarkeitsmerkmale nicht-archäologischen Ursprungs findet man in zahlreichen einschlägigen Publikationen (u. a. WILSON 2000, 163 ff., 1975c; MUSSON et al. 2005, 112 ff.; RILEY 1987, 83 ff.).

Bei der Bildbetrachtung geht die menschliche Wahrnehmung nicht kontinuierlich vor. Vielmehr „hüpft“ unsere Aufmerksamkeit von einem punktuellen Bereich des Bildes zu einem Anderen (sog. Sakkade), welcher nicht unbedingt in der direkten Nachbarschaft liegen muss. Kartierungen der Augenbewegungen haben ergeben, dass sich der Blick vor allem auf jene Bereiche eines Bildes richtet, welcher in Abhängigkeit von der Fragestellung am interessantesten erscheint (Abb. 94). Dabei wird unsere Aufmerksamkeit vor allem auf prägnante Bereiche mit auffälligen Farben und

Kontrasten gelenkt (YARBUS 1967). Der Grund für diese sprunghafte Bildbetrachtung durch Sakkaden und Pausen liegt in der Physiognomie unserer Augen: Nur im Bereich der Fovea, also auf geradem Weg zwischen Linse und Netzhaut sehen wir wirklich scharf und deutlich (MAFFEI, FIORENTINI 1997, 201–204).

Das von Punkt zu Punkt Gehen bei der Bildbetrachtung könnte auch ein Grund dafür sein, dass wir gerne Strukturen als zusammengehörend erkennen. Wie bereits I. Scollar bemerkte, beginnt man nur allzu leicht, Bedeutungsvolles zu erfinden: „It seems that if one stares long enough at a diffuse image, one's imagination will allow one to see almost anything“ (SCOLLAR 1990, 27). Besonders Kreise und andere geometrische Formen lassen sich auf diese Weise leicht aus unterschiedlichen, zufällig zusammenkommenden Objekten generieren. Wichtig ist deshalb eine gehörige Portion Selbstkritik. Eine kritische Betrachtung zeigt nur allzu oft, dass diese Figuren aus zufälligen Kombinationen verschiedener landwirtschaftlicher, geologischer und zum Teil auch archäologischer Merkmale ohne Bezug zueinander bestehen. Ein nicht-archäologisches berühmtes Beispiel sind die Marskanäle: Im Jahr 1877 glaubte der italienische Astronom Giovanni Schiaparelli, lineare Strukturen auf der Marsoberfläche zu erkennen. Obwohl es sich dabei – wie wir heute wissen – um optische Täuschungen handelt, wurden diese in der Folge von zahlreichen weiteren namhaften Astronomen beobachtet und kartiert, und waren Ausgangspunkt für die Idee von „Marsmenschen“. Diesbezüglich mahnte Carl Sagan:

„Selbst professionelle Wissenschaftler können beim Erkennen von Mustern ernsthafte, ja schwere Fehler begehen. Besonders da, wo das, was wir zu sehen glauben, von großer Bedeutung zu sein scheint, bringen wir vielleicht nicht die angemessene Selbstdisziplin und Selbstkritik auf. Der Mythos von den Marskanälen stellt ein wichtiges Lehrbeispiel dar“ (SAGAN 1997, 74).

In vielen Fällen bleibt es bei einer Bildbetrachtung und kurzen Beschreibung seines Inhaltes. Oft wird daher nicht interpretierend über Siedlungsgruben, sondern nur beschreibend über kreisförmige, ovale etc. Bewuchsmerkmale gesprochen. Die Fundstelle ist erkannt und das Luftbild verschwindet wieder in den Tiefen des Archivs. Diese Art der Interpretation, die oftmals über eine simple Bildbeschreibung nicht hinausgeht, ist jedoch in vielen Fällen nicht befriedigend. Auch wenn dies etwa für eine Unterschutzstellung einer Fundstelle ausreichen mag, ist dies im Sinne einer landschaftsarchäologischen Auswertung zu wenig und kommt einem Informationsverlust gleich. Deshalb ist in diesen Fällen auch eine Detailinterpretation notwendig.

10.4.5.2.3 Detailinterpretation

Mit „Luftbildarchäologie“ wird meist nur das Auffinden und Dokumentieren von archäologischen Fundstellen aus der Luft assoziiert. Die Herstellung von archäologischen Luftbildern ist allerdings nur eine – wenn auch eine sehr wichtige – Facette aus dem Arbeitsspektrum eines Luftbildarchäologen. Denn die in den Archiven gesammelten Luftbilder müssen weiter bearbeitet werden, um aus der Fülle an unterschiedlichsten Informationen den für den Archäologen relevanten Teil herauszufiltern. Auch diese Aufgabe obliegt dem erfahrenen Luftbildarchäologen, der die Aufnahmen systematisch interpretiert und kartiert, um den fotografierten Schatten-, Boden- oder Bewuchsmerkmalen ihre archäologische Bedeutung zu entlocken.

L. Maffei und A. Fiorentini konnten in Bezug auf die Kunst feststellen, dass dort, wo die Darstellung von Umrissen im Vordergrund steht, die Mitteilung von Wissen beziehungsweise Nachrichten zentrales Element ist (MAFFEI, FIORENTINI 1997, 49). Darstellungen, welche mit Licht, Schatten und Farben operieren, rücken eher die emotionale Ebene ins Zentrum ihres Interesses. Auf die Luftbildarchäologie übertragen bedeutet dies, dass auch das Beste, nach technischen Gesichtspunkten (für die Interpretation optimaler Blickwinkel, Ausschnitt so gewählt, dass genügend gut verteilte Passpunkte sichtbar sind etc.) erzeugte Luftbild, wenn es als solches in einer Interpretation abgebildet wird, vom Betrachter in der Regel nicht als wissensvermittelnd, sondern als die emotionale Ebene betonende Illustration empfunden wird. Je nach Interesse, Wissen, Erfahrung und Aufmerksamkeit *kann* ein Luftbild einen Erkenntnisanstoß geben; dies geschieht aber nicht zwingend. Im Gegensatz dazu ermöglicht eine interpretative Umzeichnung des Bildinhalts in eine Karte, die Erkenntnis des Interpretierenden zwingend zu vermitteln. Eine gute Interpretation kann und sollte von jeder fachkundigen Person verstanden werden können. Erst die Umzeichnung, Interpretation des Bildes wird daher bewusst oder unbewusst wissenschaftliche Anerkennung ernten.

Eine luftbildarchäologische Interpretation muss deshalb eine Kartierung beinhalten (MUSSON et al. 2005, 107), oder, wie Ian Hodder es in Bezug auf die Grabung ausdrückt: „It is the interpretive component that makes the data useful“ (HODDER 1999, 69). Erst die Darstellung luftbildarchäologischer Information innerhalb eines für den Archäologen verständlichen, entzerrten und maßstäblichen Planes eröffnet dem Archäologen weitere Möglichkeiten der Integration dieser Information in die eigene Fragestellung.

Die Detailinterpretation kann in vielen Fällen nur von erfahrenen Archäologen, welche mit den luftbildarchäologischen Problematiken vertraut sind, zufriedenstellend durchgeführt werden. Ist dies nicht der Fall, so kann es zu

Fehlinterpretationen und einer falschen Einschätzung des Aussagepotenzials kommen (vgl. Kapitel 11).

Neben dieser Vermittlung archäologischen Wissens in Form von verständlichen Plänen gibt es auch andere Gründe, welche eine detaillierte Kartierung notwendig machen (vgl. DONEUS 2001b; MUSSON et al. 2005, 108). Oft ist es die lückenhafte Information in einzelnen Luftbildern, welche dazu führt, dass erst nach mehreren Befliegungen zu unterschiedlichen Jahren und Jahreszeiten ein halbwegs vollständiges Bild einer Fundstelle vorhanden ist. Zusammenhänge lassen sich dabei in den einzelnen Schrägaufnahmen nur schwer erkennen. Erst durch die gemeinsame Kartierung aller Bildinhalte ist dies möglich.

Durch die mit einer Kartierung zuvor einhergehenden geometrischen Entzerrungen der Bildinhalte erfolgt auch eine mehr oder weniger genaue Georeferenzierung. Diese ist Voraussetzung für eine Kombination der luftbildarchäologischen Information mit geografischen Daten oder den Ergebnissen zusätzlicher Prospektionsmethoden (DONEUS, NEUBAUER 1998) und eröffnet somit weitere Möglichkeiten der Analyse. Ergänzt durch detailliertere Prospektionsmethoden, wie Feldbegehung und vor allem geophysikalische Messungen, erhält der Archäologe in der Folge Pläne einer kleinräumigen archäologischen Landschaft – eine Grundlage, die es ihm ermöglicht, konkrete Forschungsfragen zu definieren, und mit gezielt angelegten Grabungen zu untersuchen.

Entzerrung

Bei der Detailinterpretation werden die einzelnen erkannten Merkmale isoliert, bewertet und umgezeichnet, bzw. kartiert. Es hat sich dabei als zweckmäßig herausgestellt, die geometrischen Verzerrungen (schräger Aufnahmewinkel, die Höhenunterschiede am Boden oder die Objektivverzeichnung der Kamera) der zuvor ausgewählten Luftbilder in einem ersten Schritt zu entzerren und die Umzeichnung auf Basis der Entzerrungen bzw. Orthofotos innerhalb eines GIS auszuführen.

Es gibt unterschiedlichste Methoden zur Entzerrung (SCOLLAR 2008); ihre Bandbreite reicht von eher einfachen Techniken, wie zum Beispiel der Papierstreifenmethode (PALMER 1995a, 35 f.; MUSSON et al. 2005, 138 ff.; RILEY 1987, 68 f.), bis zu komplexen Verfahren, wie dem fotogrammetrischen Bündelblockausgleich (DONEUS 2001b; ZANTOPP 1995; SCOLLAR et al. 1990, 242 ff.). Zudem gibt es einige, speziell auf die Anforderungen der Luftbildarchäologie zugeschnittene Programme (HAIGH 1996; HAIGH 1998; HAIGH 2000; HAIGH 2005; SCOLLAR 1998, 2002; DONEUS, SCOLLAR 2006). Neuestens gibt es mit Structure Form Motion (SFM) und Multi-View Stereo auch weitgehend automatisierte Lösungen aus dem Bereich der Computer

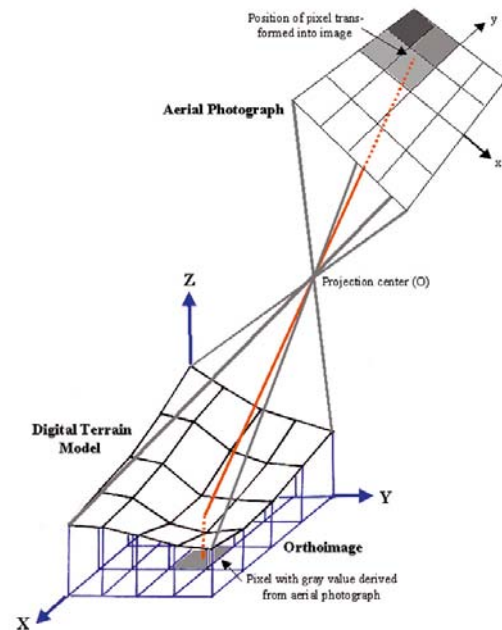


Abb. 95: Schematische Darstellung der Herstellung eines digitalen Orthofotos durch Differenzialentzerrung (Grafik: Michael Doneus – nach ECKER 1991, Abb. 4.7).

Vision (VERHOEVEN et al. 2012). Die Wahl der geeigneten Methode muss sich am Ausgangsmaterial, den erwarteten Resultaten und der damit verbundenen erforderlichen Genauigkeit orientieren.

Die geometrische Beziehung zwischen der zweidimensionalen Abbildung und dem fotografierten dreidimensionalen Gelände kann bei allen Methoden über sogenannte Passpunkte gefunden werden. Dies sind Objektpunkte, die im Luftbild klar zu erkennen sind und deren Koordinaten je nach Anforderung im Gelände geodätisch vermessen, aus Stereobildern auf fotogrammetrischem Weg bestimmt oder aus Karten oder Orthofotos entnommen werden (je nach Bildmaßstab z. B. Kanaldeckel, Dachgiebel oder Wegkreuzungen). Sie sollten den auszuwertenden Bereich gleichmäßig verteilt umrahmen.

In vielen Fällen ist eine einfache oder ebene Entzerrung ausreichend. Soll diese mit einer hinlänglichen Genauigkeit erfolgen, muss der zu entzerrende Bereich des Luftbildes in einer Geländeebene liegen. Ist dies nicht der Fall, so wird die Entzerrung in Abhängigkeit vom Relief ungenau. Der geometrische Bezug zwischen Bild- und Geländeebene wird über mindestens vier, um den auszuwertenden Bereich verteilte Passpunkte hergestellt, welche ebenfalls in der Geländeebene liegen müssen (Dachgiebel sollten daher z. B. vermieden werden). Die Entzerrung kann über grafische Verfahren (z. B. Papierstreifenmethode), Luftbildumzeichner, optisch-fotografische Entzerrung und die heute üblichen digitalen Lösungen erfolgen.

geworden (vgl. NEUBAUER 2004). Orthofotos können mit anderen Bildern und deren Auswertungen desselben Raumes überlagert werden, wobei Zusammenhänge zwischen den im aktuellen Orthofoto erkennbaren archäologischen Strukturen und den aus anderen Luftbildern kartierten Merkmalen sofort ersichtlich sind. Dies bedeutet eine enorme Erleichterung für die Interpretationsarbeit und vermindert einerseits die Gefahr von Fehlinterpretationen, andererseits können zuvor aus anderen Bildern umgezeichnete Strukturen reininterpretiert und gegebenenfalls korrigiert werden.

Die Orthofotos können zuvor mit Bildverbesserungsmethoden wie Anpassung des Histogramms, Wallis Filter, oder „crispining“ bearbeitet werden (SCOLLAR et al. 1990, 126 ff.). Dies verbessert die Sichtbarkeit der archäologischen Strukturen. Alle georeferenzierten Orthofotos und ihre gefilterten Varianten werden anschließend in einem Fenster am Bildschirm zusammengeführt. Die Interpretation der Fotos erfolgt Bild für Bild auf dem Bildschirm in verschiedenen Ebenen (*layer*) unter Verwendung unterschiedlicher Farben und Eigenschaften für unterschiedliche Strukturen (Abb. 96 und 137).

Im Vergleich zu analogen Karten bietet ein GIS den Vorteil, dass kartierte Informationen in Form einer räumlichen Datenbank abfragbar sind. Dies bedeutet, dass zu jedem kartierten Objekt auch beliebige Attribute gespeichert werden können. Im Fall einer Luftbildauswertung werden zusätzlich zur Zeichnung eines entsprechenden Polygons auch Beschreibung (Art des Sichtbarkeitsmerkmals), Interpretation (Graben, Grube, Mauer), Funktion (Siedlungsgrube, Grab), Struktur (gehört dieses Merkmal zu einer Siedlung, Gräberfeld, unbekannter Struktur etc.), Fundstelle (zu der dieses Merkmal gehört), Luftbild (aus dem das Merkmal umgezeichnet wurde), Bearbeiter etc. gespeichert werden. In Bezug auf die Interpretation geophysikalischer Daten betonen Chris Gaffney und John Gater die Bedeutung einer klaren Terminologie, welche für jeden Archäologen verständlich erscheint. Sie schlagen zum Beispiel je nach Sicherheit der Deutung eine Abstufung zwischen z. B. „Graben“ – „Archäologie“ und „?Archäologie“ vor (GAFFNEY, GATER 2003, 110).

Ergebnis einer Umzeichnung ist im Prinzip die Transformation der illustrativ dargestellten flächenhaften Information eines Luftbildes in Symbole (Punkte, Linien, Polygone). Diese können je nach Bedarf und Fragestellung in unterschiedlicher Farbe, Umrisslinien oder Signatur dargestellt werden. Das Ergebnis einer detaillierten Interpretation ist somit georeferenziertes, subjektives, archäologisches Wissen in symbolhafter Form.

Je nach Fragestellung sind jedoch unterschiedliche Kartierungsmaßstäbe notwendig. Diese bestimmen die notwendigen Genauigkeitsanforderungen sowie die zu



Abb. 97: Negative und positive Bewuchsmerkmale eines Grabhügels, welche konzentrisch um die zentrale, quadratische Grabkammer angeordnet sind. Je nach Beobachtungsfokus kann ein bestimmtes Bewuchsmerkmal (etwa der Ring c) als Objekt (Steinkranz) interpretiert werden oder als zum Hintergrund werden und seine „Dinghaftigkeit“ verlieren (Grafik: Michael Doneus).

verwendende Präzision. Für luftbildarchäologische Zwecke gibt Rog Palmer Kartierungsmaßstäbe von 1:10.000 mit einer minimalen Genauigkeitsanforderung von ± 8 m bis zu 1:2.500 (± 2 m) an (siehe MUSSON et al. 2005, 122 ff.; HAMPTON 1983 für eine Diskussion der Kartierungsmaßstäbe). Je nach Kartierungsmaßstab kann ein Objekt mit unterschiedlichen Symbolen (Punkt, Linie, Polygon) dargestellt werden. So wird eine Fundstelle im Maßstab 1:100.000 am besten durch einen Punkt repräsentiert, während im Maßstab 1:25.000 ein den Umriss nachzeichnendes Polygon die bessere Wahl ist. Bei Verwendung größerer Maßstäbe lassen sich die einzelnen Strukturen auflösen, wobei eine Grube mit zwei Metern Durchmesser bei einem Maßstab 1:10.000 nur 0,2 mm dick wäre und bestenfalls als Punkt dargestellt werden könnte. Bei 1:2.500 und größer wäre deren Darstellung als punktuelles Symbol jedoch mit Informationsverlusten verbunden. Der Kartierungsmaßstab bestimmt also nicht nur die Genauigkeit der Entzerrung, sondern auch die Präzision, mit der umgezeichnet werden kann. So macht es keinen Sinn, Pfostenlöcher für eine Kartierung im Maßstab 1:10.000 umzuzeichnen.

In Bezug auf die Verwendung unterschiedlicher Maßstäbe ergibt sich noch ein weiterer Aspekt: Daten, welche im GIS zusammengeführt werden, stammen aus unterschiedlichsten Quellen und wurden mit ebenso unterschiedlichen Fragestellungen und Methoden hergestellt. Zum Beispiel werden Bodenkarten häufig in Maßstäben von 1:25.000, bisweilen sogar 1:50.000 kartiert. Diese Maßstäbe müssen bei einer Nutzung der entsprechenden Daten in einem GIS

berücksichtigt werden. GIS erlaubt nämlich „maßstabsunabhängiges“ Arbeiten. Egal, für welchen Maßstab Daten hergestellt wurden, in einem GIS lassen sich die Daten in jedem beliebigen Maßstab darstellen. Es ist deshalb ein Leichtes, unterschiedliche Datenquellen mit unterschiedlichen Maßstäben zu kombinieren. Dass dies in den seltensten Fällen sinnvoll ist, wird dabei allzu oft übersehen.

Die Umzeichnung der archäologischen Information ist zugleich auch der zeitaufwendigste Teil der Interpretation, da im Sinne der hermeneutischen Spirale die kartierten Strukturen im Rahmen eines iterativen Prozesses ständig mit neu hinzugekommenen Orthofotos verglichen und anhand neuer Details evaluiert und gegebenenfalls reinterpretiert werden müssen (vgl. die dynamische Interpretation – NEUBAUER 2001, 174 ff.). Da jedes Bild das Gebiet unter unterschiedlichen Bedingungen und daher auch mit unterschiedlichen Details zeigt, ergibt erst die kombinierte Umzeichnung der archäologischen Strukturen nach und nach ein Bild der archäologischen Landschaft (vgl. Kapitel 11.2).

Beim Prozess des Umzeichnens und dem dabei involvierten Erkennen und Abgrenzen von Bewuchsmerkmalen läuft noch ein weiterer Wahrnehmungsprozess ab: die Trennung von Figur und Hintergrund. Wenn ein Bewuchsmerkmal, etwa das dunklere Grün der Getreidepflanzen über einer Grube erkannt wird, so erscheint es uns als Objekt, welches vor einem mehr oder weniger unstrukturierten Hintergrund steht. Bruce Goldstein beobachtet bei diesem Prozess der Figur-Grund-Trennung, dass unter anderem die Figur als „dinghaft“, „vor dem Hintergrund stehend“ und von Konturen begrenzt zu sein scheint (GOLDSTEIN 1995, 176). Dies ist auch der Grund, weshalb etwa Bewuchsmerkmale bei einer Interpretation durch begrenzende Umrisslinien umgezeichnet werden können. Schemenhaft oder unklar abgegrenzte Flächen nehmen wir kaum als Figur wahr – deshalb ist es schwierig, unklar ausgeprägte Merkmale zu erkennen und im archäologischen Sinn zu interpretieren.

Diese Figur-Grund-Dualität erschwert die Interpretation vor allem bei komplexen archäologischen Szenen mit direkt angrenzenden Bewuchsmerkmalen unterschiedlicher Ausprägung. Je nach Beobachtungsfokus kann ein bestimmtes Bewuchsmerkmal (etwa der Ring auf Abb. 97 c) als Objekt (Steinkranz) interpretiert werden oder als zum Hintergrund werden und seine „Dinghaftigkeit“ verlieren. Dies bereitet vor allem unerfahrenen Interpreten Schwierigkeiten, was zu einer großen Bandbreite unterschiedlicher Interpretationen führen kann, bei denen entweder Grabkammer und Steinkranz (Abb. 97 a, c) oder Grabkammer und umgebender Graben (Abb. 97 a, d) als Objekten archäologische Bedeutung zugewiesen werden.

Manche Information lässt sich jedoch nur schwer in Form eines symbolhaften Planes umsetzen. Deshalb ist auch eine begleitende verbale Interpretation notwendig. Anhand dieser lassen sich zusätzliche Informationen dokumentieren, wie zum Beispiel Unsicherheiten bei der Interpretation, Alternativvorschläge, aber auch Beobachtungen über Zusammenhänge, wie etwa eine gleiche Orientierung bestimmter Strukturen, oder deren Orientierung zu bestimmten anderen Fundstellen, Landmarken etc.

In England begann man im Laufe der 1980er Jahre, die luftbildarchäologisch interpretierten Strukturen zu typologisieren, um Anhaltspunkte zu Funktion und Datierung zu bekommen (ROWAN 1989, 26). Die Klassifikation luftbildarchäologisch erkannter Strukturen wurde etwas später systematisiert (EDIS et al. 1989) und wird bis heute bei der Inventarisierung im Rahmen des National Mapping Project verwendet (BEWLEY 1995; MUSSON et al. 2005, 154 ff.). Auch in Tschechien (GOJDA 1997, 40 f., 2005) versucht man, die Sichtbarkeitsmerkmale zu klassifizieren, wobei hier aufgrund der veränderten Archäologie (v. a. vermehrt Gruben statt linearer Strukturen) die Klassifikationssysteme den jeweiligen archäologischen Strukturen angepasst wurden. Martin Gojda versucht auf diese Weise Erkenntnisse, im Rahmen derer eine bessere Interpretation luftbildarchäologischer Befunde im Sinne der Aktivitätszonen des Gemeinschaftsraums möglich wäre, zu erhalten. Resultate stehen jedoch noch aus. Der Vorteil einer Klassifikation – nämlich die Vereinfachung der komplexen Strukturen durch Kategorisierung – ist auch ihr größter Nachteil. Auswertungen, welche sich allein auf eine Klassifikation beziehen, lassen viele Fakten und Interpretationsmöglichkeiten, wie zum Beispiel Persistenz, unberücksichtigt.

10.4.5.3 Gibt es eine „richtige“ Interpretation?

Die archäologische Interpretation während der Flugprospektion oder anhand von Luftbildern ist ein hermeneutischer Prozess, in welchem Vorwissen eine bedeutende Rolle spielt. Interpretation ist somit immer subjektiv und läuft auch Gefahr, tendenziell, selektiv und persönlich gefärbt zu sein. Dies ist eine Tatsache, mit der man sich abfinden muss:

„Whatever rules and procedures we follow I maintain that it is not possible to produce one “correct” interpretation of any aerially recorded site“ (PALMER 1989, 56).

Weder Luftbild noch seine Interpretation dürfen als objektive Darstellung der archäologischen Wirklichkeit betrachtet, sondern müssen als in hohem Maße subjektiv bewertet werden. Die Ergebnisse bedürfen daher einer ständigen Hinterfragung. Dadurch wird im Endeffekt jede Interpretation bis zu einem gewissen Grad unterschiedlich

ausfallen. Gerade weil jeder Interpretation Subjektivität zugrunde liegt, ist diese kein Kriterium für die Beurteilung einer Umzeichnung. Vielmehr sind es selbstkritische Erfahrung, welche Feedback zur Erweiterung des Vorwissens nutzt und darauf basiertes, rationales Argumentieren (also das Gegenteil von willkürlicher, auf Autorität beruhender Auslegung des Wahrgenommenen), welche als Kriterien für die Qualität von Interpretationen gelten können.

Es gibt also von vorneherein keine richtigen und falschen Interpretationen, solange diese gut recherchiert, selbstkritisch vorgenommen und durch wissenschaftliche Argumente gestützt wurden – in diesem Sinne gibt es nur solche, die für einen bestimmten Zweck angemessen erscheinen, sozusagen gute und schlechte Interpretationen. Auch wenn sich eine Interpretation im Nachhinein als falsch erweist, so kann sie bis zu diesem Zeitpunkt durchaus eine fundierte, argumentativ gestützte, gute Auslegung der fotografierten Sichtbarkeitsmerkmale gewesen sein. Sie kann als Ausgangspunkt einer Fragestellung gedient haben, im Zuge deren Beantwortung die ursprüngliche Interpretation nicht mehr aufrechtzuerhalten war. Somit ist sie Teil der hermeneutischen Spirale und hat ihren Beitrag zu einer besseren Sichtweise der materiellen Hinterlassenschaft geleistet, bis sie zugunsten eines neuen Vorwissens revidiert wurde.

Eine wichtige Frage bei der Interpretation ist die Frage, wie weit man gehen kann und darf. Interpretation ist eine ständige Gratwanderung zwischen einem Zuviel und Zuwenig:

„There is always a danger of ‚over-interpreting‘ crop marks; it is a reflection of the very personal perspective that any individual brings to ‚photo-reading‘. However, this essential subjectivity and the dangers of being ‚wrong‘ should not produce the opposite, where photo-interpreters are unwilling to explore the richness of their material” (BROPHY, COWLEY 2005b, 22).

Aus dem bisher Gesagten kann man auch konstatieren, dass zum momentanen Zeitpunkt eine „objektive“, automatisch generierte Interpretation unmöglich erscheint. Diese scheitert meist bereits an für unseren Wahrnehmungsapparat simplen Aufgaben, wie der Ergänzung verdeckter Objekte oder das Erkennen von bedeutungsvollen Gestalten. Ein gangbarer Weg könnte mit semiautomatischen Vorgangsweisen beschritten werden: Es geht nicht darum, automatisch zu interpretieren, sondern den Archäologen bei seiner Arbeit zu unterstützen. Dies ist vor allem in großen, bislang wenig erforschten Gebieten sinnvoll, solange es darum geht, mithilfe automatischer Klassifikation auf mögliche Sichtbarkeitsmerkmale aufmerksam gemacht zu werden und somit rasch zu ersten Erfolgen zu kommen (vgl. AURDAL et al. 2006).

Das archäologische Potenzial, welches in einer Integration einer detaillierten archäologischen Kartierung von Luftbildern mit unterschiedlichen räumlich bezogenen archäologisch relevanten Quellen (u. a. Prospektionsmethoden, bodenkundliche Untersuchungen, Ausgrabung, historische Quellen) steckt, ist groß. Dennoch bleibt es in den meisten Fällen aus zeitlichen und budgetären Gründen, aber auch aus Unwissenheit bei der visuellen Bildbeschreibung. Angesichts der enormen Menge an Luftbildern, die weltweit in zahlreichen Archiven aufgehoben werden, kann man nur erahnen, welches Potenzial an archäologischer Information dort noch ausgeschöpft werden könnte.

10.4.6 Methodische Probleme der Luftbildarchäologie

In Bezug auf die Bedürfnisse der Landschaftsarchäologie (großräumige und großflächige Erfassung und Kartierung materieller Hinterlassenschaft sowie deren chronologische und funktionale Ansprache) ergeben sich für die Luftbildarchäologie methodische Problemkreise, aber auch einige positive Aspekte.

10.4.6.1 Unsicherheitsfaktoren

Eines der größten Probleme der luftbildarchäologischen Prospektion sind die zahlreichen Unsicherheitsfaktoren bei der Auffindung von archäologischen Strukturen. Hierbei lassen sich mehrere Kriterien herausarbeiten (vgl. auch PALMER 1978, 131–137):

Eigenschaften archäologischer Fundstellen: Prinzipiell können nur jene Fundstellen bzw. Aktivitätszonen durch die Luftbildarchäologie entdeckt werden, welche in irgendeiner Form die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens lokal verändert haben. In fast allen Fällen handelt es sich dabei im mitteleuropäischen Raum um Vertiefungen (Gruben, Gräben, Mauern, Entnahmen), Aufschüttungen (Wall, Grabhügel) oder Komprimierung durch Begehung (Weg). Ehemalige Aktivitäten, welche nur Artefakte an der Erdoberfläche hinterlassen haben, lassen sich in der Regel nicht entdecken (mit Ausnahme von durch Deflation freigewehten „Scherbenteppichen“ in ariden Regionen). Vor allem kleine Strukturen, wie Pfostenlöcher oder Palisadengräbchen zeigen sich im Luftbild nur unter besonders günstigen Umständen.

Abgesehen von Muren und Erdfließen wirken sich natürliche Prozesse nicht auf die Lage der Strukturen aus. Diese können jedoch durch Kolluvien bedeckt oder durch Erosion zerstört werden. Die Tiefe des Bodens ist ein wichtiges Kriterium für die Ausbildung von Sichtbarkeitsmerkmalen. In der Regel sind erodierende Fundstellen am deutlichsten sichtbar, Bewuchsmerkmale können sich jedoch auch über einem Kolluvium zeigen.

Ausbildung von Sichtbarkeitsmerkmalen: Es gibt eine große Bandbreite von Sichtbarkeitsmerkmalen. Ihre Ausbildung ist jedoch von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten sind die Bodenart, Tiefe des Bodens, Bodenfeuchte, Klima und Witterung, Landnutzung sowie Art der Vegetation. Viele dieser Faktoren können nicht isoliert betrachtet werden, sondern stehen zueinander in komplexer Wechselwirkung.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt mangelt es an systematischen und langfristigen Untersuchungen der Auswirkung dieser Faktoren auf die Sichtbarkeit von Merkmalen. Daher stützen sich die bislang gemachten Aussagen zur Rolle der einzelnen Faktoren auf einige wenige lokale Untersuchungen sowie überwiegend auf empirischen Beobachtungen einzelner Flugprospektoren mit langjähriger, intensiver Erfahrung.

Derrick Riley hatte Ende der 1970er Jahre eine Grafik zusammengestellt, in welcher die SMDs der Monate Mai bis August der Jahre 1974 bis 1979 sowie Einsetzen, Dauer und Intensität von Bewuchsmerkmalen in ein und derselben Region gegenübergestellt werden (RILEY 1979, 31, Fig. 19). Ein Blick darauf zeigt, dass zwar Bewuchsmerkmale jedes Mal nach einem SMD von etwa 100 mm auftauchen. Ihre Intensität und Dauer war jedoch in jedem Jahr unterschiedlich (obwohl sie auf denselben Böden beobachtet wurden). Es ist daher naheliegend, zusätzliche Faktoren in Betracht zu ziehen, etwa die Auswirkung der Witterung im Herbst des Vorjahres sowie im Frühjahr auf die Ausbildung von Pflanzenwurzeln. Je nachdem könnte dies dafür verantwortlich sein, wie sich ein SMD über 100 mm auf die Ausbildung von Bewuchsmerkmalen auswirkt. Bislang gibt es dazu jedoch noch keine systematischen Untersuchungen. Auch Otto Braasch bemerkt:

„Insgesamt ist über die Entstehung dieser [Bewuchs]-Merkmale im Detail und auch im Hinblick auf die Eigenschaften neuer, insbesondere kurzhalmer, robuster Getreidesorten immer noch zu wenig bekannt. Hier begegnen wir einer Forschungslücke“ (BRAASCH 2005, 29).

Art der Befliegung: Zeitpunkt der Befliegung, Wetter, Sonnenstand, Flughöhe und Blickrichtung sind ebenfalls wichtige Faktoren bei der Erkennung materieller Hinterlassenschaft. Im Gegensatz zu den vorhin erwähnten Faktoren sind diese durch den Luftbildarchäologen frei wählbar und stellen bei ausreichender Erfahrung keine weitere Schwierigkeit dar.

Schrägbefliegungen haben sich als extrem effizient erwiesen, haben in Bezug auf die Landschaftsarchäologie jedoch einige Nachteile. Neben der unweigerlichen Voreingenommenheit des Luftbildarchäologen ist die Dokumentation in erster Linie fundstellenbezogen – eine flächendeckende Erfassung aller relevanten Strukturen (archäologisch und

umweltbezogen) ist schwierig bis unmöglich. Zudem wird die Befliegung häufig durch Flugverbotszonen behindert.

Wichtig ist daher die Verwendung von Senkrechtaufnahmen vor allem dann, wenn man Zeitpunkt und Maßstab selbst bestimmen kann. In diesen Fällen ist mit einer ausgezeichneten, das gesamte Gebiet stereoskopisch erfassenden Abdeckung zu rechnen. Die Ergebnisse ihrer Interpretation haben für die Landschaftsarchäologie große Relevanz, zumal auch Strukturen der Umwelt (Paläomäander) mit dokumentiert werden. Leider gibt es momentan – soweit bekannt – nur am Institut für Ur- und Frühgeschichte in Wien diese Möglichkeit aufgrund eines Kooperationsabkommens mit dem österreichischen Bundesheer.

Beobachter (während und nach Flug): Zuletzt ist die Erkennungsrate archäologischer Strukturen auch vom Beobachter selbst abhängig. Vorwissen, Voreingenommenheit, Erfahrung oder die Fragestellung sind nicht wegzudiskutierende wichtige Parameter bei der Erkennung archäologischer Strukturen aus der Luft oder im Luftbild. Wie im Rahmen der Schrägaufnahmen und der Interpretation dargestellt, muss man deshalb vor allem bei luftbildarchäologischen Ergebnissen, welche sich ausschließlich auf beobachtergestützte Befliegungen (Schrägaufnahmen) stützen mit entsprechenden Verzerrungen des Fundstellenbildes rechnen. Das, was durch Luftbildarchäologie entdeckt wird, ist durch zahlreiche gegebenheitsbezogene und individuelle Filter selektiert worden und daher in jedem Fall voreingenommen, verzerrt (*biased*): „... the practice of aerial archaeology is fundamentally subjective, riddled with biases and highly dependent on individual perception and experience“ (BROPHY, COWLEY 2005b, 13).

So gelten lehmige Böden in der Luftbildarchäologie als „schwierig“ (EVANS 2007, 19). Dies führte vielerorts dazu, dass Gebiete mit lehmigen Böden kaum befliegen wurden, da sie weniger gute Resultate erbringen (MILLS, PALMER 2007a; GRADY 2007, 37 ff.). Die geringere Befliegungsdichte verstärkt jedoch die in der Archäologie verbreitete Annahme, dass in solchen Regionen anscheinend weniger gesiedelt wurde und kann somit in einem Zirkelschluss enden (vgl. KIARSZYS et al. 2007). Dies lässt Rog Palmer zu dem Schluss kommen, dass sich eine moderne Luftbildarchäologie nicht mehr nur auf Schrägaufnahmen verlassen darf:

„Observer-directed photography may have suited archaeological practice in the 1930s but I question whether it fits our current archaeological directions. Between the 1930s and now, archaeology, at least in Britain, has moved from the study of single sites to examining those sites in a landscape context and in association with their contempora-



Abb. 98: Zwentendorf, NÖ. Zahlreiche Gruben erscheinen in linearen Anordnungen, welche rechtwinkelig auf die Reste der römischen Straße ausgerichtet sind (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

ry features. Aerial survey has not kept up with that trend. It should be leading it" (PALMER 2005, 103).

Reflexion und Selbstkritik sind daher in der Luftbildarchäologie extrem wichtig. Auch wenn dies bereits seit Jahrzehnten anerkannt ist, hat es jedoch kaum Auswirkungen auf die luftbildarchäologische Praxis. Kenneth Brophy bemerkt dazu:

„... most aerial archaeologists and air photo interpreters simply do not see the point of post-processual theory, reflexive practice or photographic theory This seems a little strange to me, as I think that aerial archaeology is one of the areas of archaeological practice that is most in need of self-critique“ (BROPHY 2005b, 7).

Viele der hier angeführten Faktoren sind nicht messbar und quantifizierbar. Daher scheint es nicht angebracht, Kriterien für den Erfolg luftbildarchäologischer Prospektion zu benennen (RĄCZKOWSKI 2005, 17). Eine Möglichkeit der Evaluierung ist der direkte Vergleich mit anderen Prospektionsmethoden.

Ähnlich wie bei der Feldbegehung ist die Luftbildarchäologie zwar *wiederholbar*, die Ergebnisse werden jedoch aufgrund dieser zahlreichen, die Auffindung beeinflussenden Faktoren jedes Mal andersgeartet sein. Ähnlich wie bei der Feldbegehung kann eine Fundstelle erst nach Jahren der Befliegung erstmals entdeckt werden. Gerade deshalb kann und darf die Luftbildarchäologie nur systematisch betrieben werden. Vor allem wenn es darum geht, möglichst viele Strukturen einer Landschaft zu erfassen, müssen Luftbilder zu unterschiedlichen, Tages- und Jah-

reszeiten, bei unterschiedlicher Witterung etc. hergestellt werden. Hier liegt aber auch ein Vorteil der Methode, da im Gegensatz zu sämtlichen anderen archäologischen Prospektionsmethoden wiederholte Beobachtungen die Regel sind.

10.4.6.2 Chronologische Aussagemöglichkeit

Ein weiterer Schwachpunkt der luftbildarchäologischen Prospektion ist deren beschränkte chronologische Aussagekraft. Die materielle Hinterlassenschaft kumuliert; eine Wiederbesiedlung oder erneute Nutzung einer ehemaligen Aktivitätszone führt in den meisten Fällen nicht zu einer Ersetzung, sondern vielmehr zu einer Anhäufung der Strukturen. Deshalb sieht man im Luftbild nicht den Aus-

schnitt einer chronologischen Phase, sondern die gesamte Geschichte einer Fundstelle, von ihren ersten anthropogenen Eingriffen bis zur rezenten Drainage. Das Luftbild zeigt also historische Tiefe.

Eine Datierung luftbildarchäologisch erkannter Strukturen ist prinzipiell dann möglich, wenn Größe und Form der einzelnen Strukturen, ihre Variationsbreite, relative Lage und Orientierung Analogieschlüsse zu bereits bekannten Fundstellen zulassen. Typische Beispiele, bei denen eine chronologische Zuordnung aus der Luft möglich ist, sind die mittelneolithischen Kreisgrabenanlagen, deren Form und Größe in Mitteleuropa so charakteristisch sind, dass sie in den meisten Fällen eindeutig erkannt werden können (z. B. Abb. 55). Auch die Datierung vieler Gräberfelder kann bereits aus der Luft näher eingegrenzt werden. So sind frühbronzezeitliche Bestattungsplätze (z. B. Abb. 148), frühgeschichtliche Reihengräberfelder (z. B. Abb. 142) oder römische Gräberstraßen (z. B. Abb. 17) in vielen Fällen bereits im Luftbild kategorisierbar. Auch römische Villae rusticae (z. B. Abb. 64) oder lengyelzeitliche Hausgrundrisse (z. B. Abb. 62) weisen in unserem Raum genug Charakteristika auf, um erkannt und grob datiert werden zu können. Wolfram Schier konnte für seinen Arbeitsbereich im südlichen Maindreieck aufgrund von Vergleichen von Luftbildbefunden mit Begehungsdaten einige Kriterien herausarbeiten, nach denen sich luftbildarchäologisch entdeckte Siedlungen datieren ließen (SCHIER 1990, 133 ff.).

Neben Analogieschlüssen lassen sich des Öfteren auch relative Abfolgen von Sichtbarkeitsmerkmalen erkennen.



Abb. 99: Aufnahme im Bereich eines stark erodierten Hügelgräberfeldes. Die Grabhügel sind – wenn überhaupt – nur für das geschulte Auge zu erkennen (© Michael Doneus).

So zeichnet sich das auf Abb. 142 sichtbare awarenzeitliche Gräberfeld deutlich vor dem Hintergrund des Schotterbandes eines ehemaligen Flussbettes ab und muss daher jünger sein. Manche der frühbronzezeitlichen Bestattungen in Untereggendorf (Abb. 148) werden durch Erosionsrinnen gestört und sind somit älter. Auch sich überschneidende Hausgrundrisse oder Grubenhäuser zeigen eine chronologische Differenzierung der Fundstelle.

Auch der Kontext von Strukturen zueinander lässt Vermutungen über deren chronologische Abfolge zu. Wege oder Bäche, welche ein Flursystem durchschneiden (ein ausgezeichnetes Beispiel dafür bietet Benoît Sittler, auch wenn es sich dabei um LiDAR-Daten handelt: SITTLER, SCHELLBERG 2006, 119, Figure 2 und 121) oder die rechtwinkelige Ausrichtung von Gruben zueinander und zu einer Straße (Abb. 98) suggerieren ein zeitliches Hintereinander beziehungsweise eine zeitliche Zusammengehörigkeit. Anders verhält es sich jedoch mit Gruben innerhalb einer Grabenanlage. Diese können, müssen aber nicht zwingend zeitgleich sein. Insgesamt betrachtet ist jedoch die chronologische Aussagemöglichkeit durch luftbildarchäologische Beobachtungen sehr begrenzt.

10.5 Flugzeuggetragenes Laser-Scanning

Im Verlauf der letzten Jahrtausende haben die Waldgebiete Mitteleuropas eine bewegte Geschichte erfahren. Ein wiederholt stattfindender Wandel der Standortbedingungen resultierte in unterschiedlicher Dichte und Zusammensetzung der Waldgebiete. So dürften die ersten Wälder am Ende der letzten Eiszeit in unserem Raum aus Kiefern und Birken bestanden haben (KÜSTER 1998, 45). Veränderten sich die Waldlandschaften in den ersten nacheiszeitlichen Jahrtausenden vor allem aufgrund der sich im Laufe der Zeit wandelnden klimatischen Bedingungen, so griff bei uns der Mensch erstmals vor etwa 7.000 Jahren mehr oder weniger massiv in die Standortbedingungen der Wälder ein. Rodung, selektive Nutzung, Waldweide und eine mindestens seit dem Spätmittelalter planmäßige Forstwirtschaft prägen heute das Bild unserer mitteleuropäischen Wälder.

Heute gibt es in unserem Raum praktisch kein Fleckchen Landschaft mehr, welches nicht direkt oder indirekt, bewusst oder unbewusst durch den Menschen verändert wurde. Man kann davon ausgehen, dass sämtliche Waldflächen mehrfach und zum Teil über längere Zeiträume hindurch abgeholzt waren und anderweitig (etwa als Siedlungsfläche,

Bestattungspplätze, für landwirtschaftliche oder industrielle Tätigkeit) in Verwendung standen. Dabei hinterließen die Menschen Spuren in Form von Wällen, Gräben, Terrassierungen, Flurgrenzen, Grabhügeln, Hohlwegen etc., welche sich noch lange Zeit als größere oder kleinere Reliefunebenheiten an der Erdoberfläche abzeichnen. Durch eine spätere ackerbauliche Nutzung der betroffenen Flächen werden solche Spuren im Geländere relief immer weiter eingeebnet und werden somit oberflächlich „unsichtbar“. In jenen Bereichen, wo eine Einebnung und Zerstörung durch Pflug und andere landwirtschaftliche Maschinen nicht vollständig vonstattengehen, und Wald oder andere Vegetation diese Flächen zurückerobert, bleiben die Reliefunebenheiten durch die stabilisierende Wirkung der Vegetationsdecke weitgehend erhalten und können somit bis heute noch sichtbar sein.

Unter dem Wald ist somit ein Archiv vergangener menschlicher Spuren erhalten, welche sich in Form von massiven bis unscheinbaren Reliefunterschieden zeigen. Diese werden jedoch durch die Vegetation des Waldes verdeckt und entziehen sich somit in vielen Fällen unserer Kenntnis. In den bewaldeten Gebieten stoßen die meisten bislang bekannten archäologischen Prospektionsmethoden an ihre Grenzen. Selbst die in den ackerbaulich genutzten Gebieten so erfolgreichen archäologischen Prospektionsmethoden wie Luftbildarchäologie, Feldbegehung oder geophysikalische Prospektion sind im Wald nur bedingt einsetzbar.

Eine systematische Begehung von größeren Gebieten ist sehr zeitaufwendig, kostenintensiv und daher kaum finanzierbar. Vor allem nur sehr flach erhaltene Fundstellen sind mit Begehungen – wenn überhaupt – nur sehr schwer auszumachen. So schreibt O.G.S. Crawford im Rahmen seines Buches zur Feldarchäologie:

„Tracing roads through woods ... is a maddening business“ (CRAWFORD 1953, 62).

Obwohl es der Luftbildarchäologie möglich ist, vor allem in der vegetationslosen Periode im Laubwald nach im Relief erhaltenen Strukturen zu suchen, hat die Erfahrung gezeigt, dass dies in der Regel nur bei noch verhältnismäßig gut erhaltenen linearen Strukturen funktioniert (Straßen und Wall-Grabensysteme), sofern sie quer zur Einstrahlrichtung der Sonne liegen. Lineare Strukturen, die parallel zur Einstrahlrichtung der Sonne liegen, sowie Fundstellen, die sich nur noch wenige Dezimeter vom gegebenen Geländere relief abheben, lassen sich im Wald nur selten und schwer aus der Luft erkennen, zumal die dazu notwendigen Wetterkonditionen (50 km Sicht da der Dunst bei extrem tiefem Sonnenstand zu stark wird) nur sehr selten eingehalten werden können (WILSON 2000, 40). Erschwerend kommt hinzu, dass Bäume und deren Schatten die oft ohnehin schwer zu

erkennenden Schattenmerkmale der reliefierten Strukturen zusätzlich verschleiern. Daher lassen sich im Waldgebiet meist nur große, noch relativ gut erhaltene Grabenwerke erkennen (SCOLLAR et al. 1990, 36). Dies führt dazu, dass Fundstellen aus Waldgebieten in sämtlichen Verbreitungskarten unterrepräsentiert sind, was sich in einer stark eingeschränkte Datenbasis für die Landschaftsarchäologie auswirkt (Abb. 99).

Selbst wenn einzelne Strukturen an der Bodenoberfläche sichtbar sind, so dauert es im Allgemeinen lange, bis man sich vor Ort den entsprechenden Überblick verschafft hat, um diese einzelnen linearen und punktuellen Veränderungen der Mikrotopografie in einen Gesamtkontext stellen und somit archäologisch interpretieren zu können. Eine detaillierte Interpretation mit Kartierung der Objekte bereitet ebenfalls Schwierigkeiten. Meist gibt es keine Vermessungspunkte in der Nähe, sodass man mit aufwendigen Polygonzügen einen Zusammenhang mit dem Landeskoordinatensystem herstellen muss. Die Kartierung aus dem Luftbild ist allgemein schwierig, da man in der Regel kaum Passpunktinformationen besitzt und diese aus eben erwähnten Gründen im Wald schwer zu vermessen sind. Weiters verhindert die Vegetation eine detaillierte Vermessung des Geländes und der archäologischen Strukturen aus dem Luftbild. Die rein terrestrische Vermessung einer Fundstelle kann hingegen einige Wochen dauern und ist daher nur bei ausgewählten Fundstellen sinnvoll.

Es gibt daher nicht nur in Österreich große Defizite bei der Prospektion von Waldgebieten, die dem Archäologen bei der Analyse von archäologischen Landschaften fehlen. Allein in Niederösterreich liegt der Waldanteil bei etwa 40 Prozent, davon ist etwas mehr als ein Drittel Laubwald.

Um die im Wald erhaltenen Fundstellen erkennen zu können, müssen auch die unscheinbarsten Reliefunebenheiten sichtbar gemacht werden. Dies kann durch extrem detaillierte Geländemodelle erreicht werden. Bis vor Kurzem lag das Hauptproblem dabei in der enorm aufwendigen Vermessung solcher Modelle, bei denen man im Idealfall mehrere Punkte pro Quadratmeter benötigt. Durch terrestrische Aufnahmen sind diese praktisch nicht zu realisieren.

Seit wenigen Jahren ist eine neue Technologie auch für Archäologen zugänglich, mit der die hier vorgestellten Probleme der Erkennung und Vermessung von im Relief erhaltenen Fundstellen im Waldgebiet gelöst werden können. Es handelt sich dabei um das flugzeuggetragene Laser-Scanning (*airborne laser scanning* – ALS), welches sich der Prinzipien von LiDAR (*Light Detection And Ranging*) bedient und aus Flugzeugen heraus betrieben wird.

10.5.1 Prinzip¹

Beim flugzeuggetragenen Laser-Scanning handelt sich um eine verhältnismäßig neue Technik, mit der sich die Topografie der Erdoberfläche in kurzer Zeit sehr detailliert und präzise vermessen lässt (ACKERMANN 1999; KRAUS 2004, 449–470; WEHR, LOHR 1999). Zu diesem Zweck wird ein Laserscanner normalerweise an der Unterseite eines Flugzeuges oder Hubschraubers montiert. Während das Flugzeug streifenweise ein Gebiet abfliegt, tastet der Laserscanner die Erdoberfläche ab. Dabei sendet er kurze Laserpulse (deren Wellenlänge typischerweise im Bereich des nahen Infrarot liegt) aus, die fächerförmig quer zur Flugrichtung abgelenkt werden. Die meisten der Laserstrahlen werden daher nicht senkrecht nach unten, sondern unter einem schrägen Winkel ausgesandt (in den meisten Fällen liegt dieser bei maximal $\pm 20^\circ - \pm 30^\circ$). Am auftreffenden Objekt wird das Licht des Lasers meist diffus reflektiert (Ausnahme: z. B. glatte Wasseroberflächen), sodass in der Folge ein geringer Teil der reflektierten Laserenergie (Echo) von einer Fotodiode an der Empfangseinheit des Scanners erfasst werden kann. Aus der Laufzeitdifferenz zwischen ausgesendetem Signal und empfangenem Echo kann die Entfernung zwischen Scanner und Objekt bestimmt werden. Aus der Distanz, dem Ablenkwinkel und der durch ein differenzielles GPS sowie einer inertialen Messeinrichtung (Inertial Measurement Unit [IMU]) laufend gemessenen, genauen Position und Orientierung des Scanners lassen sich die Koordinaten des reflektierenden Objektes berechnen. In Abhängigkeit vom benutzten Gerät können typischerweise pro Sekunde zwischen 30.000 und 400.000 Pulse ausgesendet werden. Dies garantiert eine sehr hohe Dichte an gemessenen Geländepunkten (oft mehrere Punkte pro Quadratmeter), aus der in der Folge ein detailliertes Geländemodell bestimmt werden kann.

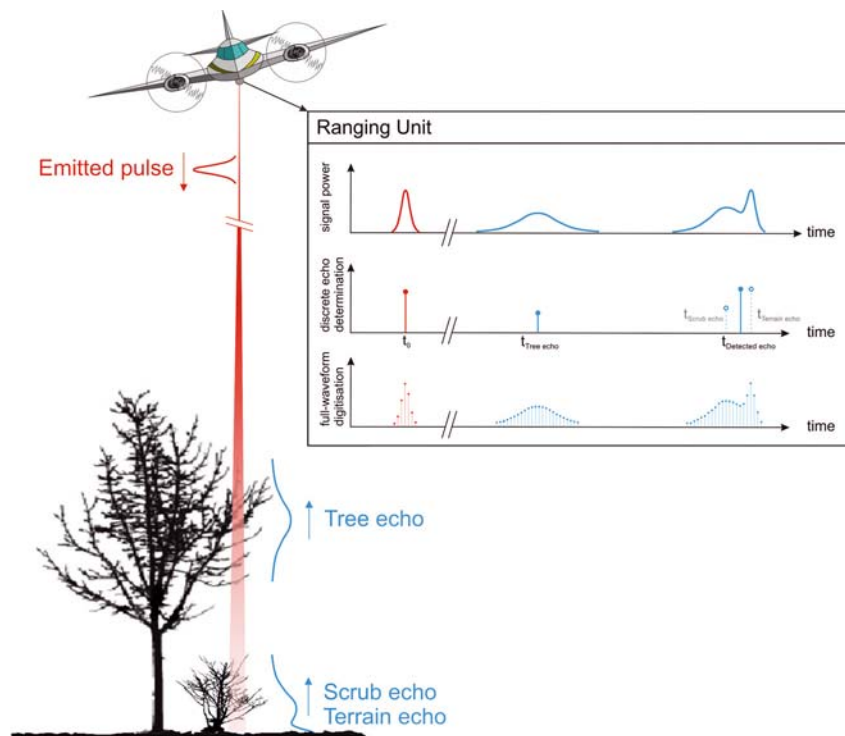


Abb. 100: Schematische Darstellung des Unterschiedes zwischen konventionellem ALS und Full-Waveform ALS (© Christian Briesse).

10.5.1.1 ALS im Waldgebiet

Auf dem Weg zur Erdoberfläche kann der Laserstrahl an unterschiedlichen Objektoberflächen reflektiert werden. Die zurücklaufenden ersten Echos stammen dabei meist von Baumkronen, Stromleitungen, Dachtraufen und Ähnlichem. Aufgrund des Durchmessers des Laserstrahls (am Boden typischerweise zwischen 0,2 m und 1 m) wird in der Vegetation oft jedoch nur ein Teil der Strahlung von den Baumkronen, etc. reflektiert. Der Rest der Energie kann durch kleine Löcher in der Vegetationsdecke weiter zum Boden vordringen und bis zum endgültigen Erreichen der Erdoberfläche noch mehrere Male, etwa von Ästen, Büschen oder anderer hoher Vegetation reflektiert werden. Das letzte Echo, das an der Fotodiode registriert wird, stammt im Idealfall von der Erdoberfläche. In vielen Fällen, in denen nicht genügend Durchdringung möglich ist, kommt das letzte Echo jedoch von Dachflächen, Autos, Baumstämmen oder sehr dichter Vegetation (vgl. Abb. 100).

In Summe erhält man eine sehr dichte Punktwolke, die nicht nur die Erdoberfläche, sondern auch alle auf ihr befindlichen Objekte in ihrer räumlichen Ausdehnung beschreibt. Von einem Haus sind zum Beispiel zahlreiche Punkte der Dachfläche, aber auch (aufgrund der bis zu 30° schrägen Laserstrahlen) Punkte der Hauswände in der Punktwolke

¹ In den folgenden Kapiteln wurden einige Teile der Publikation „Flugzeuggetragenes Laserscanning als Werkzeug der archäologischen Kulturlandschaftsforschung. Das Fallbeispiel „Wüste“ bei Mannersdorf am Leithagebirge, Niederösterreich“ (DONEUS 2008) übernommen.

erfasst. Ein Baum findet sich meist durch zahlreiche Punkte der Baumkrone, seiner Äste und des Baumstammes in den Daten eines Laserscans wieder.

Verwendet man ausschließlich die ersten Echos aller Laserpulse, so erhält man ein digitales Oberflächenmodell (DOM; im Englischen auch DSM – *Digital Surface Model* genannt) des gescannten Bereiches. Bei Verwendung der letzten Echos (und – wie weiter unten beschrieben wird – unter Anwendung von Klassifizierungs- und Filtermethoden) erhält man ein digitales Geländemodell (DGM; im Englischen auch DTM – *Digital Terrain Model* genannt), in dem vor allem die Vegetation ausgeblendet ist. Da die archäologische Interpretation eines ALS-Scans nur auf Basis des abgeleiteten DGM stattfinden kann, ist dessen Qualität von besonderer Bedeutung. Da jedoch nicht sämtliche letzten Echos vom tatsächlichen Boden stammen, sondern auch von Gebäuden, anderen Objekten oder dichter Vegetation reflektiert worden sein können, bedarf es zur Steigerung der DGM-Qualität einer Klassifizierung der einzelnen Punkte in Boden- und Nicht-Bodenpunkte. Dazu sind geeignete Filtermethoden nötig. Einige der gängigsten Techniken wurden von Sithole und Vosselman (SITHOLE, VOSSELMAN 2003) verglichen. Damit hat man für Waldgebiete eine Möglichkeit, im Relief erhaltene Bodendenkmäler digital von der darüber liegenden Vegetation zu befreien und detailliert darzustellen.

10.5.1.2 Erreichbare Genauigkeit

Aufgrund der hohen Punktdichte und ihrer relativ gleichmäßigen Verteilung sind die abgeleiteten Höhenmodelle detailreich und beschreiben die Oberfläche äußerst genau. Die dabei wichtige absolute Genauigkeit ist das Maß für die Übereinstimmung zwischen den im Rahmen des Laser-Scannings bestimmten und den tatsächlichen Koordinaten von Punkten auf der Erdoberfläche. Ihre Größe hängt in erster Linie von der Georeferenzierung ab und kann für die Lage (X- und Y-Koordinate) in den meisten Fällen mit etwa $\pm 25\text{--}50\text{ cm}$ angenommen werden. Bei der vertikalen absoluten Genauigkeit müssen weitere Fehlereinflüsse (z. B. Ungenauigkeiten der GPS- und IMU-Messungen) berücksichtigt werden. Sie liegt typischerweise bei etwa $\pm 15\text{ cm}$ (PFEIFER et al. 2001).

Im Gegensatz zur vertikalen absoluten Genauigkeit beschreibt die vertikale relative Genauigkeit die lokalen Höhenabweichungen zwischen eng benachbarten Punkten innerhalb einer ALS-Befliegung. Sie ist vor allem wichtig für die archäologische Interpretation: Je größer sie ist, desto subtilere Reliefunterschiede können bei der archäologischen Interpretation der Daten einer ALS-Befliegung erkannt werden. Sie liegt aufgrund unserer bisherigen empirischen

Erfahrung mit den Daten des eingesetzten Full-Waveform-ALS-Systems (siehe nächstes Kapitel) in Abhängigkeit vom Bewuchs und der Oberflächenbeschaffenheit zwischen ± 5 und $\pm 10\text{ cm}$.

10.5.1.3 Konventionelle und Full-Waveform Systeme

Im Moment sind zwei unterschiedliche Typen von Sensoren verfügbar: so genannte konventionelle (diskrete Echo-) und Full-Waveform ALS (FWF-ALS) Systeme (Abb. 100). Ein Laserpuls kann je nach Bodenbeschaffenheit in zahlreichen Echos mit unterschiedlicher Intensität und Echobreite resultieren. Die einzelnen Echos können sich dabei zum Teil überlagern. Somit besteht das zurückkehrende Signal eines einzelnen Pulses aus zahlreichen sich überlagernden Wellen, wobei die einzelnen Wellenberge die individuellen reflektierenden Objekte repräsentieren.

Aus diesem zurückkehrenden Signal registrieren konventionelle Systeme normalerweise bis zu vier diskrete Echos im Fall von mehrfachen Reflexionen (z. B. Baumkrone, zweite Vegetationsebene, Oberfläche) eines einzelnen Laserpulses. Die Messung der Echos erfolgt mit analogen Detektoren in Echtzeit während der Befliegung. Um zwei aufeinanderfolgende Echos von unterschiedlichen Oberflächen trennen zu können, muss eine Minimalentfernung eingehalten sein, damit sie eindeutig erfasst werden können. Diese beträgt in der Regel $1,5\text{ m}$, was bedeutet, dass bei einer Vegetationsdecke, die niedriger als $1,5\text{ m}$ ist, die Entfernung zum Boden selbst nur noch in Einzelfällen genau bestimmt werden kann (KRAUS 2004, 451). Die Minimalentfernung zweier aufeinanderfolgender Echos definiert das vertikale Trennvermögen eines Scanners und hat Auswirkungen auf die Präzision des Geländemodells. Das vertikale Auflösungsvermögen darf aber nicht mit der absoluten bzw. relativen Genauigkeit der Punktkoordinaten aus den detektierten Echos verwechselt werden.

Bei konventionellen Scannern geht durch das analoge Erkennen (von z. B. nur maximal vier Echos) Information verloren. Als Ergebnis einer konventionellen ALS Befliegung erhält man „nur“ die bereits oben dargestellte Punktwolke der Erdoberfläche und aller auf ihr befindlichen Objekte. Diese wird in einer Datei aufgezeichnet, welche die dreidimensionalen Koordinaten der einzelnen Punkte, eine Klassifizierung in erstes oder letztes Echo und oft auch einen Intensitätswert, der die unkalibrierte Information zur Qualität der Reflexionsstärke repräsentiert, enthält.

FWF-ALS Systeme sind die neueste Generation von zivilen verfügbaren ALS-Systemen. Sie können die gesamte Wellenform der zurückkommenden Echos eines Laserstrahls in Intervallen von typischerweise einer Nanosekunde digital aufzeichnen. Die digitalisierte Wellenform

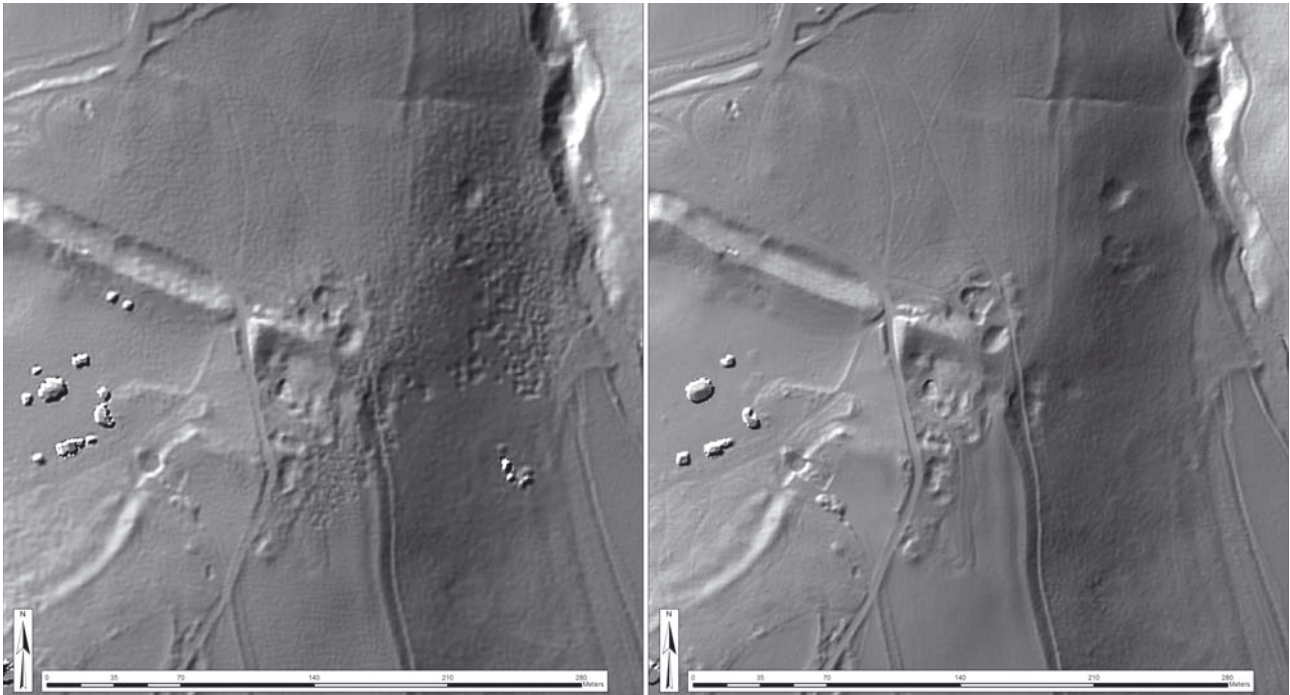


Abb. 101: Schwarzenbach, NÖ. Eine ungenügende Anpassung der Daten zweier sich überlappender Streifen kann zu erheblichem „Rauschen“ im abgeleiteten DGM führen (links). Durch Streifenanpassung konnte dieses minimiert werden (rechts) (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

erlaubt es, die einzelnen Echos im Rahmen einer Nachprozessierung zu bestimmen. Dabei wird die Wellenform zu meist in einzelne gaußsche Verteilungskurven zerlegt. Bei diesem Prozess werden neben der Entfernung des einzelnen Echos auch seine Intensität und die Echobreite als weitere physikalische Beobachtungen der reflektierenden Oberflächenelemente gewonnen (HOFTON et al. 2000; WAGNER et al. 2006). Während die Intensität – wie beim konventionellen Scanner – die Qualität der Reflexion anzeigt, lässt die Echobreite Aussagen über die vertikale Ausdehnung des reflektierenden Objektes zu. Ein ebenes, auf den Laserstrahl senkrecht ausgerichtetes Objekt erzeugt ein Echo mit sehr geringer Echobreite. Echos von räumlich strukturierten Objekten, etwa dichter bodennaher Vegetation oder z. B. von Reisighaufen, haben eine größere Echobreite. Intensität und vor allem Echobreite lassen somit Aussagen zur Strukturierung des Bodens zu, die für die nachfolgende Objektklassifikation nützlich sind.

10.5.2 Praktische Durchführung eines flugzeuggetragenen Laserscans

In der Regel werden ALS-Befliegungen von spezialisierten Firmen durchgeführt. In unseren eigenen Projekten wurde dies durch die Firma Milan Flug GmbH (www.milan-flug.de <22. Juni 2012>) realisiert. Der dafür günstigste Zeitpunkt ist die vegetationslose Periode, damit die

Laserstrahlen nicht durch das Blätterdach von Laubbäumen abgeschirmt werden. Zudem sollte kein Schnee liegen, da dieser – sofern er nicht aufgrund großer Kälte trocken ist – die Laserstrahlen absorbiert. Außerdem tendiert er dazu, die archäologisch interessanten mikrotopografischen Vertiefungen aufzufüllen und somit zu maskieren. Das Gebiet sollte zum Zeitpunkt des Scans also völlig schneefrei, zugleich aber noch unbelaubt sein, was in der Regel nur verhältnismäßig kurze Zeitfenster ergibt.

Die Datenerfassung erfolgte mit einem RIEGL Airborne Laser Scanner LMS-Q560 (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, technische Daten unter www.riegl.com <22. Juni 2012>) aus einer Höhe von etwa 600 m über Grund. Das Gebiet wurde in etwa 400 m breiten Streifen abgeflogen (Öffnungswinkel des Scanners war $\pm 22,5^\circ$). Die Distanz zwischen den einzelnen Flugstreifen betrug 200 m, was eine Überlappung von 50 % zur Folge hatte. Diese große Überlappung ist vor allem bei Befliegungen im Waldgebiet notwendig, um eine entsprechende Punktdichte zu erhalten, da durch die Filterung verhältnismäßig viele Punkte verloren gehen. Die Pulsfrequenz betrug 66 kHz, was eine mittlere Punktdichte von 8 Messungen pro Quadratmeter ergab. Nach Klassifizierung und Filterung blieben davon im Schnitt 2,7 Punkte pro Quadratmeter übrig, was für ein abgeleitetes DGM mit 0,5 m Rasterweite ausreichte. Die Georeferenzierung erfolgt zumeist durch das

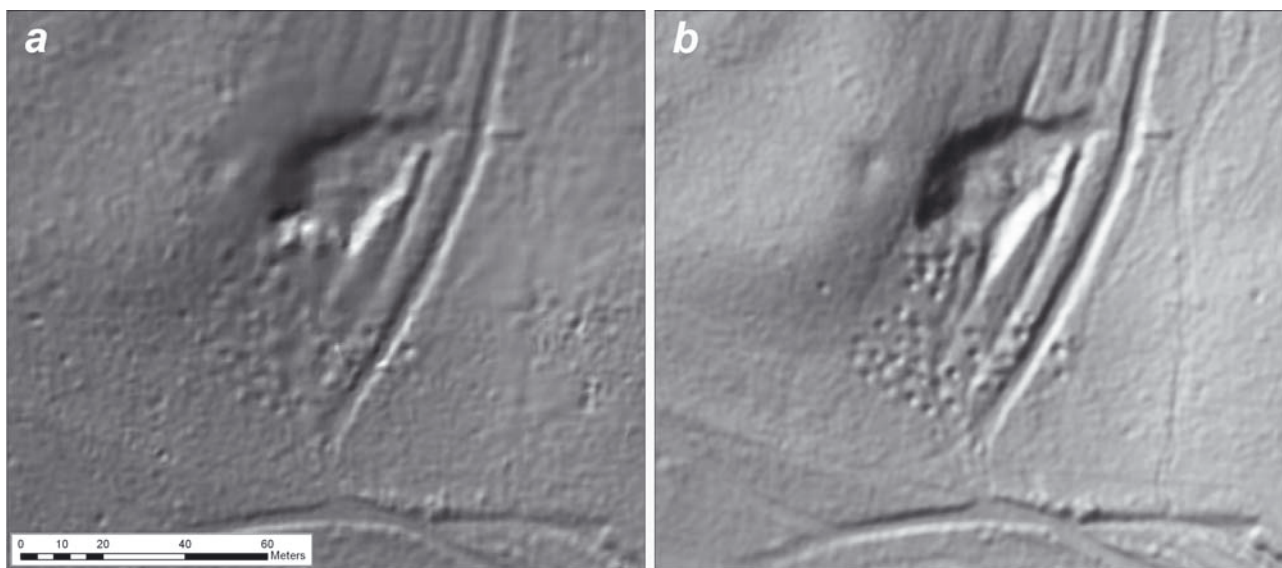


Abb. 102: Vergleich zweier Befliegungen. Links: Discrete-Echo-Scanner (Daten © Land Niederösterreich), rechts: Full-Waveform-Scanner (Daten: © Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

befliegende Unternehmen, wobei meist eine höhenmäßige Anpassung der einzelnen Flugstreifen durchgeführt wird. Diese ist bei starker Streifenüberlappung jedoch nicht die beste Lösung, da die einzelnen Streifen aufgrund von Ungenauigkeiten der dGPS- und IMU-Messung Verkipnungen aufweisen können. Diese führen zu kleineren Lage- und Höhenfehlern, was dazu führt, dass ein in zwei Streifen gemessenes punktförmiges Objekt zwei unterschiedliche Georeferenzierungen aufweist. Bleibt dieser Fehler unkorrigiert, so führt dies im abgeleiteten DGM zu einem Rauschen, welches subtile Geländeinformationen verbergen kann (Abb. 101).

10.5.3 Ableitung von Geländemodellen

Sobald die georeferenzierten Daten vorliegen, gelingt es mit Hilfe von Filter- bzw. Klassifizierungsmethoden, in weitgehend automatisierten Prozessen Nicht-Bodenpunkte (Punkte auf Gebäuden, in der Vegetation, etc.) als solche zu klassifizieren und aus den verbleibenden Bodenpunkten DGMe abzuleiten. Für qualitativ hochwertige DGMe – eine Voraussetzung für die archäologische Interpretation – bedarf es einer ausgefeilten Klassifizierung.

Der erste Schritt der Klassifizierung ist die Eliminierung sämtlicher Punkte aus dem Datensatz, die nicht das Ergebnis eines letzten Echos sind und deshalb mit Sicherheit nicht vom Boden stammen. Es bleiben jene Punkte, deren Reflexion das jeweils letzte aufgezeichnete Echo eines Laserstrahls war. Diese müssen nicht unbedingt Bodenpunkte sein; sie können auch z. B. von Dächern, Autos, Baumstämmen, extrem dichter, niedriger Vegetation,

Holzstößen oder Reisighaufen stammen. Während dieser erste Schritt in der Klassifizierung von Boden und Nicht-Bodenpunkten in Bereichen hoher Vegetation bei konventionellen ALS Systemen zuverlässig möglich ist, stößt man bei niedriger Vegetation an die Grenze des Trennvermögens (Überlappung von Boden- und Vegetationsecho bedingt durch die Unterschreitung der Minimalentfernung zweier aufeinanderfolgender Echos) und der Klassifizierungszuverlässigkeit. Abb. 102 zeigt einen Vergleich zweier unterschiedlicher Befliegungen eines Gebietes mit einem Discrete-Echo- und einem Full-Waveform-Scanner mit vergleichbarer Punktdichte. Im Zentrum des Bildes befindet sich extrem dichte Vegetation, welche die Vertiefungen älterer und rezenter Dachsbaue verdeckt. In diesem Bereich konnte der Discrete-Echo-Scanner viele der letzten vom Boden kommenden Echos nicht mehr von denen der Vegetation unterscheiden. Das gefilterte Ergebnis zeigt deshalb weniger Details (Abb. 102 – links). Beim Full-Waveform-Scan konnten trotz der niedrigen, dichten, bodennahen Vegetation im Post-Processing mehr Bodenechos erkannt werden, was ein entsprechend detaillierteres Resultat erbrachte (Abb. 102 – rechts).

Hier zeigt sich der große Vorteil von FWF-ALS Systemen: Die oben beschriebene Zusatzinformation, die sich aus FWF-ALS Daten in der Nachbearbeitung gewinnen lässt, kann zu einer Verbesserung der DGM-Erstellung vor allem in Bereichen niedriger Vegetation genutzt werden. Durch Analyse der Echobreite lassen sich Laserpunkte in niedriger Vegetation nun zuverlässiger als Bodenpunkte klassifizieren. Durch Festlegung eines Schwellenwertes (in

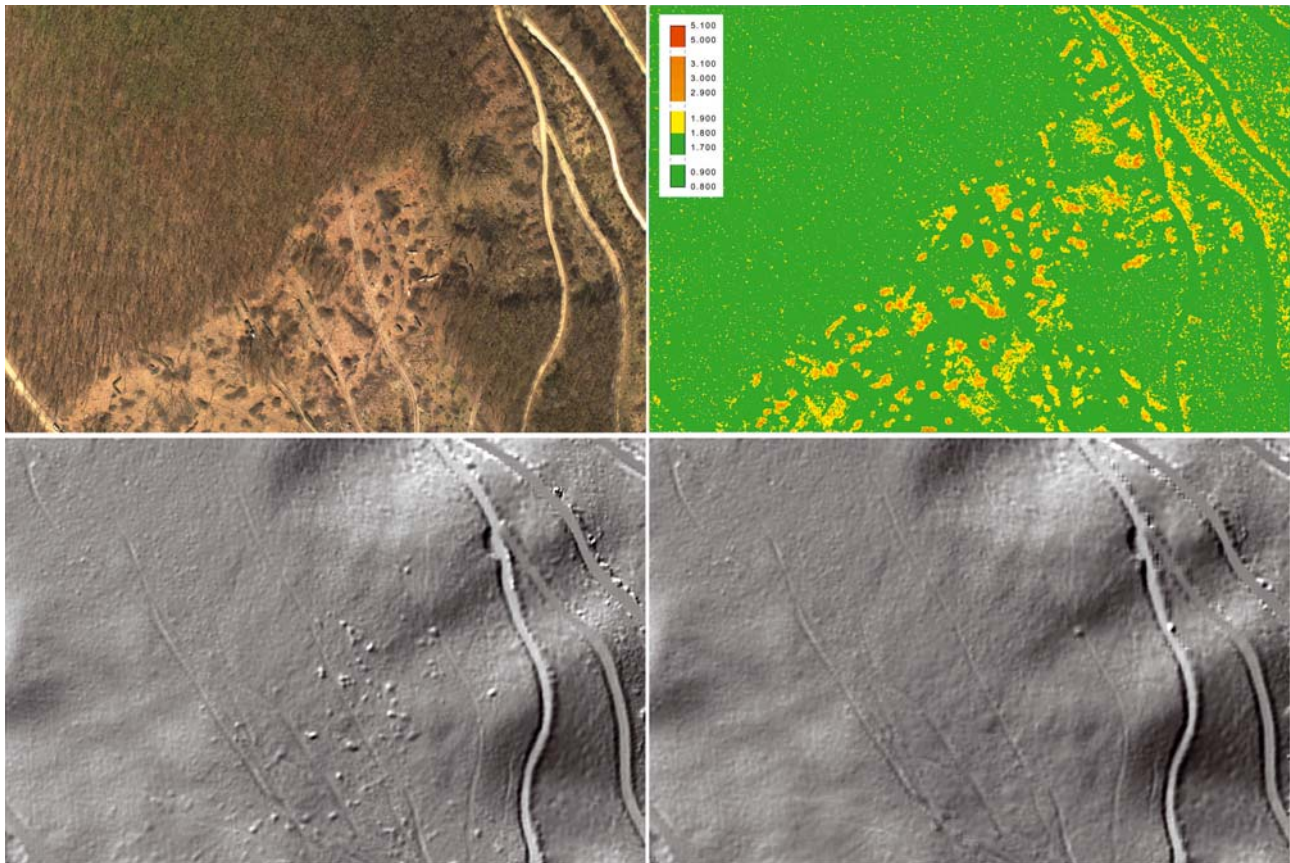


Abb. 103: Verbesserung eines DGM durch Nachbearbeitung von FWF-Daten. Links oben: Luftbild eines zum Teil gerodeten Waldstückes. Im unteren Bereich liegen zahlreiche Reisighaufen und Holzstöße. Links unten: DGM, welches ohne Nutzung der Echobreite-Information abgeleitet wurde. Die Reisighaufen sind als Erhebungen der Bodenoberfläche Teil des DGM. Rechts oben: Kartierung der Echobreiten der einzelnen letzten Echos. Hohe Echobreiten stammen vor allem aus den Bereichen der Reisighaufen. Rechts unten: bereinigtes DGM nach Entfernung der Punkte mit hoher Echobreite (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

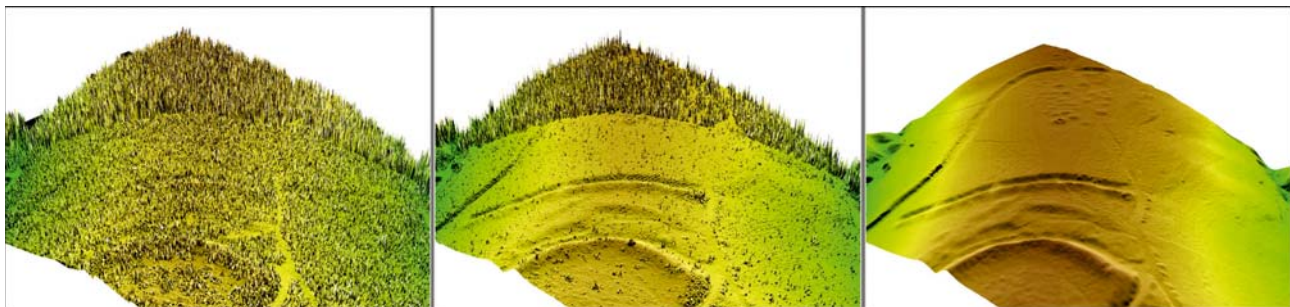


Abb. 104: Purbach, Bgld. Prozess der Filterung: Links: DSM aus allen Daten; Mitte: DGM aus den letzten Echos. Rechts: DGM aus den gefilterten Daten (© Michael Doneus; Datengrundlage: Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

Abhängigkeit von der Weite des ausgesandten Pulses) können sämtliche Punkte mit zu hohen Echobreiten aussortiert werden, da sie mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht direkt vom Boden stammen. Auf diese Weise können etwa vorhandene Reste von Grabhügeln von fälschlicherweise verbleibenden Vegetationspunkten (z. B. Reisighaufen, sofern diese verhältnismäßig locker geschichtet sind und sich nicht

über längere Zeiträume gesetzt haben) unterschieden werden, was besonders für die archäologische Interpretation wichtig erscheint (Abb. 103) (DONEUS, BRIESE 2006a).

Als Ergebnis sind nun die Punkte aus niedriger, dichter Vegetation oder ähnlichen Objekten eliminiert; es bleiben die Punkte übrig, die entweder vom Boden selbst, oder von massiven Objekten, wie Häusern, Autos oder Baumstämmen

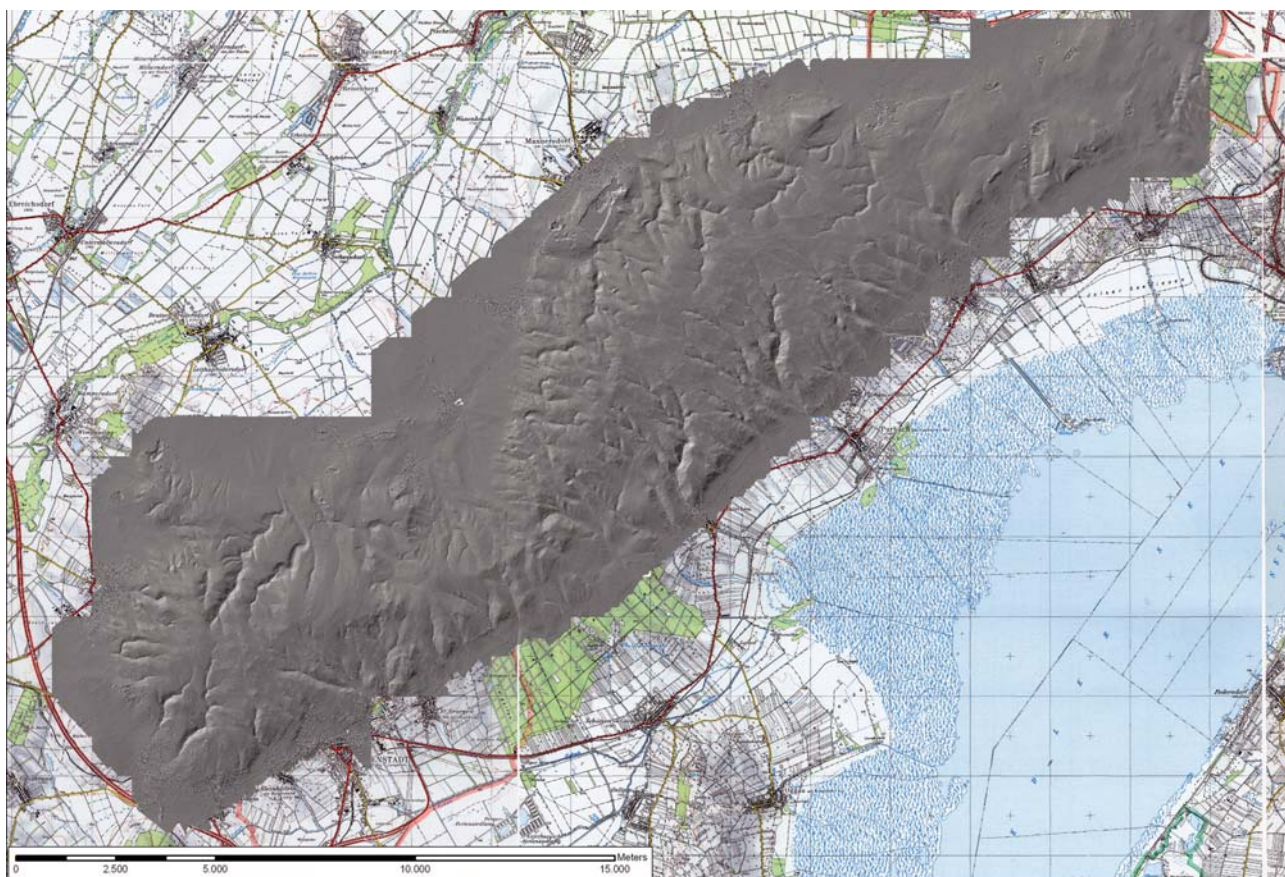


Abb. 105: Darstellung des etwa 190 km² großen, aus den ALS-Daten abgeleiteten, vom Wald bereinigten DGMs des Leithagebirges (Grafik: Michael Doneus; Hintergrund ÖK 1:50.000: © BEV 2013, Vervielfältigung mit Genehmigung des BEV – Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, T2013/95126).

reflektiert wurden. Um im DGM unerwünschte Nicht-Bodenpunkte zu entfernen, bedarf es einer möglichst automatischen Klassifizierungsmethode (in der Literatur auch Filtermethoden genannt). Es gibt zahlreiche für diesen Zweck entwickelte Filtermethoden (SITHOLE, VOSSELMAN 2003). In den bisherigen archäologischen Publikationen zu ALS blieben diese jedoch in der Regel unerwähnt, da die verwendeten Datensätze in den uns bekannten Beispielen bisher bereits gefiltert an die Archäologen weitergegeben worden waren.

In den bislang durchgeführten eigenen Projekten wurde für die Filterung die Theorie der robusten Interpolation mit einer exzentrischen und asymmetrischen Gewichts-Funktion (KRAUS, PFEIFER 1998) verwendet. Bei der robusten Interpolation, die auf Kriging basiert, werden in einem Prozess Nicht-Bodenpunkte eliminiert und ein Geländemodell interpoliert. Dabei wird in einem ersten Schritt eine Fläche bestimmt, welche vermittelnd durch alle verbleibenden Punkte aus letzten Echos verläuft. Anschließend wird in einem iterativen Verfahren der Einfluss (das Gewicht) der einzelnen Punkte schrittweise so verändert, sodass die endgültige Fläche durch die nun hoch gewichteten Bodenpunkte ver-

läuft. Im Rahmen dieses Prozesses der Gewichts-anpassung wird eine asymmetrische Gewichtsfunktion verwendet, die in Abhängigkeit der Höhendifferenz zur zuvor bestimmten Fläche ein hohes Gewicht jenen Punkten zuordnet, die auf bzw. unter der vermittelnden Fläche liegen. Im Gegensatz dazu wird Punkten, die signifikant über der Fläche liegen, im Rahmen des nächsten Iterationsschrittes ein niedriges Gewicht zugeordnet. So gelingt eine schrittweise Annäherung der interpolierten Fläche an die tatsächliche Geländeoberfläche. Sobald sich durch die Neugewichtung keine signifikante Änderung der Fläche ergibt, können dann über einen zu wählenden Schwellenwert diejenigen Punkte eliminiert werden, welche bezogen auf die berechnete Fläche zu hoch und daher mit großer Wahrscheinlichkeit keine Bodenpunkte sind (KRAUS 2004, 459 ff.; BRIESE et al. 2002).

Dieser Prozess der Filterung, um einen hierarchischen Ansatz erweitert (BRIESE et al. 2002), ist im Softwarepaket SCOP ++ (KRAUS, OTEPKA 2005) implementiert. Der gesamte Prozess der Filterung ist im EuroSDR Fernlehrgang „Filtering and Classification of Laser Scanner Data“ dargestellt und kann im Internet abgerufen werden (<http://www.>

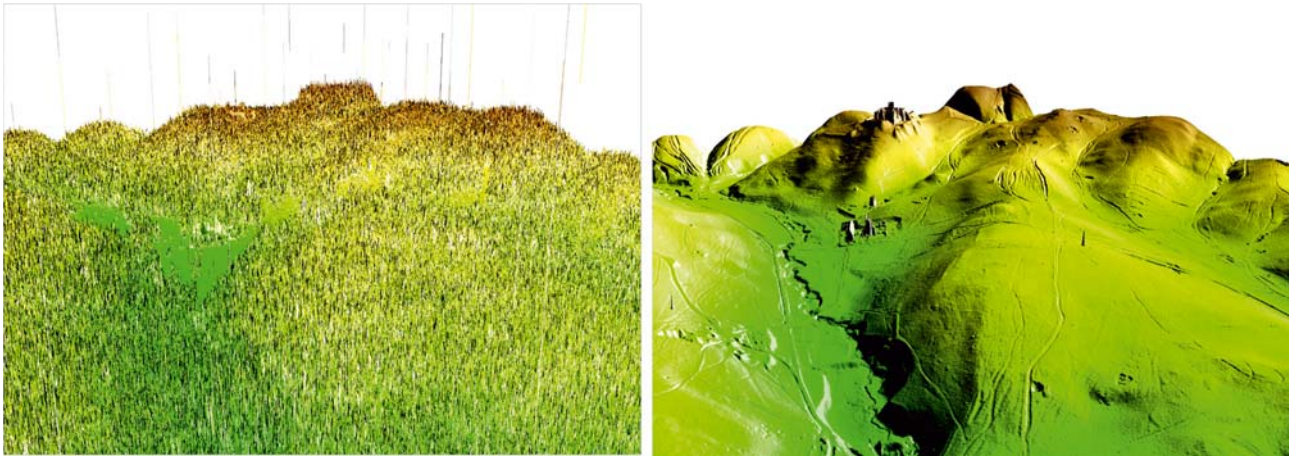


Abb. 106: Mannersdorf, NÖ. Perspektive Ansicht der aus den Daten abgeleiteten Höhenmodelle – Blick von Süden. Links: digitales Oberflächenmodell (DSM); rechts: digitales Geländemodell (DGM) nach Analyse der Echobreite und Filterung durch robuste Interpolation (© Michael Doneus; Datengrundlage: Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

ipf.tuwien.ac.at/eurosd/index.htm <22. Juni 2012>). Als Ergebnis erhält man ein von Vegetation bereinigtes digitales Geländemodell, welches in der Folge archäologisch interpretiert werden muss (Abb. 104).

Abschließend sei auf den wesentlichen Umstand verwiesen, dass jede Filterung einen bestimmten Zweck verfolgt. So ist es im Rahmen der landesweiten topografischen Erfassung wichtig, ein DGM abzuleiten, welches von Gebäuden und Mikrotopografie weitgehend bereinigt ist. Für archäologische Anwendungen sollen aber gerade diese Strukturen erhalten bleiben (streng genommen arbeitet man in der Archäologie daher nicht mit einem DGM sondern einer hybriden Geländeoberfläche, welche nur von der Vegetation bereinigt ist, andere Oberflächenobjekte (v.a. Gebäude und Mauern) jedoch beinhaltet). Durch gezielte Filterung lassen sich daher von ein und demselben Datensatz unterschiedliche Oberflächen ableiten (DONEUS, BRIESE 2011). Dazu gibt es ein breites Spektrum an Filtersoftware mit unterschiedlichsten Einstellungsmöglichkeiten. Bei Verwendung bereits gefilterter Geländemodelle ist es daher ratsam, anhand der (hoffentlich vorhandenen) Metadaten die Eignung der verwendeten Daten für den bezweckten Einsatz zu evaluieren.

10.5.4 Archäologische Anwendungen von ALS

ALS findet mittlerweile in vielen Bereichen Anwendung. Auch in der Archäologie kommt es in den letzten Jahren vermehrt zur Nutzung von ALS-Daten (zusammenfassend: CRUTCHLEY 2010, DONEUS, BRIESE 2011). Im Sinne einer Prospektionstechnik nimmt ALS eine Zwischenstellung zwischen der Luftbildarchäologie und einer topografischen Aufnahme von archäologischen Fundstellen ein.

Bei sämtlichen bisherigen archäologischen Anwendungen wurden Daten von konventionellen Scannern herangezogen. In England versucht man aufgrund der dortigen Verhältnisse (relativ viel unbewaldetes Weideland) vor allem die sich noch im Relief abzeichnenden archäologischen Strukturen in unbewaldeten Zonen mittels ALS zu untersuchen (BARNES 2003; BEWLEY 2003; CHALLIS 2006; HOLDEN 2001; HOLDEN et al. 2002; MOTKIN 2001; SHELL, ROUGHLEY 2004; BEWLEY et al. 2005; CRUTCHLEY 2006). In den ersten Jahren wurden Scannerdaten vor allem anhand bereits gut untersuchter Gebiete und bekannter Fundstellen (z. B. Hambledon Hill, Stonehenge, Avebury etc.) analysiert. Es zeigte sich dabei, dass ALS vor allem bei speziellen topografischen Situationen, an denen die Luftbildarchäologie nur beschränkt Erfolg hatte, sinnvoll eingesetzt werden kann. Es wurde dabei auch auf die Möglichkeiten von ALS bei der Überwachung archäologischer Landschaften hingewiesen (BEWLEY 2003). Bis 2005 war ALS im Wald nur in wenigen Fällen archäologisch erfolgreich getestet worden. Durch die in einzelnen Ländern großflächige Verfügbarkeit von landesweiten Daten steigt die Zahl der archäologischen Anwendungen jedoch rapide an (SITTLER 2004; SITTLER et al. 2005; SITTLER, SCHELLBERG 2006; DEVEREUX et al. 2005; RISBØL et al. 2006; HARMON et al. 2006; DONEUS, BRIESE 2006b; CIFANI et al. 2007; GALLAGHER, JOSEPHS 2008; HESSE 2010; SCHMIDT et al. 2005; CRUTCHLEY 2010; RISBØL 2009).

Bei dem vom Autor selbst durchgeführten, im April 2006 begonnenen Projekt „LiDAR-gestützte Prospektion in Waldgebieten“ sollte das Potenzial von ALS für die archäologische Prospektion im geschlossenen Waldgebiet erkundet werden. Zu diesem Zweck wurde ein etwa 190 km² großer Bereich des Leithagebirges in Ostösterreich in einer Fallstudie eigens gescannt und archäologisch ausgewertet

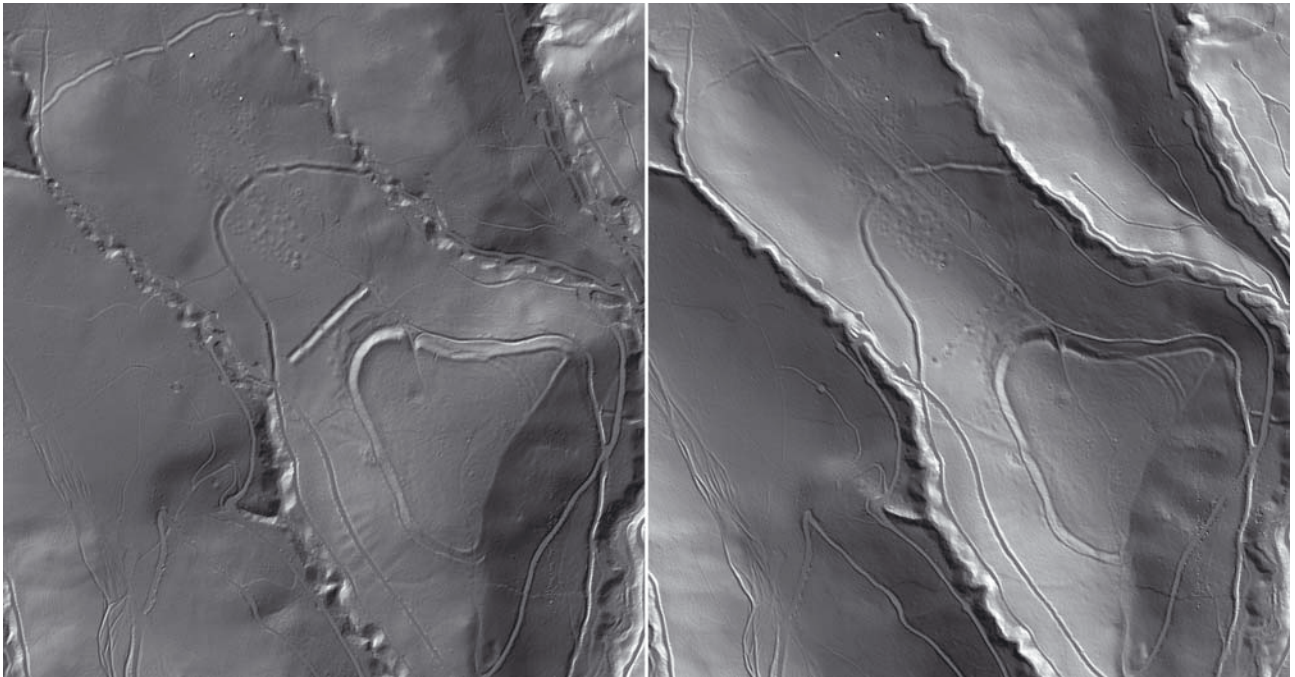


Abb. 107: Purbach, Bgld. Darstellung des DGM als schattiertes Bild mit der Beleuchtungsrichtung von Nordwest (links) und Südwest (rechts). Besonders lineare Strukturen können bei parallel einfallender Beleuchtung fast zur Gänze unsichtbar werden (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

(Abb. 105). Das Gebiet ist fast ausschließlich mit Eichen-Buchen Mischwald bewachsen, der sich – wenn er in der vegetationslosen Periode gescannt wurde – gut herausfiltern lässt. In während der Pilotphase durchgeführten Tests wurden zwei, jeweils etwa 4 km² große, bewaldete Bereiche über bereits bekannten archäologischen Fundstellen gescannt. Ein Gebiet deckt die eisenzeitliche Höhensiedlung von Purbach mit zahlreichen Gräben, Wällen und einem Hügelgräberfeld ab (DONEUS et al. 2008a). Das zweite Gebiet beinhaltet neben einer prähistorischen Höhensiedlung noch eine mittelalterliche Burgruine sowie eine barocke Klosteranlage (DONEUS et al. 2008b).

Beide Tests erwiesen sich als äußerst erfolgreich. Um die Wirkung der Klassifizierung und Filterung, der ALS Daten zu veranschaulichen, sind auf Abb. 106 das digitale Oberflächenmodell (erster Puls, also mit Bewuchs) und das abgeleitete digitale Geländemodell (ohne Bewuchs) gegenübergestellt. Der Vergleich könnte wohl kaum drastischer ausfallen. Während es im linken Bild von Abb. 106 aufgrund des dichten Waldes im Oberflächenmodell sogar schwerfällt, das Kloster und die Ruine zu erkennen, zeigt sich im abgeleiteten Geländemodell die hohe Qualität der ALS Daten. Neben den offensichtlichen Bodendenkmälern wie Kloster und Ruine sind nun selbst schwach ausgeprägte Strukturen deutlich zu erkennen. Der Bachverlauf, mehrere Bündel von Hohlwegen oder das Gebiet des ehemaligen Meierhofes fallen dabei sofort ins Auge. Auch im anderen

Beispiel auf Abb. 104 zeigt sich erst in den gefilterten Daten das bereits bekannte Hügelgräberfeld überaus deutlich. Manche der Beraubungstrichter sind nur etwa 7 cm tief und können dennoch deutlich im abgeleiteten Geländemodell dargestellt werden. Weitere Details zu den Ergebnissen finden sich in den entsprechenden Publikationen (DONEUS et al. 2008a; DONEUS et al. 2008b).

10.5.5 Darstellung und Interpretation von ALS-Daten

Die hoch auflösenden Modelle eines ALS-Scans bieten zahlreiche Möglichkeiten für deren Interpretation (zuletzt: KOKALJ et al. 2011). So lässt sich die Schattenrichtung leicht beeinflussen und sekundäre Modelle, wie Hangneigung, Hangausrichtung, und Krümmung ableiten.

Üblicherweise wird das resultierende DGM in Form eines schattierten Bildes mit oder ohne farbliche Höhen-codierung dargestellt. Dies hat den Vorteil einer verhältnismäßig einfachen Lesbarkeit. Die Lichtquelle wird dabei zumeist von rechts oben (von Nordwesten) leuchtend positioniert. Dies ermöglicht es unserem visuellen System, Hügel als solche wahrzunehmen. Wird die Berechnung der Schatten des DGM mit einer aus einer anderen Position leuchtenden Lichtquelle berechnet, so ist die räumliche Wahrnehmung schwierig, sofern nicht Objekte vorhanden sind, welche aufgrund ihrer „Bekanntheit“ eine bestimmte Sichtweise erzwingen (z. B. Häuser). Im Extremfall kann es

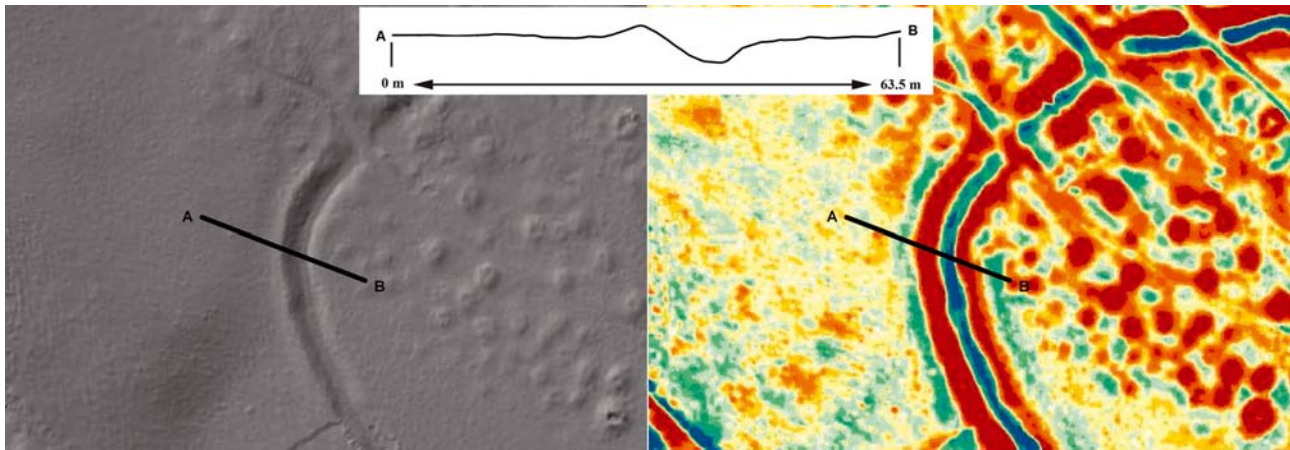


Abb. 108: Lokales Relief: Schattiertes DGM (links) und farbcodierte Darstellung (rechts) (Grafik: Michael Doneus; Datengrundlage: Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

zur sogenannten Inversion kommen, wobei Hügel als Täler wahrgenommen werden.

Zudem werden in einer schattierten Ansicht lineare Objekte, welche parallel zur Einfallrichtung der Lichtstrahlen liegen, nicht abgebildet, da sie keinen Schatten werfen (Abb. 107). Dadurch ist die Darstellung von ALS-Daten als einzelnes DGM mit standardmäßiger Schattierung nicht ausreichend für eine umfassende Interpretation. Die eigene Erfahrung hat gezeigt, dass in den meisten Fällen zwei Bilder mit Lichtquellen im Nordwesten und Südwesten (also um 90° gedrehte Schattenwirkung) ausreichen, um einen Großteil der topografischen Unebenheiten zu erkennen. Bernard Devereux et al. argumentieren, dass bis zu 16 Bilder mit jeweils um 22,5° verschobenen Lichtquellen notwendig sind, um sämtliche Merkmale mit Sicherheit entdecken zu können

(DEVEREUX et al. 2008, 471). Da dies in der Praxis jedoch mit einem großen Zeitaufwand verbunden ist, schlagen sie vor, mittels einer Hauptkomponenten-Transformation diese 16 Bilder zu reduzieren. Sie konnten dabei feststellen, dass die ersten drei Faktoren etwa 99 % der Variationen in den 16 Bildern erklären. Die drei daraus erzeugten Komponenten-Bilder lassen sich als einzelne Farbkanäle zu einem einzigen rgb-Bild zusammenfügen, welches nun 99% der Schatteninformation beinhaltet (DEVEREUX et al. 2008, 474 ff.).

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die subtilen Höhenunterschiede anhand von Farbcodierungen darzustellen. Diese sind von einer Schattenrichtung unabhängig, wodurch keine Information aufgrund einer ungünstigen Orientierung eines Objektes verloren gehen kann. Die Topografie des Gebietes weist in fast allen Fällen um ein Viel-

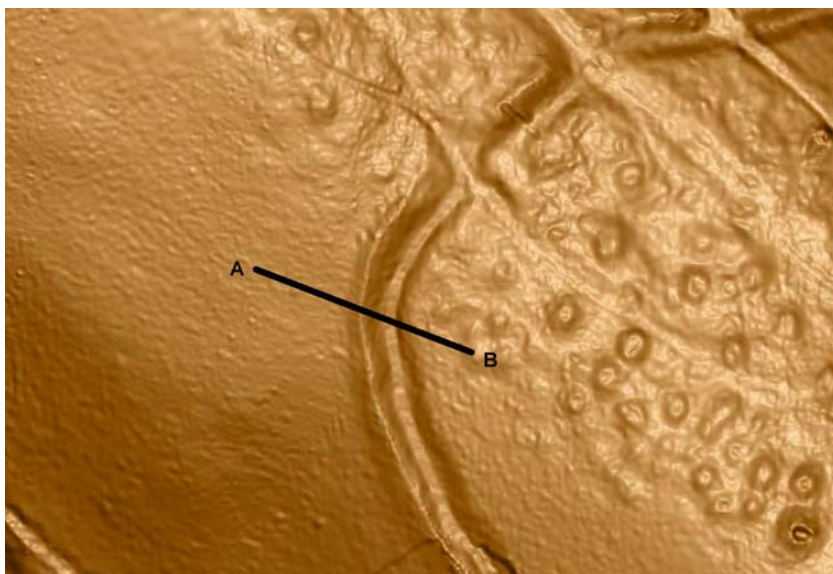


Abb. 109: Hangneigungskarte der Situation von Abb. 108 (Grafik: Michael Doneus; Datengrundlage: Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

faches größere Höhenunterschiede auf, als die archäologisch interessanten mikrotopografischen Strukturen. Dadurch werden diese in der Farbcodierung nicht angezeigt. Dieses Problem kann man umgehen, indem man ein generalisiertes, von mikrotopografischen Unebenheiten bereinigtes DGM erzeugt (etwa durch einen Tiefpassfilter (low pass filter) mit einer der topografischen Variabilität angepassten Kernelgröße), und dieses vom aus den ALS-Daten abgeleiteten DGM subtrahiert. Als Ergebnis erhält man ein Höhenmodell, welches nur noch kleine topografische Variationen zeigt und diese in einer Höhengencodierung deutlich anzeigt.

Abb. 108 zeigt einen Ausschnitt der Höhensiedlung von Purbach



Abb. 110: Kombination aus Hangneigung, Schattierung und Höhendecodierung (Grafik: Michael Doneus; Datengrundlage: Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien).

mit einem Wall, begleitendem Graben sowie zahlreichen, eisenzeitlichen Grabhügeln. Für das generalisierte DGM wurde das aus den ALS-Daten abgeleitete DGM auf eine Auflösung von fünf Metern vergrößert. In dem nach der Subtraktion farbcodierten Bild stellen rot gefärbte Bereiche erhabene Objekte dar, während die Farbe Blau vertiefte Bereiche anzeigt. Vor allem bei den Grabhügeln zeigt sich, dass die einzelnen Hügelumrisse nun deutlich zu erkennen sind und leicht umgezeichnet werden können. Während diese Methode sich ausgezeichnet für die Visualisierung kleiner und sehr flacher Strukturen eignet, erweist sie sich bei großen und steilen Reliefunterschieden als schwieriger. Strukturen, wie ein massiver Wall und Graben zeigen sich noch immer im generalisierten DGM – allerdings flacher und breiter. Dies führt bei der Subtraktion dazu, dass ein schmaler Bereich am inneren Grabenrand fälschlicherweise als Rot farbcodiert wird und somit einen Wall suggeriert (Abb. 108 rechts). Um solche Fehler zu vermeiden, muss bei der Generalisierung dafür Sorge getragen werden, dass kein Punkt aus Bereichen einer großen archäologischen Struktur für die Herstellung des generalisierten DGMs verwendet wird. Ralf Hesse stellte jüngst eine Datenprozessierung vor, die solche Fehler (je nach verwendeter Kernelgröße) reduzieren kann (HESSE 2010).

Eine zusätzliche Möglichkeit ergibt sich aus der Berechnung von Hangneigungskarten. Diese zeigen alle topografischen Unebenheiten aufgrund ihrer veränderten Hangneigung deutlich an. In Abb. 109 ist die Situation aus Abb. 108 als Hangneigungskarte dargestellt. Auch hier lassen sich Grabhügel, Wall und Graben sehr deutlich erkennen und

gut interpretieren. Das Hauptproblem bei dieser Art der Darstellung ist, dass die Richtung der Hangneigung nicht angezeigt wird und es daher ohne Zusatzinformation unmöglich ist, zu unterscheiden, welche der beiden linearen Strukturen in Abb. 109 den Wall und welche den Graben darstellt.

Als gut lesbare, rasche und einfach zu realisierende Alternative hat sich die Kombination aus Hangneigung und Schattierung herausgestellt. Sie zeigt lineare Strukturen unabhängig von ihrer Ausrichtung und ist zugleich gut lesbar. Durch Kombination mit einer Farbcodierung der Höhen lässt sich somit eine ausgezeichnete Interpretationsgrundlage visualisieren (Abb. 110). Prinzipiell wäre es

auch möglich, mit dynamischen Lichtquellen zu interpretieren, d. h. während der Bildbetrachtung in Echtzeit die Lichtquelle zu verschieben, um die zu interpretierende Szene von allen Richtungen zu schattieren. Großes Potenzial liegt auch in der stereoskopischen Interpretation, bei welcher das DGM über Anaglyphen oder besser noch Shutterbrillen den Augen stereoskopisch vermittelt wird und Höhenunterschiede dabei noch deutlicher wahrnehmbar werden. Zudem gibt es auch Versuche zu einer automatisierten Kantenextraktion, bei welcher aufgrund einer automatisierten Erkennung von Unterschieden in der Hangneigung die Kanten entlang von Wällen, Terrassen und Hügeln kartiert werden können (BRIESE 2004) sowie der automatisierten Erkennung einfacherer Strukturen, wie z. B. Grabhügel (de BOER 2005; de BOER et al. 2008).

Aus der bisherigen Erfahrung kann man sagen, dass ein ALS-DGM gegenüber der herkömmlichen topografischen Begehung/Vermessung eine deutlich gesteigerte Erkennungsrate archäologischer Strukturen zulässt. Ein Vergleich mit einer in den 1960er Jahren von einem Team aus professionellen Vermessern und Archäologen hergestellten topografischen Kartierung (ULBRICH 1962) der archäologischen Überreste der eisenzeitlichen Höhensiedlung von Purbach erbrachte eine sehr gute geometrische Übereinstimmung zwischen den beiden Aufnahmen (DONEUS et al. 2008a, 888 ff.). Wichtig erschien jedoch, dass in dem aus den ALS-Daten abgeleiteten Geländemodell mehr archäologische Details erkannt werden konnten, als dies vor Ort möglich war. So konnten allein im Hügelgräberfeld beinahe doppelt so viele Grabhügel im DGM erkannt werden.

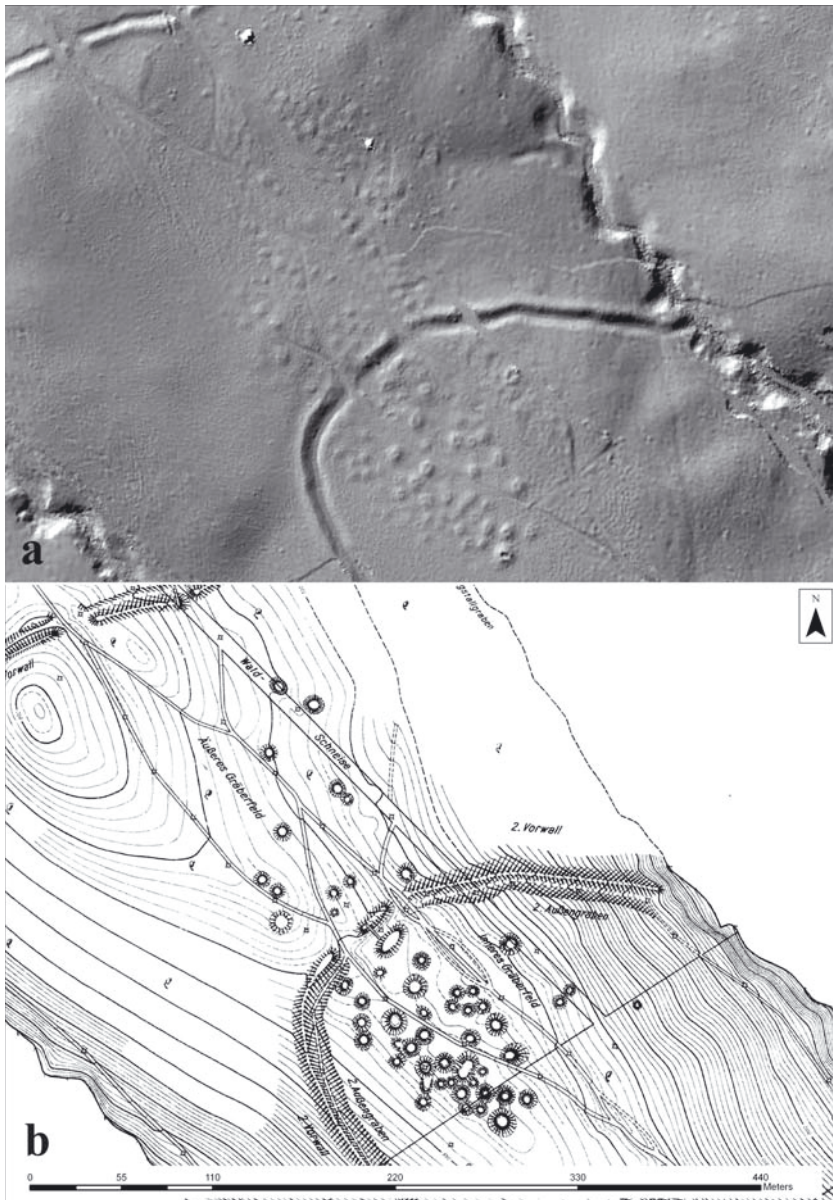


Abb. 111: Purbach, Bgld. Vergleich zwischen (a) ALS-DGM (© Luftbildarchiv, Inst. f. Ur- und Frühgeschichte, Wien) und Vermessung vor Ort (aus ULBRICH 1962, © BEV 2007).

Viele dieser Hügel erheben sich nur wenige Zentimeter über das Gelände und sind deshalb vor Ort kaum wahrnehmbar. Im DGM kann man diese aber aufgrund der Möglichkeit, verbesserte Schattenwirkungen durch Verändern der Lichtquelle zu erzielen, zum Teil deutlich visualisieren (Abb. 111).

10.5.6 Vergleich mit anderen Prospektionsmethoden

Im Sinne einer Prospektionstechnik nimmt ALS eine Zwischenstellung zwischen der Luftbildarchäologie und einer topografischen Aufnahme von archäologischen Fundstellen ein. Mit der Luftbildarchäologie hat es gemeinsam,

dass es eine flugzeuggetragene Methode ist, welche im Geländere relief erhaltene Fundstellen ähnlich wie auf Senkrechtaufnahmen zeigt, in welcher Fundstellen aus sogenannten Schatten-, Flut- oder Schneemerkmalen identifiziert werden können. Sowohl das Luftbild als auch das abgeleitete DGM von einem Laserscan bedürfen einer Interpretation, um potenzielle archäologische Fundstellen und Strukturen zu entdecken. Der Hauptunterschied liegt in der Tatsache, dass die Herstellung von Luftbildern eine passive Fernerkundungsmethode ist, welche die reflektierte Strahlung im Bereich der Wellenlängen des sichtbaren Lichts und des nahen Infrarots aufnimmt. Der Wert eines Pixels im Foto ist somit Ergebnis einer Mischung der gesamten Strahlung innerhalb eines bestimmten Gebietes, für die der entsprechende Sensor sensibilisiert war. Im Gegensatz dazu ist ALS eine aktive Methode, welche ein dichtes Netzwerk von 3D-Punkten der Oberfläche der Erde misst. Ein Laserpuls kann in Vegetation bis zu einem gewissen Grad eindringen und bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Objekte innerhalb des „Footprints“ zu unterscheiden.

Während archäologischer Befliegungen können nur wenige Parameter, wie z. B. Datum und Zeit des Flugs, Flughöhe, Blickrichtung sowie die Art des Sensors beeinflusst werden, um die

Erkennung von Fundstellen zu verbessern. Sobald ein Luftbild gemacht wird, gibt es nur eine beschränkte Anzahl von Möglichkeiten, es für die Interpretation zu verbessern. Die hoch auflösenden Modelle eines ALS-Scans haben eine Reihe von Möglichkeiten für die Verbesserung der Interpretation. Es ist zum Beispiel möglich, Faktoren der Schatteneigenschaft zu beeinflussen (Höhe des Reliefs, Richtung der Schattierung in Bezug auf lineare Strukturen, Position der Sonne), die wir im wirklichen Leben nicht beeinflussen können, oder sekundäre Modelle wie Hangneigung, Aspekt, und Krümmung abzuleiten.

Vor allem dort, wo Wald oder andere dichte Vegetation diese flachen Denkmäler verbirgt, ist auch das Luftbild meist chancenlos. Hier hat sich das flugzeuggetragene Laser-Scanning als die bessere (wenn auch teurere) Methode erwiesen. Alle noch im Geländere relief erhaltenen Bodendenkmäler können mittels dieser Methode präzise und genau großflächig kartiert werden, sodass sie in vielen Fällen die sinnvollere Alternative zur Auffindung und Dokumentati on erscheint.

Mit der topografischen Vermessung hat ALS gemeinsam, dass beide Methoden geodätische Messungen vornehmen und beide Methoden auf eine Interpretationskarte hinauslaufen sollten. Der wichtige Unterschied liegt in der Tatsache, dass der archäologische Landvermesser im wahrsten Sinne des Wortes mit einer bereits bekannten Fundstelle in Berührung steht und aus Zeitgründen gewöhnlich nur das aufnimmt, was auf der Fundstelle als archäologisch relevant interpretiert wird. Während eines ALS-Scans wird das gesamte Interessengebiet mit derselben Dichte (in unserem Fall 3 bis 8 Punkte pro m²) dokumentiert, egal ob es im Relief erhaltene archäologische Strukturen enthält oder nicht.

Bei der terrestrischen Vermessung findet also bereits während der Aufnahme eine Interpretation statt. Die Interpretation eines ALS-Scans wird zu einem späteren Zeitpunkt, meist weit ab von der Fundstelle, durchgeführt. Die Aufnahme vor Ort ist von Vorteil, und es wird wohl kein schwerwiegendes Problem für einen fachkundigen Vermesser sein, einen Reisighaufen von einem Grabhügel zu unterscheiden. Dieselbe Unterscheidung kann bei der Arbeit mit ALS-Daten ein sehr schwieriges Unterfangen sein. Andererseits wird das, was der Vermesser während der Aufnahme vor Ort nicht erkennt (z. B. wegen der schwachen Relieferung oder des dichten Bewuchses), im endgültigen Plan nicht aufscheinen und somit für die wissenschaftliche Forschung verloren gehen.

In einer ALS-Punktwolke werden sämtliche Geländeerhebungen innerhalb des Auflösungsvermögens des Instrumentes, und der vorgegebenen Punktdichte dokumentiert, ob sie während des Interpretationsprozesses beobachtet wurden oder nicht. Jeder, der später die Daten erneut interpretiert, wird das Terrain in demselben Zustand sehen, egal ob dies am Tag danach oder Jahre später geschieht. Dadurch können die Daten immer wieder interpretiert werden, wobei Erfahrung oder veränderte Fragestellungen zu einer neuen Sichtweise und in der Folge zu neuen Erkenntnissen führen können. Dennoch muss betont werden, dass im Zuge der Interpretation von ALS-Daten eine Begehung vor Ort unumgänglich ist.

Bei der terrestrischen Aufnahme ist eine Re-Interpretation (d. h. die erneute Vermessung) theoretisch ebenfalls

möglich, wenn es auch sicherlich nicht allgemeine Praxis ist. Kritisch erscheint in diesem Zusammenhang, dass öfter als uns lieb ist, Fundstellen gar nicht erneut vermessen werden können, weil sie in der Zwischenzeit erodiert, beschädigt oder zur Gänze zerstört wurden. In diesen Fällen ist das Wissen um zuvor nicht aufgenommene Strukturen auf immer verloren.

10.5.7 Methodische Probleme von ALS

Die Eignung von ALS als Prospektionsmethode in Waldgebieten konnte bereits unter Beweis gestellt werden. Nur wenige Stunden der Datenerfassung ergeben ein hochauflösendes, qualitativ hochwertiges DGM. Durch seine Eignung, Wald zu durchdringen, hat diese Methode wohl große Bedeutung bei der archäologischen Prospektion bewaldeter Gebiete erlangt. Dennoch ist eine gewisse Zurückhaltung geboten: es gibt einige Faktoren, welche die Ergebnisse relativieren und vor einem Einsatz von ALS bedacht werden sollten.

Die wohl wichtigste Einschränkung ist, dass sich mit dieser Methode nur im Geländere relief erhaltene Bodendenkmäler entdecken und dokumentieren lassen. Was sich nicht mehr im Geländere relief abzeichnet, kann auch durch ALS nicht dargestellt werden. Somit ist das Repertoire an Fundstellenkategorien begrenzt und keinesfalls repräsentativ für den Gesamtbestand der im Waldgebiet möglichen Bodendenkmäler.

Das aus den ALS-Daten abgeleitete DGM muss für eine archäologische Interpretation, bei der auch feine mikrotopografische Strukturen wichtig sind, eine entsprechend hohe Qualität aufweisen. Für diese sind vor allem Punktdichte, Klassifikation in Boden- und Nicht-Bodenpunkte, Art des Baumbestandes sowie der Zeitpunkt der Datenerfassung relevant. Zudem benötigt man für die Erfassung subtiler Geländeunebenheiten auch eine entsprechend hohe Punktdichte. Es ist zwar anzunehmen, dass in Zukunft auch bei landesweiten Aufnahmen mit ähnlich hohen Punktdichten zu rechnen ist. Im Moment sind solche Aufnahmen jedoch rar und meist nur mit weitaus geringerer Auflösung (meist 1 Punkt pro Quadratmeter) zu bekommen. Dass auch geringere Punktdichten für zahlreiche Bodendenkmäler ausreichen könnten, zeigen die bereits publizierten archäologischen Anwendungen (SITTLER 2004; SITTLER, SCHELLBERG 2006; HARMON et al. 2006). Es gibt hierzu jedoch noch keine systematischen Untersuchungen.

Für eine adäquate Klassifikation bedarf es vor allem geeigneter Verfahren der Filterung. Die in den eigenen Projekten bislang verwendeten FWF-ALS Sensoren tragen zusätzlich zu einer verbesserten Erkennung von Nicht-Bodenpunkten

bei, was sich auf die Qualität des DGM auswirkt (DONEUS, BRIESE 2006a).

Aufgrund noch fehlender systematischer Untersuchungen kann momentan vor allem konstatiert werden, dass ALS im Laubwald bzw. Mischwald vor allem in der bewuchsfreien Zeit gute Ergebnisse erzielt werden können. Jedenfalls sollte zum Zeitpunkt des Scans kein Schnee liegen, da dieser – wenn er nass ist – keine guten Reflexionen zulässt. Dies reduziert vor allem in schneereichen Gebieten das Zeitfenster auf ein Minimum. Oktober oder November sind nämlich in den meisten Fällen für die Datenaufnahme nicht empfehlenswert, da das frisch gefallene Laub noch nicht durch Schnee und Regen komprimiert wurde und somit die feinen Unebenheiten des Bodens, welche archäologisch interessieren, noch nicht nachzeichnet bzw. sogar verdeckt. Aus diesem Grund ist eine Befliegung von Laubwäldern etwa in Norwegen kaum möglich, da zu dem Zeitpunkt, an dem die letzten Schneereste geschmolzen sind, die Belaubung der Bäume bereits weit fortgeschritten ist. Deshalb hat man in dieser Region bessere Ergebnisse im Bereich von Nadelwald (RISBØL et al. 2006, 111). Prinzipiell ist ALS auch in Mischwäldern oder reinem Nadelwald möglich. Man muss hier jedoch mit Abstrichen bei der Auflösung des DGM rechnen.

Weiter soll hier betont werden, dass das Ergebnis einer ALS-Befliegung ein digitales Geländemodell ist, dessen Interpretation sich oft als schwierig herausstellen kann. Auch wenn im Allgemeinen die Erkennungsrate archäologischer Strukturen deutlich gesteigert werden kann, darf dies nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine verifizierende Begehung vor Ort notwendig ist. Eine Steinansammlung von einem Grabhügel zu unterscheiden – um nur ein Beispiel zu nennen – ist nämlich bei der Arbeit mit ALS-Daten oftmals nicht möglich. Die Erfahrung hat daher gezeigt, dass eine Begehung vor Ort notwendig ist, um die im Geländemodell erkannten Strukturen zu verifizieren.

10.6 Geophysikalische Prospektion

Sowohl Feldbegehung als auch Luftbildarchäologie haben zahlreiche methodische Probleme erkennen lassen. Die Aussagekraft einer Begehung wird durch zahlreiche Unsicherheitsfaktoren relativiert. Man erhält keine Information zu Form, Größe, Anzahl und Abgrenzung archäologischer Strukturen, und großflächige, mehrere Quadratkilometer umfassende, intensive Begehungsprojekte sind praktisch unfinanzierbar. Luftbildarchäologie hat zwar ein großes Potenzial, großflächig Fundstellen und detailliert Strukturen zu finden, ihr Erfolg ist jedoch unter anderem stark von Bodenart, Landnutzung und Vegetation abhängig. Die Sichtbarkeit diverser Merkmale variiert von Flug zu Flug

– Luftbildarchäologie muss daher systematisch und wiederholt stattfinden. Auch wenn damit – wie noch zu zeigen sein wird (vgl. Kapitel 11.1.5.1) – selbst in archäologisch gut erforschten Gebieten eine große Zahl neuer Fundstellen zum Teil mit ihren strukturellen Details entdeckt und kartiert werden können, bleibt ein für die Landschaftsarchäologie wichtiges Problem ungelöst: Aufgrund der zeitlich und räumlich variierenden Sichtbarkeit von Merkmalen lassen sich keine fundierten Aussagen zur Relation der gefundenen und noch unentdeckt im Boden erhaltenen archäologischen Strukturen machen.

Aus landschaftsarchäologischer Sicht bedarf es daher einer Methode, welche großflächig und zuverlässig detaillierte Informationen zu archäologischen Strukturen liefern kann. Diese ist mit der geophysikalischen Prospektion seit längerem prinzipiell bekannt. Mit ihrer integrierten Anwendung unterschiedlicher Methoden (etwa Magnetik und Bodenradar) scheint eine zuverlässige, umfassende und großflächige Aufnahme von archäologischen Strukturen möglich. Dieser Abschnitt wird daher untersuchen, inwieweit die geophysikalische Prospektion diesem Anschein gerecht wird und zugleich der Frage nachgehen, weshalb in der internationalen Landschaftsarchäologie ihr Potenzial zwar registriert wird, eine sinnvolle Integration in landschaftsarchäologische Projekte momentan aber dennoch die Ausnahme darstellt. Dazu ist es notwendig, die wichtigsten Methoden der Geophysik zusammenfassend darzustellen und ihre methodischen Probleme zu diskutieren.

Die geophysikalische Prospektion ist eine der jüngeren archäologischen Prospektionsmethoden. Auch wenn die ersten, vereinzelt Anfänge bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu suchen sind (BEVAN 2000), steigerte sich das Interesse der Archäologie an geophysikalischen Techniken zunächst in den 1960er Jahren. Etwa seit Mitte der 1980er Jahre nahm die Anzahl der Anwendungen einen deutlichen Aufschwung. Vor allem in Großbritannien wurde die geophysikalische Prospektion nicht zuletzt durch eine Fernsehserie (Time Team) äußerst „populär“ und fand im Vorfeld vieler Planungs- und Strukturmaßnahmen Eingang (GAFFNEY, GATER 2003, 21 f.). In anderen Ländern ist die archäologische Akzeptanz der Methode aus unterschiedlichen Gründen noch nicht soweit gediehen (z. B. NEUBAUER 2001, 172 ff.).

C. Gaffney und J. Gater definieren die archäologische geophysikalische Prospektion als: „The examination of the Earth's physical properties using non-invasive ground survey techniques to reveal buried archaeological features, sites and landscapes“ (GAFFNEY, GATER 2003, 12). Somit zeigt sich hier bereits ein deutlicher Unterschied zu den bislang betrachteten Prospektionsmethoden: Während Feldbege-

hung und Luftbildarchäologie über Artefakte bzw. indirekte Sichtbarkeitsmerkmale auf die strukturelle materielle Hinterlassenschaft schließen, kann man durch die geophysikalische Prospektion die veränderten physikalischen Eigenschaften archäologischer Strukturen direkt messen.

Aus dem breiten Spektrum an Methoden, welche in der Geophysik zur Auswahl stehen (siehe u. a. GAFFNEY, GATER 2003, 26; LINFORD 2006), erwiesen sich bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt vor allem drei als äußerst erfolgreich: Magnetik, Geoelektrik und das Bodenradar. Diese drei Methoden sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden. Während die Magnetik mit passiven Sensoren arbeitet, sind die beiden anderen Methoden aktive Verfahren, welche Ströme induzieren (Geoelektrik) bzw. elektromagnetische Wellen aussenden (Bodenradar).

10.6.1 Magnetik

Auch wenn das Bodenradar zusehends an Bedeutung gewinnt, ist die Magnetik momentan sicherlich die wichtigste Methode der archäologischen geophysikalischen Prospektion (NEUBAUER 2001, 20). Zahlreiche Publikationen beschäftigen sich mit ihren Prinzipien. Daher soll hier nur ein kurzer Überblick gegeben werden. Vertiefende Einblicke sind den einschlägigen Arbeiten zu entnehmen (CLARK 1996, 64–98; SCOLLAR et al. 1990, 422–519; NEUBAUER 2001; BECKER 1996c; LINFORD 2006, 2220 ff.).

Magnetismus ist eine Kraft, welche durch bewegte elektrische Ladungen erzeugt wird und als Dipol auftritt. Die Übertragung erfolgt mittels eines sogenannten magnetischen Feldes, wobei seine Stärke mit der Distanz zum Dipol abnimmt (NEUBAUER 2001, 39). Die Erde erzeugt das sogenannte Erdmagnetfeld, welches um etwa 11 Grad gegenüber der Rotationsachse geneigt ist (Deklination). Die Feldlinien, entlang derer sich die magnetische Kraft auswirkt, stehen in der Nähe des Nord- und Südpols vertikal zur Erdoberfläche und verlaufen bogenförmig bis zum jeweils anderen Pol. Dadurch sind die Feldlinien im Bereich des Äquators parallel zur Erdoberfläche. In unseren Breiten nehmen sie einen Winkel von etwa 65 Grad ein (Inklination) (ZICKGRAF 1999, 107). Die Intensität wird in Tesla gemessen und beträgt zwischen 67.000 und 22.800 Nano-Tesla (nT: 10^{-9} Tesla). Das Erdmagnetfeld ist die Hauptquelle von Magnetismus. Es ist jedoch nicht stabil, sondern verändert sich ständig, wobei sich mehrere unterschiedliche Prozesse überlagern. So gibt es langfristige Variationen, mittelfristige Schwankungen von 20 bis 50 nT pro Tag; aber auch kurzfristige Pulsationen von 0.001 bis 50 nT in zeitlichen Perioden von 0,2 Sekunden bis 10 Minuten Dauer (NEUBAUER 2001, 39 ff.).

Neben dem Erdmagnetfeld gibt es noch andere externe Felder (z. B. aufgrund von Gesteinsformationen), welche

aber nur 1 bis 3 Prozent der gesamten auf uns einwirkenden magnetischen Kraft ausmachen. So haben alle Gesteinstypen aber auch die daraus entstandenen Sedimente und Böden eine natürliche, remanente (dauerhafte) Magnetisierung. Diese entsteht vor allem durch eisenhaltige Mineralien, welche weltweit in vielen Böden und Sedimenten – wenn auch nur zu einem geringen Prozentsatz – vorhanden sind. Sie sind hauptverantwortlich für die rötliche und bräunliche Färbung eines Bodens und seine magnetischen Eigenschaften (LINFORD 2006, 2220).

In Summe besteht die Magnetisierung eines Materials im Wirkungsbereich des Erdmagnetfeldes aus dem remanenten Anteil (also aus den magnetischen Momenten seiner Elektronen, die sich in vielen Fällen aber weitgehend gegenseitig aufheben) sowie dem induzierten Anteil. Die induzierte Magnetisierung ist jener Anteil, der von einem äußeren, externen Magnetfeld erzeugt wird (in unserem Fall in erster Linie das Erdmagnetfeld). Die Intensität dieses induzierten Anteils hängt von der Magnetisierbarkeit (Suszeptibilität) des Materials ab. Dies bedeutet, dass jedes Material (z.B. unterschiedliche Bodenhorizonte und Sedimente) in Abhängigkeit von seiner remanenten Magnetisierung und Suszeptibilität eine unterschiedliche Magnetisierung aufweist (NEUBAUER 2001, 43 f.). Durch deren Messung lassen sich daher unterschiedlich gefüllte archäologische Strukturen nachweisen.

Neben dieser natürlichen Remanenz kommt auch – vor allem in anthropogenen Ablagerungen – Material vor, welches eine thermoremanente Magnetisierung aufweist. Diese entsteht, wenn ein Material über einen bestimmten Temperaturwert (die sogenannte Curie-Temperatur, welche je nach Material variiert, und für Magnetit zum Beispiel 565°C , für Hämatit 675°C beträgt) erhitzt wird. Beim Abkühlen übernehmen die eisenhaltigen Mineralien die im äußeren Magnetfeld vorhandene Magnetisierung (und deren Ausrichtung). Ergebnis ist eine im Verhältnis stärkere Magnetisierung, welche permanent erhalten bleibt (GAFFNEY, GATER 2003, 37).

Wenn sämtliche für die Magnetisierung eines Sedimentes verantwortlichen Teilchen aus dem ursprünglichen Muttergestein stammen würden, müsste die Stärke der Magnetisierung innerhalb eines Bodenprofils von oben nach unten relativ ähnlich sein. Der Geophysiker E. Le Borgne konnte jedoch in den 1950er Jahren einige dieser Logik widersprechende Beobachtungen machen. Diese zeigen, dass die Magnetisierung in einem Bodenprofil von oben nach unten zu abnimmt. Der oberste A-Horizont ist demnach am stärksten magnetisiert. Dieser so genannten „Le Borgne-Effekt“ dürfte auf mehreren Faktoren beruhen:

Alle Materialien lassen sich aufgrund ihrer magnetischen Eigenschaften jeweils einer von fünf Gruppen von

Magnetismus zuweisen: Dia-, Para-, Ferro-, Antiferro- sowie Ferrimagnetismus. Bestimmte Stoffe (z. B. Eisen) besitzen den Ferromagnetismus und sind somit stark magnetisierbar. Für die aufgrund ihrer magnetischen Eigenschaft messbaren Sedimente spielt jedoch der Ferrimagnetismus eine wichtigere Rolle: Ferrite, wie Magnetit oder Maghemit weisen eine sehr hohe Suszeptibilität auf, kommen praktisch weltweit in fast allen Böden vor und wirken sich daher stark auf magnetische Eigenschaften von Böden aus (NEUBAUER 2001, 47 f.). Neben dem natürlichen Vorkommen kann es auch zu sekundärer Bildung aus bestimmten Eisenoxiden aufgrund von Hitze (Feuereinwirkung) kommen. Da Hitze in erster Linie durch Brände, aber auch die anthropogene Nutzung von Feuer an der Erdoberfläche entsteht, kommt es demnach zu einer stärkeren Magnetisierung des oberflächennahen Sediments. Zudem wird die Bildung von ferrimagnetischen Stoffen anscheinend auch durch Fermentationsprozesse gefördert. Dies wäre eine Erklärung für den Le Borgne-Effekt. Durch seine teilweise Verlagerung in Grubenfüllungen würden dadurch auch diese stärker magnetisch und somit in der magnetischen Prospektion erkennbar (NEUBAUER 2001, 47 f.; GAFFNEY, GATER 2003, 38 f.).

Eine weitere Erklärung lieferte Jörg Fassbinder. Er konnte feststellen, dass im Ah-Horizont und vor allem dort, wo sich Holzreste zersetzen, magnetotaktische Bakterien (sie verwenden Magnetkristalle zu ihrer Orientierung) vermehren und somit ebenfalls zur Bildung von ferrimagnetischen Stoffen (in diesem Fall von Magnetit) in den betroffenen Schichten führen (FASSBINDER 1994; FASSBINDER, STANJEK 1993; FASSBINDER et al. 1990). Deshalb ist es möglich, ehemalige Pfosten und Palisaden im Magnetogramm zu erkennen, sofern hoch auflösende Sensoren eingesetzt werden (NEUBAUER 2001, 48). Fassbinder konstatiert daher:

„Viele magnetische Anomalien werden erst durch die Existenz magnetischer Bodenbakterien meßbar“ (FASSBINDER, STANJEK 1996, 260).

Anthropogene Ablagerungen, wie zum Beispiel das Füllmaterial von Gruben und Gräben weisen daher nicht nur veränderte Eigenschaften in Bezug auf Korngrößenverteilung und Porenvolumen, sondern durch einen mehr

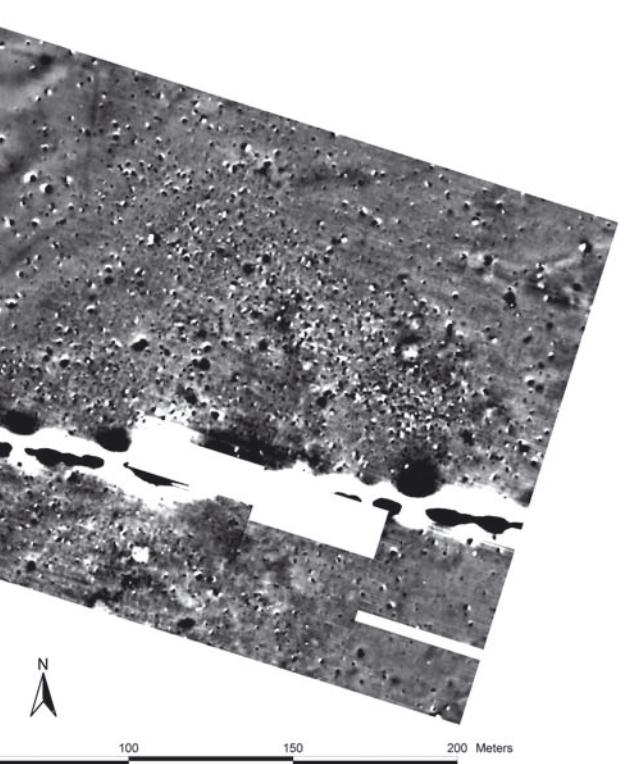


Abb. 112: Zwingendorf, NÖ. Eine im Boden verlaufende Pipeline erschwert eine Interpretation in einem fast 10 Meter breiten Bereich (© ArcheoProspections®).

oder weniger großen Anteil von ursprünglich aus dem Ah-Horizont stammendem Material auch mehr Anteile ferro- und ferrimagnetischer Stoffe auf (GAFFNEY, GATER 2003, 39). Außerdem kommt der bereits zuvor beschriebenen thermoremanenten Magnetisierung im Zusammenhang mit anthropogenen Ablagerungen eine weitere bedeutende Rolle zu. Für den Umgang mit Feuer verwendete, dem Feuer ausgesetzte oder im Feuer hergestellte Materialien erfahren bei der Abkühlung eine bisweilen sehr starke Magnetisierung. Auf diese Weise wird eine große Bandbreite archäologischen Materials, wie Öfen, Lehm im Bereich von Feuerstellen, Ziegel, Keramik, Schlacken, bestimmte Gesteine etc. magnetisch deutlich messbar. Wenn sie in Füllungen von Gruben oder Gräben gelangen, erhöhen sie somit auch dort die Magnetisierung der Ablagerungen (NEUBAUER 2001, 51 f.).

Dadurch ergibt sich ein mitunter deutlicher Magnetisierungskontrast (vor allem wenn die Gruben in den wenig magnetisierten C-Horizont eingetieft sind). Von einem Kolluvium überlagerte Strukturen lassen sich je nach Mächtigkeit der Bedeckung und ihrer magnetischen Eigenschaften prospektieren (NEUBAUER 2001, 53). Vor allem, wo wenig Hintergrundrauschen durch den Boden selbst vorhanden ist, lassen sich Spuren besonders gut erfassen (z. B. bei erodierten Fundstellen im Löss). In einem erodierten AP-C



Abb. 113: Luftbild des Teams von ArcheoProspections® im Bereich der Kreisgrabenanlage von Kleinrötz – Detail. (1) Multisensor Caesiumgradiometer, (2) Datenlogger, (3) Latten mit dazwischen verlaufenden Richtschnüren (© Michael Doneus).

Profil sind bei Einsatz entsprechender Sensoren selbst kleinste Pfostengruben erkennbar:

„Archäologische Strukturen mit hoher Magnetisierung lassen sich besonders gut erfassen, wenn sie in C-Horizonten mit geringer Magnetisierung eingetieft sind. Darunter fallen zum Beispiel in Löss oder Sand eingetieft Gruben mit stark magnetisierbarem Füllmaterial. In Schotter eingetieft Fundamentgräben, die wieder mit Schotter oder Steinmaterial angefüllt wurden, lassen sich kaum magnetisch nachweisen“ (NEUBAUER 2001, 53).

Eine Grube gleicht durch ihre stärker magnetisierte Füllung vereinfacht einem Dipol mit positivem Suszeptibilitätskontrast (Umgebung ist weniger magnetisiert). Ihre Feldstärke variiert somit in unseren Breiten von Süd (Maximum) nach Nord (Minimum). Permanent magneti-

sierte Objekte (Eisen, Ziegel etc.) lassen sich von solchen Gruben dadurch gut unterscheiden, dass die Richtung der Maximum-Minimum-Variation von der des Erdmagnetfeldes abweicht. Die Ausdehnung der gemessenen Anomalie ist größer als die zugrunde liegende Struktur, wobei deren Größe von der Stärke der Magnetisierung abhängt. Dadurch können die von Eisenteilen erzeugten Anomalien andere, in der Nachbarschaft gelegene überdecken (Abb. 112) (NEUBAUER 2001, 54, 1990, 9 f.).

10.6.1.1 Messgeräte

In der magnetischen Prospektion kamen bislang vier unterschiedliche Gerätetypen zum Einsatz (SCOLLAR et al. 1990, 450–469): Protonenmagnetometer, Fluxgategradiometer (GAFFNEY, GATER 2003, 61–67), Overhausermagnetometer und Atomabsorptionsmagnetometer (NEUBAUER 2001, 58; GAFFNEY, GATER 2003, 68–72). Heute finden von diesen Typen vor allem das Fluxgategradiometer und das Atomabsorptionsmagnetometer Verwendung (GAFFNEY 2008, 316). Ersteres ist speziell für archäologische Anwendungen gestaltet und vor allem in Großbritannien weit verbreitet, hat jedoch eine weitaus schlechtere Auflösung (0.1 bis 0.4 nT gegenüber 0.001 nT) als das Atomabsorptionsmagnetometer.

Die messbare Stärke einer Anomalie nimmt mit der dritten Potenz zur Entfernung ab. Deshalb muss sich bei einer Messung der Sensor in Bodennähe befinden (NEUBAUER 2001, 54). Aufgrund des störenden Einflusses der zeitlichen Variation des Erdmagnetfeldes werden Messungen mit zwei Sensoren, meist in sogenannter Gradiometeranordnung, durchgeführt: Die Differenz zwischen Referenz- und bodennahem Sensor ergibt Messdaten, in welchen die zeit-

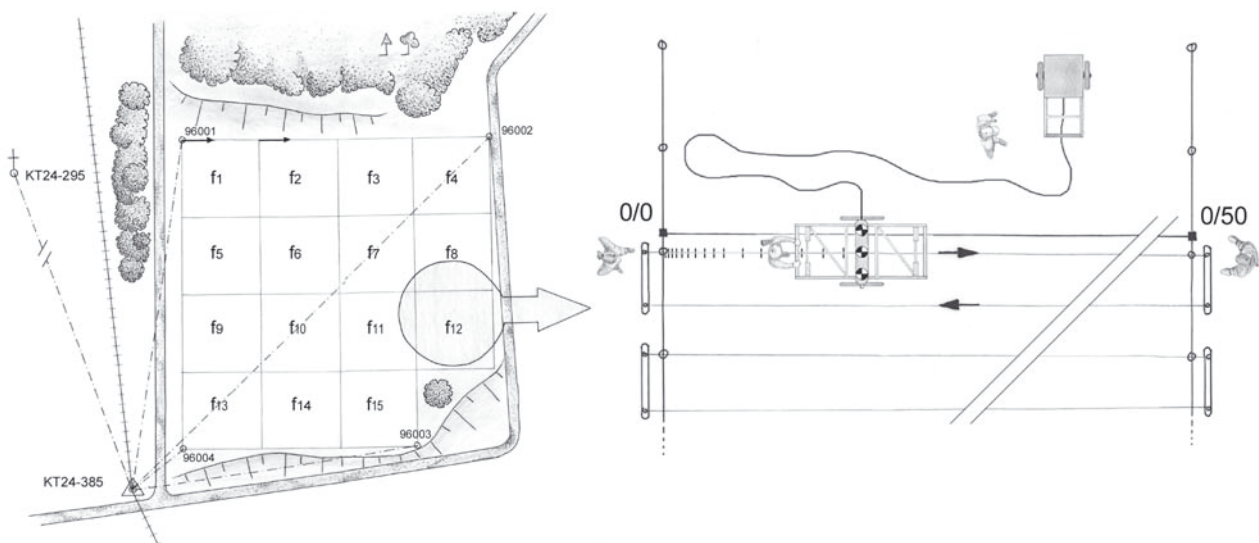


Abb. 114: Schema des Messablaufs (aus NEUBAUER 2001, 74, Abb. 62).

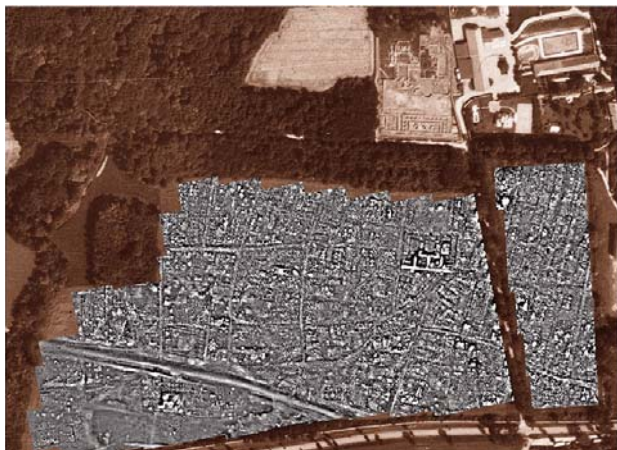


Abb. 115: Carnuntum, NÖ. Magnetogramm eines Bereichs der Zivilstadt (© ArcheoProspections®).

lichen Schwankungen des Erdmagnetfeldes kompensiert und tief liegende geologische Störungen abgeschwächt sind (GAFFNEY, GATER 2003, 40 f.).

Die beiden bekanntesten, in Österreich tätigen Einrichtungen, ArcheoProspections® (http://www.zamg.ac.at/produkte/thema/geophysik/archeo_prospections/ <22. Juni 2012> und VIAS (Vienna Institute for Archaeological Science – <http://vias.univie.ac.at/> <22. Juni 2012>), benutzen in erster Linie Atomabsorptionsmagnetometer, so genannte optisch gepumpte Cäsiummagnetometer in Gradiometeranordnung (NEUBAUER 2001, 60 f.; NEUBAUER et al. 2010). Diese Sensoren haben eine extrem hohe Auflösung (BECKER 1995) und eignen sich bestens, um selbst die schwachen magnetischen Spuren ehemaliger Hölzer (etwa Pfosten oder Schwellbalken) zu messen. Die Sensoren sind in unterschiedlicher Anordnung (einzelner Sensor und Referenzsensor auf einer an einem Kardangehänge frei schwingenden Plexiglasröhre, oder Multisensoranordnung, bei der bis zu fünf Sensoren im Abstand von jeweils 0,5 m parallel bewegt werden) auf unmagnetischen Wagen angebracht. Die Messung selbst erfolgt in quadratischen Rastern von 40 x 40, beziehungsweise 50 x 50 Metern Seitenlänge, die zuvor mittels geodätischer Instrumente ausgesteckt werden (Abb. 113 und Abb. 114). Innerhalb der Messraster erfolgen die Messungen in 0,5 m breiten Bahnen mit einer längs gerichteten Auflösung von 0,125 m (NEUBAUER 2001, 62 ff.). Besonders die Multisensoranordnung hat große Vorteile, was die Geschwindigkeit der Aufnahme betrifft. Momentan sind bis zu 5 Hektar Messfläche pro Tag mit einer Auflösung von 0,5 x 0,125 m realisierbar.

10.6.1.2 Datenverarbeitung

Die Darstellung der Messdaten erfolgt in den meisten Fällen in Form einer Isoanomaldarstellung in Art eines Hö-

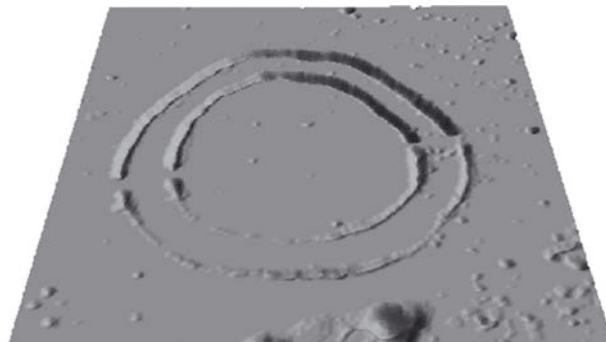


Abb. 116: Puch, NÖ. Dreidimensionale Modellrechnung der mittelneolithischen Kreisgrabenanlage (© ArcheoProspections®).

henschichtenplanes, von Blau nach Rot farbcodiert. In Österreich hat sich die Umrechnung der Messdaten als digitales Bild mit 256 Graustufen als geeignetste Form der Darstellung durchgesetzt (Magnetogramm). Jedem Rasterelement ist ein Pixel zugewiesen, dessen Graustufe dem Messwert entspricht, wobei in der Regel der Messbereich von ± 12.6 nT um den Median in die 256 Grauwerte umgerechnet wird (NEUBAUER 2001, 101 ff.).

Um ein für die visuelle Interpretation ideales Magnetogramm zu erhalten, müssen die Rohdaten zuvor um zahlreiche mögliche Fehlerquellen bereinigt werden. Grobe Messfehler, Sensorausfälle und Übertragungsfehler (*spikes*), starkes Bodenrauschen, Positionierungsfehler (*line shifts* und *displacements*) sowie unterschiedliche mittlere Helligkeiten in einzelnen Rechtecken werden dabei durch unterschiedliche Algorithmen beseitigt bzw. realisiert (EDER-HINTERLEITNER et al. 1996b; NEUBAUER 2001, 104–120). Bleiben diese unkorrigiert, so kann sich dies negativ auf die Interpretation auswirken. Zudem kann die Darstellung durch Histogrammanpassung, Glättung, Schärfung oder Schwellwertbildung verbessert werden (BECKER 1996d). Eine Georeferenzierung der Bilder ist Voraussetzung, um diese in einem GIS weiter verarbeiten zu können.

Die magnetische Messung erfasst die magnetischen Eigenschaften aller Sedimente bis in eine, von der Sensibilität des verwendeten Sensors abhängigen Tiefe. Mit entsprechendem Vorwissen um ungefähre Form einer archäologischen Struktur und der Suszeptibilität des Füllmaterials bzw. des umgebenden Bodens lässt sich ein dreidimensionales Modell des Untergrundes erzeugen und dieses im Vergleich mit dem Magnetogramm optimieren (NEUBAUER, EDER-HINTERLEITNER 1997a; EDER-HINTERLEITNER et al. 1996a).

10.6.2 Geoelektrik

Die Geoelektrik war in Form der Widerstandskartierung die erste geophysikalische Prospektionsmethode in der Archäologie (LINFORD 2006, 2211). Detaillierte Infor-

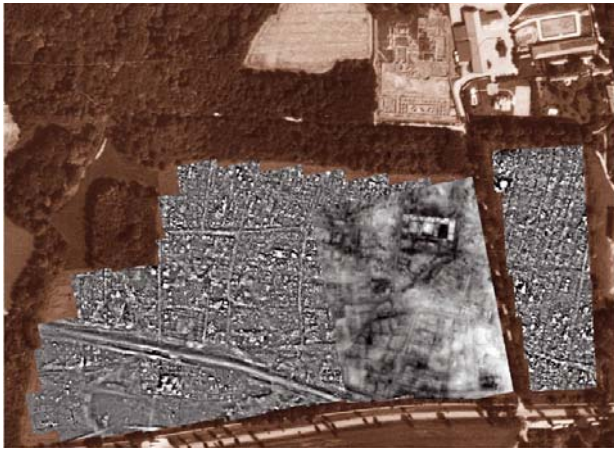


Abb. 117: Carnuntum, NÖ. Resistogramm eines Teilbereichs der Zivilstadt auf dem Hintergrund des Magnetogramms von Abb. 115 (© ArcheoProspections®).

mationen zu Voraussetzungen, Geräten und Messanordnungen finden sich zusammengefasst in unterschiedlichen Publikationen (CLARK 1996, 27–63; SCOLLAR et al. 1990, 307–421; NEUBAUER 1990, 26–34; LINFORD 2006, 2211 ff.; SCHMIDT 2009).

Die Geoelektrik ist eine aktive Methode, bei welcher durch Elektroden ein elektrischer Strom in den Boden induziert und seine elektrische Leitfähigkeit bzw. sein elektrischer Widerstand gemessen wird. Der elektrische Widerstand eines Bodens verändert sich unter anderem mit dem Feuchtigkeitsgehalt und der im Bodenwasser gelösten Ionen, und variiert somit zeitlich (Wetter) und räumlich (Bodenart, Porenvolumen). Aufgrund der bereits zuvor erwähnten Notwendigkeit eines entsprechenden Kontrasts lassen sich vor allem Steinstrukturen im umgebenden feinen Boden oder Gräben in Schotter deutlich erkennen (SCOLLAR et al. 1990, 20). Der scheinbare Widerstand des Bodens ergibt sich aus induzierter Stromstärke sowie dem in einer bestimmten Distanz gemessenen Spannungsabfall (GAFFNEY, GATER 2003, 26 f.; NEUBAUER 1990, 27).

Elektrischer Strom kann im Prinzip in allen Materialien fließen, indem er durch elektrisch geladene Teilchen (Elektronen in Metallen bzw. Ionen im Wasser) übertragen wird (CLARK 1996, 27). Da auch im Bodenwasser zahlreiche, aus unterschiedlichen Salzen gelöste Ionen vorhanden sind, wird ein elektrischer Strom durch ihre Verlagerung auch im Boden geleitet. Dazu ist aber ausreichend freies Bodenwasser in den Poren notwendig. Luft ist nämlich ein sehr schlechter elektrischer Leiter (SCOLLAR et al. 1990, 19 und 307), weshalb ein trockener Boden mit entsprechendem Porenvolumen einen hohen Widerstand aufweist.

Mit dem Feuchtigkeitsgehalt steigt auch seine Leitfähigkeit (SCOLLAR et al. 1990, 19). Die Bodenfeuchte ist

von zahlreichen Faktoren abhängig, deren wichtigste die Korngrößenverteilung bzw. das damit verbundene Porenvolumen sind. Äußere Bedingungen (Witterung, Vegetation), welche Wasser zuführen oder entziehen, beeinflussen ebenfalls die Menge an Bodenfeuchte. Je nach Feuchtigkeit weisen zum Beispiel Lehm und Ton Widerstände zwischen 2–50 Ωm (Ohmmeter), Humus 50–100 Ωm und Sandstein bis zu 4.000 Ωm auf (NEUBAUER 1990, 27, Tab. 1). Deshalb sind Objekte aus Stein (z. B. Mauern), Schutt oder Straßen anhand ihres hohen spezifischen elektrischen Widerstandes besonders gut zu erkennen (GAFFNEY, GATER 2003, 26). Wie bereits dargestellt (vgl. Kapitel 10.4.2.3), weisen die Füllungen von Gruben und Gräben in der Regel einen im Vergleich zum umgebenden Material erhöhten Feuchtigkeitsgehalt auf. Deshalb zeigen sie einen geringeren spezifischen Widerstand (ZICKGRAF 1999, 115). Ist ein Boden zu feucht, so funktioniert die Widerstandsmessung schlecht, da der elektrische Strom an der Oberfläche und nicht im Boden geleitet wird (NEUBAUER 1990, 34).

10.6.2.1 Messvorgang

Der elektrische Widerstand kann durch entsprechende Geräte (z. B. GAFFNEY, GATER 2003, 56–61) und Messanordnungen flächig kartiert werden. Häufig kommen dabei vier Elektroden zum Einsatz, welche in den oberflächennahen Boden eingebracht werden. Zwei der Elektroden dienen dazu, einen Wechselstrom in den Boden einzuleiten, während die beiden Anderen die Potenzialdifferenz messen (GAFFNEY, GATER 2003, 28). Die Verwendung von zwei Elektrodenpaaren ist deshalb notwendig, da im Nahbereich der induzierenden Elektroden ein sehr hoher Widerstand herrscht (Kontaktwiderstand) und der archäologisch interessierende Bodenwiderstand dadurch unmessbar würde (LINFORD 2006, 2212).

Durch die Potenzialdifferenz kann der scheinbare (*apparent*) Bodenwiderstand berechnet werden. Scheinbar deshalb, weil der Untergrund zwischen den Elektroden nicht homogen ist und sich die Widerstände sehr kleinräumig ändern. Der scheinbare Widerstand ist somit die Summe aller zwischen den beiden Elektroden gemessenen Widerstände (SCOLLAR et al. 1990, 313).

Durch Variation der Elektrodenabstände lassen sich unterschiedliche Messtiefen realisieren. Häufig wird für flächige Messungen ein Raster mit 0,5 m Messpunktabstand gewählt (NEUBAUER 2001, 183). Dies ergibt Messwerte aus einer Tiefe von etwa 0,75 Metern (GAFFNEY, GATER 2003, 32). Generell gilt: je weiter die Abstände, desto tiefer im Boden erfolgt die Messung, desto größer wird aber auch die Auflösung der Messung (GAFFNEY, GATER 2003, 32).

Es gibt unterschiedliche Konfigurationen (*arrays*), mit welchen die Elektroden in den Boden eingebracht werden können. Am einfachsten ist die Wenner-Konfiguration, bei welcher vier Elektroden mit jeweils gleichem Abstand in einer Reihe angebracht sind. Die beiden Äußeren induzieren den Strom, die Inneren messen den Spannungsabfall gemäß dem zwischen ihnen vorhandenen Abstand. Daraus wird der Bodenwiderstand berechnet, und zwar aus einer Tiefe, die in etwa dem Abstand zwischen den Elektroden entspricht (NEUBAUER 1990, 28 f.). Der Nachteil dieser Konfiguration ist, dass der Messvorgang langsam ist und die Ergebnisse schwierig zu interpretieren sind, da eine einzelne Struktur (etwa eine Grube) mehrfache Messspitzen aufweisen kann (GAFFNEY, GATER 2003, 29). Weitere Konfigurationen, wie Dipol-Dipol, Square Array oder Schlumberger sind ebenfalls in Gebrauch (CLARK 1996, 37–48; GAFFNEY, GATER 2003, 28 ff.; ZICKGRAF 1999, 117–120).

Die in archäologischen Anwendungen momentan gebräuchlichste Konfiguration ist die Twin-Anordnung. Sie ist der Wenner-Konfiguration ähnlich, die beiden Elektrodenpaare sind jedoch nicht in einer Reihe aufgefädelt. Vielmehr wird das den Strom einleitende Elektrodenpaar stationär in mindestens 15 Metern Entfernung von dem anderen, den Spannungsabfall messenden Paar verwendet. Letzteres wird im Raster (meist 0,5 x 0,5 m) mit 0,5 m Elektrodenabstand bewegt (NEUBAUER 2001, 184). Der Vorteil liegt in einem starken Signal, aus einer Tiefe von etwa 0,75 m sowie einer besseren Auflösung (GAFFNEY, GATER 2003, 32).

Durch einen Multiplexer können auch mehr als zwei Elektrodenpaare zum Einsatz kommen, was bei bestimmten Konfigurationen den Messaufwand reduzieren kann. Auch ist es möglich, ähnlich dem Bodenradar den Widerstand in unterschiedlichen Tiefen zu messen und somit dreidimensionale Darstellungen des Untergrundes zu erhalten (GAFFNEY 2008, 321 f.; GAFFNEY, GATER 2003, 58 f.). In Österreich wendet W. Neubauer den Multiplexer üblicherweise in einem Raster, bestehend aus 20 x 20 m großen Einheiten an, innerhalb derer eine Auflösung von 0,5 x 0,5 m realisiert wird (z. B. Flavia Solva bei Leibnitz: GROH et al. 1999). Die Darstellung der Messdaten erfolgt analog zum Magnetogramm mittels eines Resistogramms. Prinzipiell ist auch eine automatische Datenerfassung mit Fahrzeugen möglich (GAFFNEY 2008, 320), teilweise verbunden mit einer gleichzeitigen Erfassung der Fläche durch ein Bodenradar (LECKEBUSCH 2001, 78 f.).

Wie bereits erwähnt, können durch Änderung des Elektrodenabstandes auch Messwerte aus unterschiedlichen Tiefen realisiert werden. Eine gängige Anwendung ist die Messung eines Profils (*pseudosection*). Dies wird häufig bei Wällen angewandt (NEUBAUER 1990, 31). Typischerweise



Abb. 118: Einsatz des Bodenradars in Carnuntum (Foto: Alois Hinterleitner).

werden dabei 25 bis 32 Elektroden in regelmäßigen Abständen (zwischen 1 und 5 m) in den Boden eingebracht. Dabei werden verschiedene Messungen mit z. B. einer Wenner-Konfiguration und unterschiedlichen Elektrodenkombinationen durchgeführt (GAFFNEY, GATER 2003, 35).

10.6.3 Bodenradar

Das Bodenradar hat als jüngste der archäologischen geophysikalischen Prospektionsmethoden großes Potenzial für die dreidimensionale Erfassung unterirdischer Strukturen (LECKEBUSCH 2001; LINFORD 2006, 2233 ff.). Wie bei der Geoelektrik ist die Radarmessung ein aktives Verfahren. Es nutzt elektromagnetische Wellen (Mikrowellen) im Frequenzbereich zwischen 110 und 900 MHz als Informationsträger.

Dabei wird ausgehend von einer Senderantenne ein Impuls mit einer bestimmten Zentrumsfrequenz in den Boden gesandt. Dieser durchdringt aufgrund seiner Wellenlänge die unterschiedlichen Sedimente. An den Grenzflächen zwischen zwei Sedimenten findet gemäß den in der Fernerkundung besprochenen physikalischen Gesetzen (vgl. Kapitel 10.3.1.3) eine teilweise Reflexion statt. Der Rest der Strahlung dringt weiter in den Boden ein. Dabei wird das Signal in Abhängigkeit vom Material in unterschiedlichem Ausmaß absorbiert. Es kommt daher mit zunehmender Tiefe zu einer Abschwächung der Energie (LECKEBUSCH 2001, 12). Die Intensität (Amplitude) und Zeitdauer der von den einzelnen Schichtgrenzen reflektierten Impulse werden mit einer Empfängerantenne registriert und digitalisiert. Wird die Antenne bewegt, entsteht eine sogenannte Spur, ein Diagramm, in welchem die während einer bestimmten Laufzeit aufgezeichneten Amplituden dargestellt werden (LECKEBUSCH 2001, 11).

Je nach Material haben die elektromagnetischen Wellen eine unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit. Diese

beträgt in Abhängigkeit von der sogenannten Dielektrizitätskonstante (eine Funktion der Bodeneigenschaft – siehe LECKEBUSCH 2001, 12, Tab. 1) etwa ein Drittel der Lichtgeschwindigkeit. Wenn die Bodenart und somit die Dielektrizitätskonstante bekannt sind, kann die Zeit, welche das Signal benötigt, in Tiefenwerte umgerechnet werden (LECKEBUSCH 2001, 12).

Die Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung in das jeweilige Bodenmaterial ist einerseits abhängig von der Leitfähigkeit des Bodens, andererseits wird sie maßgeblich durch die verwendete Frequenz bzw. Wellenlänge bestimmt (NEUBAUER 2001, 185). Größere Wellen haben eine größere Eindringtiefe, aber eine geringere Auflösung: Die vertikale Auflösung entspricht in der Theorie einem Viertel der verwendeten Wellenlänge. In der Praxis kann man davon ausgehen, dass eher eine Auflösung im Bereich der halben Wellenlänge erreicht wird (GAFFNEY, GATER 2003, 49). Die Auflösung ist also von der verwendeten Wellenlänge abhängig (500 MHz = 0,6 m, 100 MHz = 3 m Wellenlänge).

Ähnlich wie bei der LiDAR-Technologie weitet sich der abgestrahlte Impuls und „beleuchtet“ eine mit zunehmender Distanz größer werdende, ovale Fläche, den so genannten „Footprint“. Allerdings ist der Öffnungswinkel in der Regel deutlich größer als beim flugzeuggetragenen Laser-Scanning. Dadurch nimmt auch die horizontale Auflösung mit der Tiefe ab. J. Leckebusch rechnet vor, dass bei einer Frequenz von 500 MHz punktuelle Objekte in 1,5 m Tiefe erst dann klar voneinander unterschieden werden können, wenn sie 0,8 m auseinanderliegen (LECKEBUSCH 2001, 13).

Mithilfe des Bodenradars lässt sich in erster Linie die dreidimensionale Lage von Schichtgrenzen ermitteln, sofern die den Materialien eigenen Dielektrizitätskonstanzen einen entsprechenden Kontrast aufweisen (NEUBAUER 2001, 185).

Gefüllte (Gruben) oder ungefüllte (Grabkammer) Hohlformen, Mauern, Wege, oder größere, massive Objekte aus Metall oder Stein lassen sich auf diese Weise erfassen (GAFFNEY, GATER 2003, 50). Ausgezeichnete Ergebnisse liefern für gewöhnlich Messungen im Bereich von gemauerten Strukturen (z. B. NEUBAUER, EDER-HINTERLEITNER 1997b). Theoretisch ist es auch möglich, Informationen zu den Eigenschaften der durchdrungenen Materialien zu ermitteln. Hierzu gibt es jedoch bislang kaum Forschungen (LECKEBUSCH 2001, 11).

Beim Bodenradar fallen große Datenmengen mit einem sehr hohen Informationsgehalt an. Deshalb gestaltet sich die Interpretation bisweilen schwierig und langwierig. Vor allem die Interpretation einzelner Spuren in Form eines Schnittbildes entlang der einzelnen Messstreifen lässt sich nur mit entsprechendem Fachwissen und einer gewissen Erfahrung zufriedenstellend durchführen. Die Darstellung der Beugungs- und Reflexionsmuster wird nämlich durch den

Öffnungswinkel erschwert: Dieser hat zur Folge, dass die Reflexionen nicht nur aus dem Bereich direkt unterhalb der Antenne stammen, sondern auch aus den Bereichen davor und dahinter. Dadurch wird ein Objekt, während das Radar darüber hinweg geführt wird, mehrfach erfasst. In der Spur ist ein punktuell Objekt daher nicht als Punkt, sondern in Form einer hyperbelförmigen Linie abgebildet (LINFORD 2006, 2237).

Abgesehen von der ohne Fachwissen kaum durchführbaren Interpretationen fehlt den aus einzelnen Bahnen gemessenen Schnittbildern die dreidimensionale Information (NEUBAUER 2001, 185). Wird die Bodenradarmessung jedoch entlang paralleler Bahnen mit z. B. 0,5 m Abstand durchgeführt, so erhält man einen dreidimensionalen Datenblock. Aus diesem lassen sich horizontale Schnittbilder berechnen, indem man die Amplituden (Intensitäten) der Reflexionen innerhalb eines bestimmten Zeitfensters (meist in der Dauer einer halben Wellenlänge) aufsummiert und darstellt (NEUBAUER 2001, 188). Dies gelingt mit der entsprechenden Software automatisch und innerhalb weniger Minuten (NEUBAUER et al. 1999, 13). Damit lassen sich aus dem dreidimensionalen Datenblock beliebig viele horizontale Zeitscheiben und vertikale Visualisierungen erzeugen. Hohe Werte in einer Zeitscheibe weisen auf hohe Reflexivität der Grenzfläche hin, wie dies zum Beispiel bei Mauern der Fall ist. Niedrige Werte stammen häufig von stark absorbierendem Material, wie Lehm (NEUBAUER et al. 1999, 13).

Die Zeitscheiben (*time slice*) kann man bei entsprechender Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit in Tiefenwerte umrechnen. Man erhält dadurch sogenannte Amplitudenflächenpläne (*depth slice*). Dazu benötigt man, wie bereits oben erwähnt, Kenntnis des vom jeweiligen Material abhängigen Wertes der Dielektrizitätskonstante. Manchmal kann man das Bodenmaterial aufgrund einer benachbarten Ausgrabung oder Bohrungen erfassen oder aus der Messung selbst ableiten (GAFFNEY, GATER 2003, 50; LECKEBUSCH 2001, 15; NEUBAUER et al. 1999, 14).

Die archäologische Interpretation erfolgt meist anhand der abgeleiteten zweidimensionalen Schnittbilder. Eine echte dreidimensionale Auswertung wurde bislang noch kaum durchgeführt. Einige wenige Beispiele dazu werden von Jürg Leckebusch angeführt (z. B. Augst: LECKEBUSCH 2001, 90 ff.).

10.6.3.1 Messgeräte

Prinzipiell gibt es momentan zwei Arten von Radargeräten, welche sich aufgrund der Aussendung der elektromagnetischen Wellen als diskreter oder kontinuierlicher Puls unterscheiden (LECKEBUSCH 2001, 11; GAFFNEY, GATER 2003, 74–76). Ein typisches Radargerät bietet die Möglichkeit, mit unterschiedlichen Frequenzen zu arbeiten. Die in

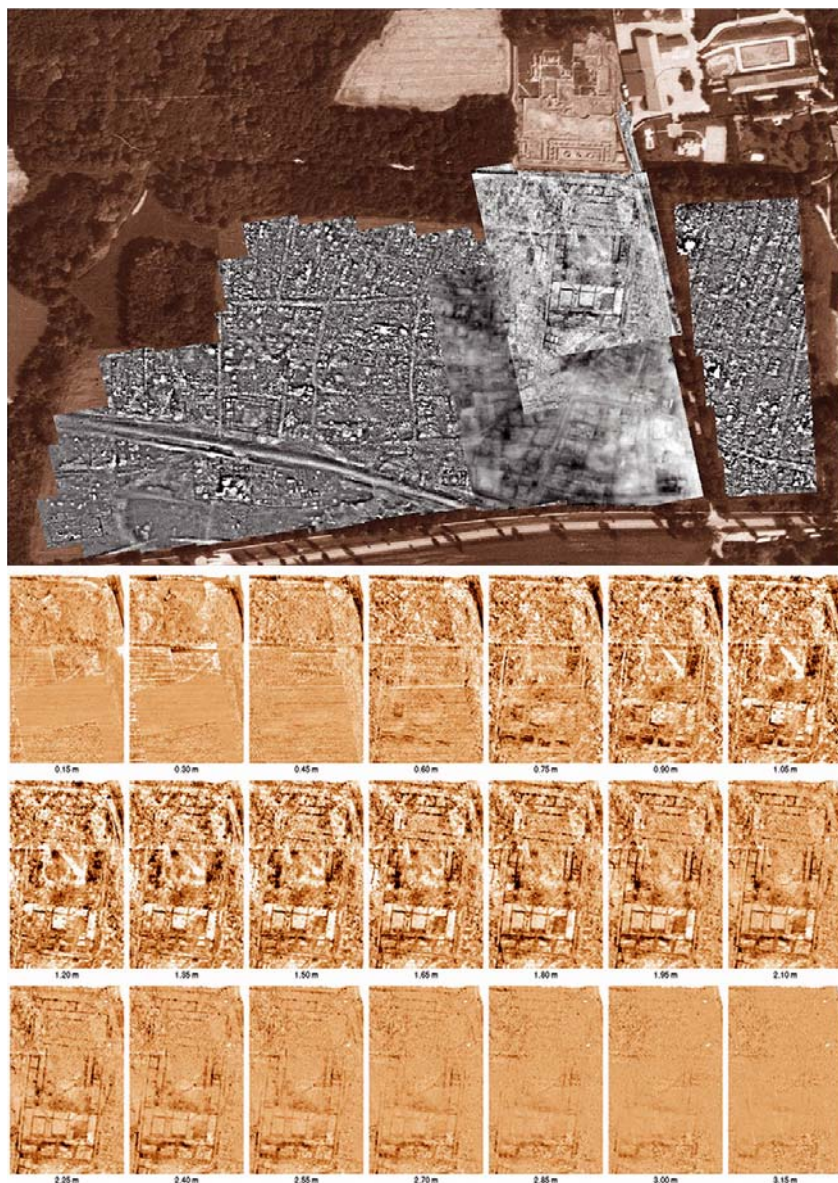


Abb. 119: Carnuntum, NÖ. Oben: Radargramm des Forums der Zivilstadt auf dem Hintergrund des Resistogramms und Magnetogramms von Abb. 115 und Abb. 117. Unten: Aus den Radardaten berechnete Amplitudenflächenpläne (*depth slices*) mit einem Vertikalabstand von umgerechnet 0,15 m (© ArcheoProspections®).

Österreich von ArcheoProspections® eingesetzten Radargeräte decken Frequenzen von 100–1.000 MHz ab (SEREN et al. 2007). Üblicherweise werden dabei parallele Bahnen mit 0,5 m Profilabstand begangen. Entlang der einzelnen Profile erfolgt die Aufnahme mit 0,05 m Messpunktabstand (NEUBAUER et al. 1999, 7 f.). Dies konnte aufgrund mehrfacher Messungen und Simulationen an einer Testfläche als günstigste Konfiguration spezifiziert werden und stellt einen guten Kompromiss zwischen Auflösung und Erfassungsdauer dar (NEUBAUER et al. 1999, 9 ff.). Mittler-

weile ist man dazu übergegangen, mit Profilabständen von 0,25 m zu messen.

Praktische Tests zeigten weiter, dass sich Mauern am besten erkennen lassen, wenn die Ausrichtung der parallelen Bahnen schräg zum Mauererlauf erfolgt, oder der Abstand zwischen den Messprofilen verkleinert wird (NEUBAUER et al. 1999, 11). Dies bedeutet, dass für die Bodenradarmessung eine Vorinformation von Vorteil ist. In vielen Fällen wird sie daher erst im späteren Projektverlauf nach Vorerkundung etwa durch Luftbildarchäologie oder Magnetik gezielt eingesetzt.

Eine Steigerung der Datenerfassung kann sich durch die Verwendung von Fahrzeugen ergeben. J. Leckebusch verwendet bei seinen Projekten in der Schweiz ein Raupenfahrzeug, welches automatisiert kombinierte Geoelektrik- und Bodenradarmessungen durchführen kann (LECKEBUSCH 2001, 78 f.). Die Georeferenzierung erfolgt über einen mitgeführten differenziellen GPS-Empfänger.

10.6.4 Methodische Probleme der geophysikalischen Prospektion

Die geophysikalische Prospektion stellt momentan sicherlich die beste Möglichkeit dar, detaillierte und genaue zerstörungsfreie Beobachtungen zu den im Boden verborgenen archäologischen Strukturen zu machen. Die Wahl der Methode sollte dabei aufgrund von Fragestellung, vorhan-

dener Zeit, zu prospektierender Fläche, Art der archäologischen Strukturen, Geologie oder Boden erfolgen.

Wie bei allen archäologischen Prospektionsmethoden gilt auch in den geophysikalischen Anwendungen das Prinzip des Kontrastes: Bestimmte physikalische Eigenschaften der materiellen Hinterlassenschaft lassen sich anhand zahlreicher Verfahren direkt messen, sofern sie einen mehr oder weniger deutlichen Kontrast zum umgebenden Bereich („Hintergrund“) aufweisen. Dabei gewinnen die Messergebnisse an Deutlichkeit, je homogener sowohl Struktur als auch Hintergrund sind. Archäologi-

sche Strukturen, welche sich gegenseitig überlagern, sind zum Beispiel bei der Magnetik nur schwer voneinander zu unterscheiden (NEUBAUER 2001, 52).

Im Wesentlichen sind es vier Faktoren, welche die Messbarkeit einer archäologischen Struktur, sowie die Wahl der zu verwendenden Methode bzw. des Sensors beeinflussen: das Hintergrundrauschen (u. a. abhängig von Geologie oder Pedologie), das zu messende Material (Kontrast zum Hintergrund), die Größe der Struktur sowie deren Tiefe unter der Erdoberfläche (GAFFNEY, GATER 2003, 55 f.). Die Ausdehnung der kleinsten zu messenden Struktur bestimmt die Wahl des zu verwendenden Sensors (Genauigkeit der Messung) sowie die Messanordnung (Messpunktstand – Präzision, Detail des Ergebnisses) der Prospektion (zur Diskussion um die zu verwendende Methode siehe: CLARK 1996, 124 ff.; NEUBAUER 2001, 177 ff.; GAFFNEY, GATER 2003, 77 ff.; ZICKGRAF 1999, 16 ff.). Dabei ist jedoch auch die zu erwartende Tiefe zu beachten, in welcher sich die zu messende Struktur befindet. Auflösung und Tiefe sind in der geophysikalischen Prospektion keine unabhängig voneinander bestimmbar Faktoren. Bei den meisten Methoden ist eine Eindringtiefe von etwa 1 m gegeben (GAFFNEY, GATER 2003, 56). Bei anderen kann man zwar in größere Tiefen vordringen, was sich jedoch häufig negativ auf die horizontale Auflösung des Ergebnisses auswirkt.

Bei jeder Methode wird die Messfläche durch einzelne Messpunkte systematisch beprobt. Eine Verdichtung der Messpunkte bewirkt zwar eine höhere Auflösung der Ergebnisse, hat jedoch – sofern man nicht die Anzahl der zugleich messenden Sensoren erhöht – auch eine Steigerung der Dauer der Datenaufnahme zur Folge. In vielen Fällen, vor allem wo große Gebiete zu prospektieren sind, wird die Auflösung der Methode wohl an die zur Verfügung stehende Zeit angepasst werden müssen.

Es ist in jedem Fall bereits im Vorfeld einer geophysikalischen Prospektion zu entscheiden, welche Geräte mit welcher Messanordnung zu verwenden sind. Diese Auswahl ist in erster Linie abhängig von der Fragestellung, der zu erwartenden archäologischen Strukturen sowie von der Größe der zu prospektierenden Gesamtfläche. Dies bedeutet aber auch, dass man für eine ideale Durchführung der geophysikalischen Prospektion entweder bereits ein bestimmtes Vorwissen zum erwarteten Ergebnis oder Testreihen im Vorfeld benötigt. Die Entwicklung geeigneter Systeme mit Messanordnungen, welche eine detaillierte, genaue und rasche Erfassung ermöglicht, ist zudem vorrangiges Ziel der gegenwärtigen Forschung (NEUBAUER et al. 2012).

Wie für alle archäologischen Prospektionsarbeiten gilt auch bei der geophysikalischen Prospektion, dass sämtliche Messungen georeferenziert vorliegen müssen. Dabei werden

zuvor Raster in der Größe von 40 x 40 m oder 50 x 50 m abgesteckt. Dies erfolgt heute zumeist über geodätische Geräte (Totalstation oder GPS). Der Einsatz moderner differenzieller GPS-Systeme hat Potenzial für die Zukunft, wo durch eine Verbindung mit dem Sensor die einzelnen Messungen nicht über das zuvor ausgesteckte Raster lokalisiert werden müssen, sondern über das GPS direkt georeferenziert vorliegen. Damit wird es möglich, auch außerhalb eines Rasters zu prospektieren (GAFFNEY 2008, 318). Problematisch sind dabei jedoch durch Bäume oder Gebäude abgeschattete Bereiche, welche eine Bestimmung der GPS-Position verhindern.

Alle geophysikalischen Methoden haben vor allem praktische Probleme bei dichter und hoher Vegetation. Auch der Zustand ackerbaulich genutzter Flächen kann eine geophysikalische Prospektion temporär unmöglich machen. Bei zu hoher Feuchtigkeit, bereits aufgegangener Saat, oder kurz zuvor erfolgtem Pflügen erweisen sich manche Methoden in der Praxis als schwierig bis undurchführbar (GAFFNEY, GATER 2003, 84). Ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist auch, dass man, um eine geophysikalische Prospektion durchführen zu können, die Einwilligung des Grundeigentümers benötigt. Diese ist jedoch keine Selbstverständlichkeit.

Das unterschiedliche Verhalten geophysikalischer Methoden in Bezug auf verschiedene archäologische Strukturen ist bei Anthony Clark übersichtlich dargestellt (CLARK 1996, 125 ff.). Im Folgenden sollen einiger der Problembereiche kurz angesprochen werden.

In der *Magnetik* sind vor allem jene Strukturen messbar, die sich klar abgegrenzt vertikal in die Tiefe ausdehnen (v. a. Gruben, Gräben) und eine ausreichend veränderte Magnetisierung im Vergleich zum umgebenden Material aufweisen. Schwierig erweisen sich oft Gräber, welche nach sehr kurzer Zeit mit dem zuvor entnommenen Material wieder gefüllt wurden. Zudem gibt es Beispiele, wo aufgrund der pedologischen Situation Grubenhäuser nicht messbar waren, während sich Pfosten oder einzelne Gruben sehr wohl im Magnetogramm zeigten (DONEUS et al. 2002, 155 f., 160). Auch Strukturen im Grundwasserbereich sind meist schwer bis kaum magnetisch zu prospektieren (NEUBAUER 2001, 55 f.).

Schwierigkeiten bereiten moderne Störungen wie Drahtzäune, Metallmasten, Leitungen, metallene Markierungen sowie vorbeifahrende Autos. Sind die Leitungen unterirdisch, so überdecken ihre Anomalien große Teile der zu prospektierenden Umgebung; Pipelines können zum Beispiel Anomalien erzeugen, welche einen Bereich von mehreren Metern zu beiden Seiten ihres linearen Verlaufs überdecken (Abb. 112). Auch moderner, oft unachtsam entsorgter Müll und vor allem größere im Boden verborgene Mülldeponien erzeugen oft sehr große Anomalien

(DONEUS, NEUBAUER 1998, 37). Im Falle von hochempfindlichen Sensoren sind selbst Reißverschlüsse, Ösen oder Nieten an der Kleidung der sich in der Nähe der Messgeräte aufhaltenden Personen störend (NEUBAUER 2001, 74).

Der Erfolg der *Widerstandsmessung* ist von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängig (SCOLLAR et al. 1990, 345 ff.). Neben Gerätefehlern erwähnen I. Scollar et al. zum Beispiel Anomalien aufgrund von Geländeunebenheiten, welche sich jedoch nicht auf alle Messkonfigurationen gleich auswirken (SCOLLAR et al. 1990, 349). Wesentlich bedeutender und problematischer ist die Abhängigkeit der Geoelektrik vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens. Ähnlich, wie bei luftbildarchäologischen Bewuchsmerkmalen ist diese unter anderem abhängig von der Bodenart und klimatischen Faktoren. Sumpfige Bereiche, tiefer liegende, feuchte Gebiete oder nach einem längeren bzw. starken Regen wassergesättigte Felder eignen sich genauso wenig wie extrem trockene Böden (NEUBAUER 1990, 34; SCOLLAR et al. 1990, 351). Die Messbarkeit von Strukturen kann sich auch mit der Jahreszeit ändern:

„Eine im Frühjahr gut zu findende Mauer kann in trockenen Sommern, aufgrund der langsamen Austrocknung des umliegenden Erdbodens, ganz verschwinden. ... Ein weiteres Problem stellen menschliche Einflüsse auf den Boden, wie Leitungsgräben, Kabel, Drainagen, Düngung, Verwendung bestimmter Spritzmittel (Rebbau), Oberflächenbefestigungen, Bewässerung usw., dar“ (NEUBAUER 1990, 34).

Aufgrund seiner hohen Auflösung und Datenfülle hat das *Bodenradar* großes Potenzial für die archäologische Prospektion. Dennoch sollte man die Ergebnisse immer wieder kritisch hinterfragen:

„Auch wenn Bodenradar eine sehr hohe Auflösung aufweist, so dürfen die Aussagemöglichkeiten nicht überschätzt werden ... Die während einer Ausgrabung dokumentierten Schichtgrenzen lassen sich meist nicht feststellen“ (LECKEBUSCH 2001, 18 f.)

So kann es zum Beispiel an bestimmten Schichtgrenzen zu multiplen Reflexionen kommen, welche zu einer Überlagerung der letztendlich reflektierten Wellen mit Echos aus tieferen Schichten führen und diese somit „maskieren“ (LECKEBUSCH 2001, 12). J. Leckebusch berichtet aufgrund seiner Erfahrungen, dass Objekte mit räumlich großer Ausdehnung (konkret nennt er Mauern, Gräben oder große Gruben) in der Regel gut und deutlich erfasst werden, während Feuerstellen oder Pfostenlöcher selten bis gar nicht im Radargramm aufscheinen (LECKEBUSCH 2001, 105).

Auch das Bodenradar ist ähnlich wie die Geoelektrik stark von den elektrischen Eigenschaften des Bodens abhängig. Feuchtes, bzw. nasses Material wirkt sich äußerst

schlecht auf Radarmessungen aus, da die elektromagnetischen Wellen bisweilen vollständig absorbiert werden können (LECKEBUSCH 2001, 12). Süßwasser und trockener (sehr kalter) Schnee sind jedoch unproblematisch. Deshalb kann das Bodenradar auch zur Prospektion von Seeufnern benutzt werden (LECKEBUSCH 2001, 18).

10.6.4.1 Interpretation

Die Visualisierung der Messdaten einer geophysikalischen Prospektion ist in etwa mit der illustrativen Darstellung eines Luftbildes gleichzusetzen und daher noch keine archäologische Wissensvermittlung. Die Notwendigkeit einer archäologischen Interpretation wird in der geophysikalischen archäologischen Prospektion leider noch nicht überall erkannt. Ein Großteil der in den einschlägigen Fachorganen publizierten Beispiele endet mit der Visualisierung des Messergebnisses und lassen daher die wichtigste Komponente im Rahmen der archäologischen Prospektion – nämlich eine fundierte archäologische Interpretation – vermissen. Eine ähnliche Problematik hat sich bereits im Rahmen der Luftbildarchäologie abgezeichnet (vgl. Kapitel 10.4.6).

Im Prinzip gilt das, was im Rahmen der Luftbildarchäologie zur detaillierten Interpretation gesagt wurde, auch für die geophysikalische Prospektion (vgl. S 271 ff.). Hauptunterschied ist in jedem Fall, dass man im Rahmen der Geophysik mit Messwerten physikalischer Eigenschaften arbeitet, was eine veränderte „Beweisführung“ bei der Interpretation ermöglicht: Ein Interpretationsargument erfolgt nicht aufgrund subjektiv wahrgenommener Farb- oder Helligkeitsunterschiede, sondern basierend auf abrufbaren Messwerten. Wie diese jedoch archäologisch zu deuten sind, hängt wiederum von Vorwissen, Erfahrung aber auch Voreingenommenheit des interpretierenden Archäologen ab.

Für die Interpretation sind geophysikalisches Wissen und eine grundlegende archäologische Kenntnis der in einem Gebiet vorkommenden Strukturen notwendig. Wie bei der Luftbildarchäologie ist die Kommunikation mit den archäologischen Nutzern der Daten von großer Wichtigkeit. Erst durch die Rückmeldung etwa nach einer Ausgrabung kann aufgrund der Zusatzinformation die Interpretation hinterfragt und im Sinne der Hermeneutik das Vorwissen erweitert werden. W. Neubauer spricht in diesem Zusammenhang von einer dynamischen Interpretation (NEUBAUER 2001, 174 ff.). Dieser Zyklus wird jedoch unterbrochen, wenn, wie es häufig der Fall ist, die Prospektionen von Einrichtungen durchgeführt werden, welche ausschließlich im technischen Bereich verwurzelt sind und daher kein Ver-



Abb. 120: Motorisierte Messsysteme des LBI für archäologische Prospektion und virtuelle Archäologie, welche mit Arrays von Caesium- bzw. Fluxgatesensoren und Radarantennen arbeiten (Fotos: Michael Doneus).

ständnis zu archäologischen Fragestellungen haben (ZICKGRAF 1999, 99).

Wie bei allen Prospektionsmethoden eignet sich ein GIS bestens als Interpretationsumgebung (NEUBAUER 2001, 160 ff., 2004; DONEUS, NEUBAUER 1998; BECKER 1996b; LECKEBUSCH 2001, 21). Jedoch kann sich vor allem aus den vom Bodenradar anfallenden 3D-Daten die Interpretation schwierig gestalten. Im GIS kann in der Regel nicht das volle dreidimensionale Potenzial der Daten genutzt werden (GAFFNEY 2008, 329). W. Neubauer et al. umgehen dieses Manko durch das Erzeugen von zahlreichen Schnittbildern, welche nacheinander im GIS interpretiert werden (NEUBAUER et al. 1999, 24 f.). Animationen, welche die Schnittbilder der Reihe nach ablaufen lassen, helfen manche dreidimensionalen Strukturen besser zu erfassen. So konnten bei der Interpretation der Radardaten beim Forum in Carnuntum in der Animation deutlich Treppen oder Schuttkegel erkannt werden.

10.6.4.2 Diskussion

Auch bei der geophysikalischen Prospektion gilt, dass nicht alles, was als materielle Hinterlassenschaft im Boden verborgen liegt, zerstörungsfrei erkundet werden kann. Die Messungen sind zwar prinzipiell wiederholbar, im Sinne eines physikalischen Experiments sind jedoch auch hier zu viele Parameter beteiligt, sodass zwei Messungen bis zu einem gewissen Grad unterschiedliche Ergebnisse erbringen würden. In der Praxis sind mehrfache Messungen einer Fläche jedoch aus finanziellen Gründen kaum ein Thema.

Zahlreiche Entscheidungen sind im Vorfeld einer geophysikalischen Prospektion notwendig. Die zu verwendende Methode, Sensoren, Messanordnung, Messpunktabstand sind vielfach von der Fragestellung, jedoch in der Praxis häufiger von den zur Verfügung stehenden Instrumenten und den finanziellen Möglichkeiten abhängig.

Nicht zuletzt bedarf es der entsprechenden Software, um die gemessene Information auch tatsächlich archäologisch interpretierbar zu machen. Kommerzielle Produkte, die in den seltensten Fällen für archäologische Anwendungen entwickelt werden, bieten oft nicht die benötigten Funktionen. Erfolgreiche Teams schreiben benötigte Software daher in Eigenregie, um eine möglichst reibungslose, weitgehend automatisierte Datenprozessierung zu ermöglichen.

Theoretisch kann man natürlich sehr genaue, hochauflösende, detaillierte Kartierungen der materiellen Hinterlassenschaft herstellen. In der Praxis muss man jedoch allzu häufig situationsbedingt Abstriche machen und Kompromisse eingehen. Häufig ist eine Kombination aus unterschiedlichen Methoden wünschenswert, wobei üblicherweise von den Methoden mit verhältnismäßig rascher Datenaufnahme zu intensiveren Techniken in gezielten Bereichen übergegangen wird. Die Interpretation gerade der kombinierten Methoden bietet in der Folge viele Möglichkeiten, kann aber sehr komplex und zeitaufwendig sein.

In der Kombination unterschiedlicher Methoden hat die Geophysik ein großes Potenzial, archäologische Strukturen umfassend und großflächig zu messen. In den letzten Jahren finden vermehrt Prospektionen statt, welche eine Fundstelle mit unterschiedlichen Sensoren messen. Hier hat sich vor allem eine Kombination aus Magnetik und Bodenradar als sinnvoll erwiesen, da sich beide ergänzen und somit ein großes Repertoire an archäologische Strukturen erfassen können.

Trotz dieser methodischen Stärke, welche die geophysikalische Prospektion für die Landschaftsarchäologie unentbehrlich macht, wird jedoch in fast allen Fällen ausschließlich fundstellenbasiert prospektiert. Dies hat mehrere Gründe, nicht zuletzt ist heute eine geophysikalische

Prospektion mit der Anschaffung von spezialisierten, zum Teil teuren Geräten, einem gewissen logistischen Aufwand sowie einem bisweilen hohen Zeitaufwand verknüpft. Zudem kann man in der Archäologie noch nicht von einem breiten Verständnis und einer grundsätzlichen Einsicht der Notwendigkeit einer großflächigen geophysikalischen Prospektion ausgehen (vgl. Kapitel 11.1.2).

Im Sinne eines optimalen Einsatzes für landschaftsarchäologische Fragestellungen muss man einige Forderungen an die Geophysik stellen: Das wohl wichtigste Desiderat betrifft die Entwicklung verbesserter Methoden der Datenaufnahme, welche es erlaubt, große Flächen mit vertretbarem finanziellen, personellen und zeitlichen Aufwand zu untersuchen. Dabei sollte es das erklärte Ziel sein, die Areale zur Gänze zu messen. Strategien, welche ein Gebiet durch zufällige oder systematische Beprobungsraster erfassen wollen (z. B. GAFFNEY 2009), sollten im landschaftsarchäologischen Kontext vermieden werden.

Für die detaillierte Erfassung großer Gebiete sind neue Entwicklungen im Bereich der Sensoren, Motorisierung und weitgehende Automatisierung der Messung unabdingbar. Die neueste Generation von Caesium-Sensoren kann mit bis zu 100 Hz messen (BECKER 2009, 165), wodurch eine Kombination mit schnellen Zugmaschinen möglich und sinnvoll wird. Mittlerweile gibt es bereits einige Systeme, bei welchem Sensoren von Fahrzeugen geschoben oder gezogen werden. Eine Beschleunigung der Messgeschwindigkeit erfolgt auch durch die zeitgleiche Verwendung mehrerer in einem Array angebrachten Sensoren sowie die gleichzeitige Anwendung unterschiedlicher Methoden. Auch hier gibt es bereits erste Ansätze, die vielversprechend sind. So entwickelt und verwendet das erst vor Kurzem gegründete Ludwig Boltzmann Institut für archäologische Prospektion und virtuelle Archäologie (NEUBAUER et al. 2012) unterschiedliche Kombinationen von Zugfahrzeugen und Arrays von Cäsiumsensoren und Multikanal-Radarantennen (Abb. 120). Dadurch werden momentan bereits tägliche Messleistungen zwischen 2 ha für GPR (0,08 m Rasterweite) und 5–6 ha für Magnetik (0,5 x 0,125 m) erreicht. Es scheint also möglich, größere Flächen bei gleichem zeitlichen Aufwand zu messen und auch die Bereiche außerhalb und zwischen Fundstellen geophysikalisch zu prospektieren.

Um eine Automatisierung zu gewährleisten, bedarf es aber auch einer genauen und vor allem zuverlässigen, kontinuierlichen Positionierung der Sensoren. Diese kann und wird zurzeit bereits über motorisierte Totalstationen oder GPS-Systeme realisiert (LECKEBUSCH 2005; GAFFNEY et al. 2008). Häufig vorkommende Abschattungen (Bäume, größere Gebäude) sowie die je nach Region und Tageszeit unterschiedlichen Konstellationen von sichtbaren Satelliten

bringen jedoch Genauigkeitseinbußen bzw. einen teilweisen Verlust der Georeferenzierung mit sich, was im Rahmen der Prozessierung der Messdaten kompensiert werden muss.

Eine auf diese Weise beschleunigte und großflächig angewandte geophysikalische Prospektion erzeugt täglich große Datenmengen, welche prozessiert, visualisiert, archiviert und interpretiert werden müssen (vgl. BECKER 2009, 164). Es bedarf daher eines optimierten Arbeitsflusses und einer Strategie zur Langzeitarchivierung großer Datenmengen, welche die Entwicklung bzw. Benennung von Standarddatenformaten, einheitliche Datenstrukturen, welche zwischen Rohdaten, bearbeiteten und Enddaten unterscheiden, die Bereitstellung von Metainformationen sowie eine hardwareseitige Archivierungsstrategie integrieren.

Zusätzlich – und das gilt für alle Prospektionsmethoden – sind neue Techniken und Konzepte einer integrierten Interpretation wünschenswert. Denkbar wäre etwa eine dreidimensionale Visualisierung der unterschiedlichen, mit der Topografie verbundenen Daten, gekoppelt mit der Möglichkeit, interaktiv zu interpretieren. Dies würde Interpretationen verlässlicher machen, zumal diese im Kontext mit der Information aus anderen Prospektionsmethoden verifiziert und im Idealfall besser verstanden werden können. Bodenradardaten benötigen ohnehin dreidimensional visualisierende Auswertetechniken, deren Möglichkeiten noch lange nicht ausgereizt sind.

10.7 Chemische Prospektion

Unter den hier besprochenen Prospektionsmethoden kann die chemische Prospektion nicht mit den spektakulären Erfolgen glänzen, welche etwa Luftbildarchäologie, flugzeuggetragenes Laserscanning oder geophysikalische Prospektion so bekannt gemacht haben. Daher führt sie trotz ihrer weit zurückreichenden archäologischen Anwendungen (zuletzt zusammenfassend: SALISBURY 2010, 201–207) häufig ein Schattendasein – zu Unrecht, wie zahlreiche erfolgreiche archäologische Anwendungen zeigen.

Meist wird die chemische Prospektion synonym mit der Phosphatanalyse betrachtet (HERON 2001, 566), welche momentan noch immer die häufigste Anwendung darstellt. Phosphor zählt zu den eindeutigsten Indikatoren menschlicher Hinterlassenschaft (HOLLIDAY, GARTNER 2007, 301). Es gibt jedoch auch andere Anwendungen: In jüngster Vergangenheit versucht man zum Beispiel vermehrt, Bodenproben auf Spuren einer Vielzahl chemischer Elemente zu untersuchen, wobei deren Interpretation oft unsicher ist (HERON 2001, 568). Neben Phosphaten können chemische Elemente, wie Kalzium, Magnesium, Potassium, Blei, Kupfer oder Zink – in Abhängigkeit vom Untersuchungsgebiet – als

Hinweise auf menschliche Aktivitäten gedeutet werden (HOLLIDAY, GARTNER 2007, 302; RIMMINGTON 2000, 199). Auch die Untersuchung von im Boden vorhandenen Lipidmolekülen und Aminosäuren scheint vielversprechend zu sein; vor allem Lipide (Fette) könnten als Biomarker dazu dienen, ehemalige Düngung und Jauchegruben (HERON 2001, 569 f.), aber auch Bestattungsplätze (EVERSHED et al. 2001, 340) und eventuell Schlacht- bzw. Abfallplätze zu erkennen.

10.7.1 Prinzip

Menschliche Aktivitäten führen nicht nur zu mechanischen Veränderungen des Bodens, sie ändern auch den chemischen Bodenhaushalt. Um ein etwaiges Vorhandensein derartiger Veränderungen feststellen zu können und die möglichen zugrunde liegenden Aktivitäten zu erkennen (Siedlungsaktivität, Düngen, Bergbau), bedarf es der chemischen Prospektion (HERON 2001, 565).

Am häufigsten wurde bislang die Phosphatanalyse angewandt (einen aktuellen Überblick zu dieser Methode zeigen HOLLIDAY, GARTNER 2007 und SALISBURY 2010, 208 ff.). Die im Boden vorkommenden Phosphate haben variable Gewichtsanteile, die sich jedoch häufig in der Größenordnung eines halben Promilles zu bewegen scheinen (HERON 2001, 566). Phosphate kommen aber auch in allen Lebewesen vor. Vor allem Fleisch und Fisch, aber auch Exkrementen oder Pflanzen enthalten zahlreiche Phosphate (bei den Exkrementen jedoch in geringeren Dosen). Durch Verarbeitung, Bestattung oder Abfall gelangen sie in den Boden, wo sie je nach pH-Wert und Bodenart rasch sehr stabile Verbindungen eingehen (TAYLOR 2000b, 184). Die von den Pflanzen für ihr Wachstum benötigten verfügbaren Phosphate (*available phosphate*) werden wahrscheinlich hauptsächlich aus organischen Bestandteilen des Bodens (oder Kunstdünger) entnommen (GEISLER 1988, 167). Phosphor häuft sich dadurch mit der Zeit an: Deshalb führen anthropogen zugeführte Phosphate oft zu deutlich erhöhten Gewichtsanteilen – Spuren von längst vergangenen Siedlungsaktivitäten, Bestattungen, Düngen oder auch Asche zeigen somit auch heute noch erhöhte Werte an Phosphor, auch wenn diese durch unterschiedliche Prozesse ihren räumlichen Lagebezug verändert haben können (HOLLIDAY, GARTNER 2007, 302). Dadurch ist es möglich selbst an neolithischen Fundstellen erhöhte P-Konzentrationen zu messen (z. B. WALKER 1992, 67; SALISBURY 2010, 201–207).

Durch Beprobung wird dem Boden Erdmaterial entnommen und dieses durch unterschiedlichste Methoden auf das Vorhandensein unterschiedlicher chemischer Stoffe untersucht. V.T. Holliday und W.G. Gartner erwähnen über 30 unterschiedliche Methoden, die allein für Phosphatanalysen

in der Archäologie Anwendung gefunden haben (HOLLIDAY, GARTNER 2007, 309 ff.). Mitunter lässt sich dabei ein anthropogenes Muster in Form einer bestimmten Zusammensetzung chemischer Elemente erkennen, und wie im Fall der Phosphatanalyse je nach Fragestellung und Beprobung auf ein Siedlungsgebiet, Bestattungen oder landwirtschaftliche Aktivitäten schließen (HERON 2001, 565).

Prinzipiell lassen sich die unterschiedlichen Methoden in mehrere Gruppen einteilen (HOLLIDAY, GARTNER 2007, 312 ff.). Laut Jeremy Taylor verwendet man die totale und die partielle Phosphatanalyse am häufigsten (TAYLOR 2000b, 184). Bei der totalen Analyse wird sowohl organischer als auch anorganischer Phosphor gemessen. Diese Methode ist besser, aber auch schwierig und zeitaufwendiger. Bei der partiellen Analyse werden nur die anorganischen Phosphate gemessen. Die Interpretation der Resultate ist schwieriger, da der Gehalt je nach Alter der Einlagerung, Tiefe, pH-Wert und Bodenfeuchte variieren kann. Eine Standardisierung ist deshalb auch nicht möglich. Dafür gibt es aber schnell durchführbare Tests, welche vor Ort stattfinden können (TERRY et al. 2000). Deshalb hat die partielle Analyse ein großes Potenzial in der Landschaftsarchäologie, da der Aufwand bei der Beprobung vertretbar gering gehalten werden kann (z. B. SALISBURY 2010, 201–207).

Multi-Element-Analysen werden meist mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) durchgeführt (SALISBURY 2010, 214 f.; POLLARD 2007, 195 ff.). Diese Methode erlaubt eine rasche Bestimmung eventuell vorhandener Spurenelemente in einem Feldlabor. Diese lassen Rückschlüsse auf Lage, Ausdehnung und vor allem Art menschlicher Aktivität zu. Aufgrund einer Recherche ethnoarchäologischer und archäologischer Untersuchungen konnte R.B. Salisbury die Beziehung zwischen typischen menschlichen Aktivitäten und auffindbaren Spurenelementen tabellarisch zusammenfassen (SALISBURY 2010, 221–225).

Die Beprobung selbst kann an der Bodenoberfläche stattfinden oder durch Bohrkernextraktion bzw. Schneckenbohren erfolgen. Nur bei der oberflächlichen Beprobung, welche nicht tiefer als ein vorhandener Ap-Horizont reicht, kann man von einer zerstörungsfreien Prospektion sprechen. Chemische Analysen werden auch in Form von In-situ-Beprobung in Grabungen vorgenommen. In diesen Fällen wird sie jedoch nicht als Prospektionsmethode eingesetzt.

In jedem Fall bedürfen die beprobten Böden zuvor einer Analyse, anhand der die prinzipielle Sinnhaftigkeit einer chemischen Prospektion geklärt werden muss. Geomorphologische Verhältnisse (Erosion), aber auch Landnutzung (Tiefpflügen) sind dabei wichtige Faktoren

(HOLLIDAY, GARTNER 2007, 327; LIENEMANN 2003, 497). Die Maßstäbe, in welchen die chemische Prospektion angewandt wird, sind höchst unterschiedlich (HERON 2001, 566) und reichen von großen Gebieten mit systematischer Beprobung (alle 5–50 m, um ehemalige landwirtschaftliche Nutzung zu kartieren) bis zur kleinräumigen Probenentnahme, um etwa die Funktion von Gebäuden (entweder auf einer Grabung oder nach zuvor erfolgter geophysikalischer Prospektion) zu analysieren (LIENEMANN 2003).

10.7.2 Methodische Probleme der chemischen Prospektion

Es gibt keine universell anwendbare Standardmethode. Da jeder Boden eine eigene chemische Zusammensetzung aufweist, benötigt jede Region eine auf die entsprechende Fragestellung zugeschnittene Methode (OONK 2009, 118). Entsprechend schwierig gestaltet sich die Interpretation der Analyseergebnisse (HERON 2001, 565). Wichtig ist dabei, dass der chemische Hintergrund bekannt ist, d. h. man benötigt gezielte Proben aus einem archäologisch ungestörten Bereich (OONK 2009, 41). Voraussetzung einer Vergleichbar-

keit ist jedoch die Anwendung derselben Methode bei Probenentnahme und Analyse (HOLLIDAY, GARTNER 2007, 326).

Moderne Aktivitäten führen zu einer Maskierung archäologisch relevanter Anomalien. Hauptproblem ist deshalb die Unterscheidung zwischen einer archäologisch relevanten und einer anderweitigen modernen (Kunstdüngung, Bodenart, moderne Viehhaltung) oder natürlichen Anomalie (TAYLOR 2000b, 182). Die Deutung des Ergebnisses hängt von vielen Faktoren ab. Unter anderem ist die pedologische Situation von Bedeutung. Sie ist dafür verantwortlich, ob sich archäologisch relevante chemische Eigenschaften überhaupt messbar sein können: „The confidence with which an anthropogenic signal can be separated from natural variation in the soil matrix remains a critical factor” (HERON 2001, 570). Dazu kommt noch, dass es ohne zusätzliche Information nicht möglich sein dürfte, etwa Düngespuren einer bestimmten Zeit zuzuordnen zu können.

Die Wahl des Beprobungsrasters ist eine weitere Problematik, da die natürliche Variabilität etwa des Phosphatgehalts bei zu großen Abständen nicht mehr von lokalen

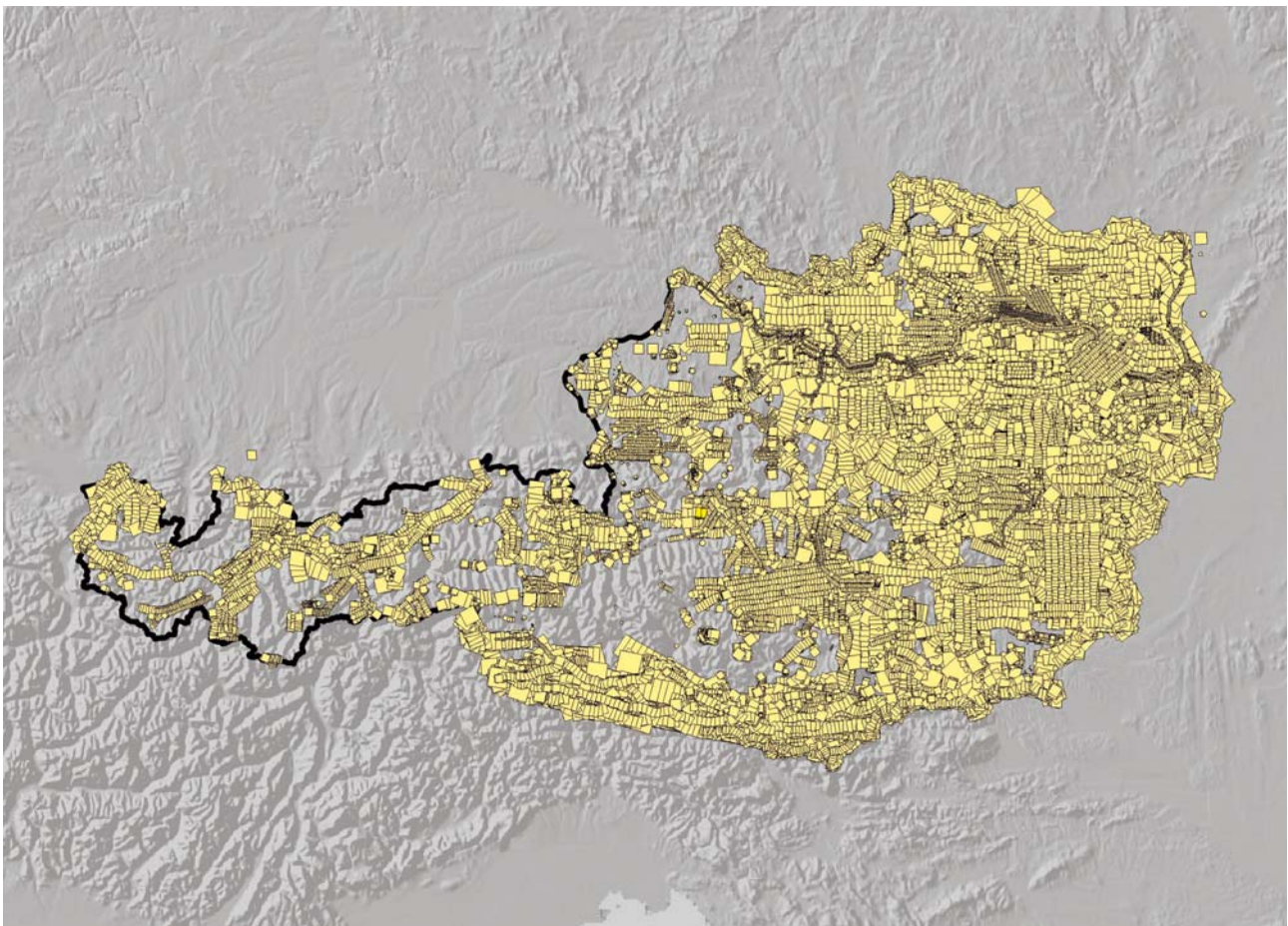


Abb. 121: AERLOC – aktueller Bestand an Luftbildern am Luftbildarchiv (Grafik: Michael Doneus).

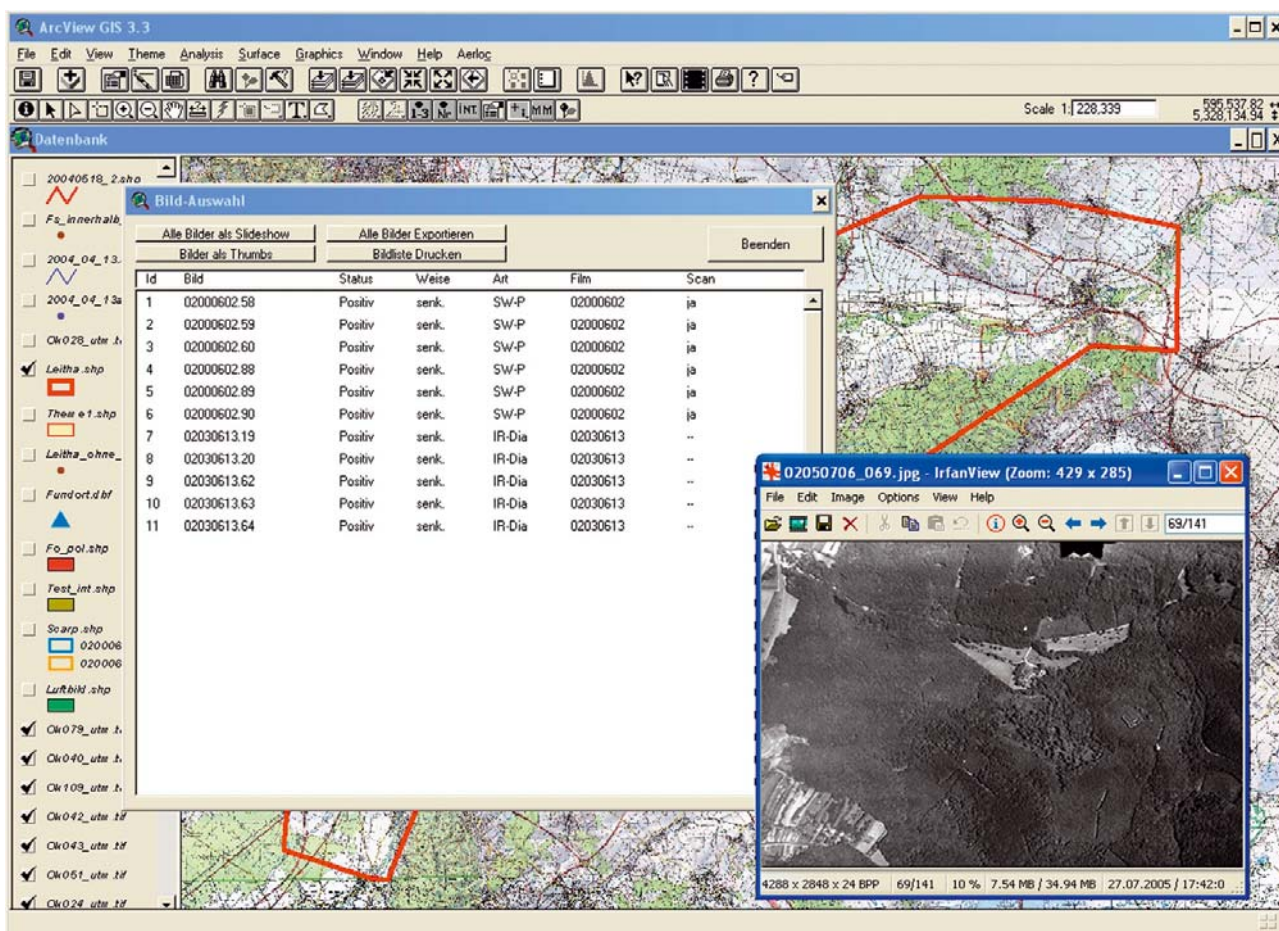


Abb. 122: AERLOC – Auswahl von Luftbildern (Grafik: Michael Doneus).

Konzentrationen unterschieden werden kann. Dort, wo der chemische Hintergrund über größere Gebiete einheitlich ist, stellt dies kein Problem dar (z. B. in manchen Bereichen Skandinaviens: THURSTON 2001, 185 ff.). Auch die Beprobungstiefe bedarf eingehender Überlegungen, da einerseits nicht unterhalb der anthropogen zugeführten Phosphatprobe beseitigt werden soll. Andererseits werden diese unter Umständen innerhalb des Bodenprofils nach unten ausgewaschen. In jedem Fall bedarf es zur Abschätzung eines geomorphologischen Herangehens: Bei einer weitgehend stabilen Oberfläche gibt Jeremy Taylor (TAYLOR 2000b, 186) an, dass eine Beprobung innerhalb des Ap-Horizontes sinnvoll sei, eine Mindestdiefe von 0,15 m jedoch eingehalten werden sollte.

Chemische Surveys werden daher nicht von anderen archäologischen Untersuchungen isoliert durchgeführt – zu groß wäre die Gefahr, zu Fehlinterpretationen zu kommen. Ein vorgebrachter Kritikpunkt war deshalb, dass Phosphatanalysen bislang nicht viel gebracht hätten – wenn sie überhaupt von Nutzen gewesen seien, dann hätten sie in der Regel bereits bestehende Fundstellen-Interpretationen

bestätigt (BETHELL, MÁTÉ 1989, 17). Dem widersprechen jedoch die zahlreichen erfolgreichen Anwendungen, welche in unzähligen Beispielen publiziert sind; darunter auch erfolgreiche archäologische Neuentdeckungen (z. B. THURSTON 2001, 185 ff.; OONK 2009; SALISBURY 2010).

10.8 Archivierung

Für eine systematische Aufnahme der materiellen Hinterlassenschaft und der Prospektionsdaten bedarf es auch eines entsprechenden Aufnahmesystems, bei dem die Qualität der Daten (vor allem in Bezug auf Lage und Datierung) mit erfasst werden muss, um eine Vergleichbarkeit im Rahmen diverser Analysen zu ermöglichen (vgl. HOLDERMANN et al. 2007, 54). Holdermann et. al. haben im Rahmen eines Pilotprojektes zur Erfassung bekannter und unbekannter Bodendenkmäler im Montafon und Klostertal Vorarlbergs, ein entsprechendes Aufnahmesystem benutzt (HOLDERMANN et al. 2003). Als schwierig erweist sich die Verarbeitung alt publizierter Fundstellen, die zum Teil – falls überhaupt – nur schwer in einer einheitlichen Qualität erfassbar sind. Angaben zu deren Lage variieren zum Beispiel von einer

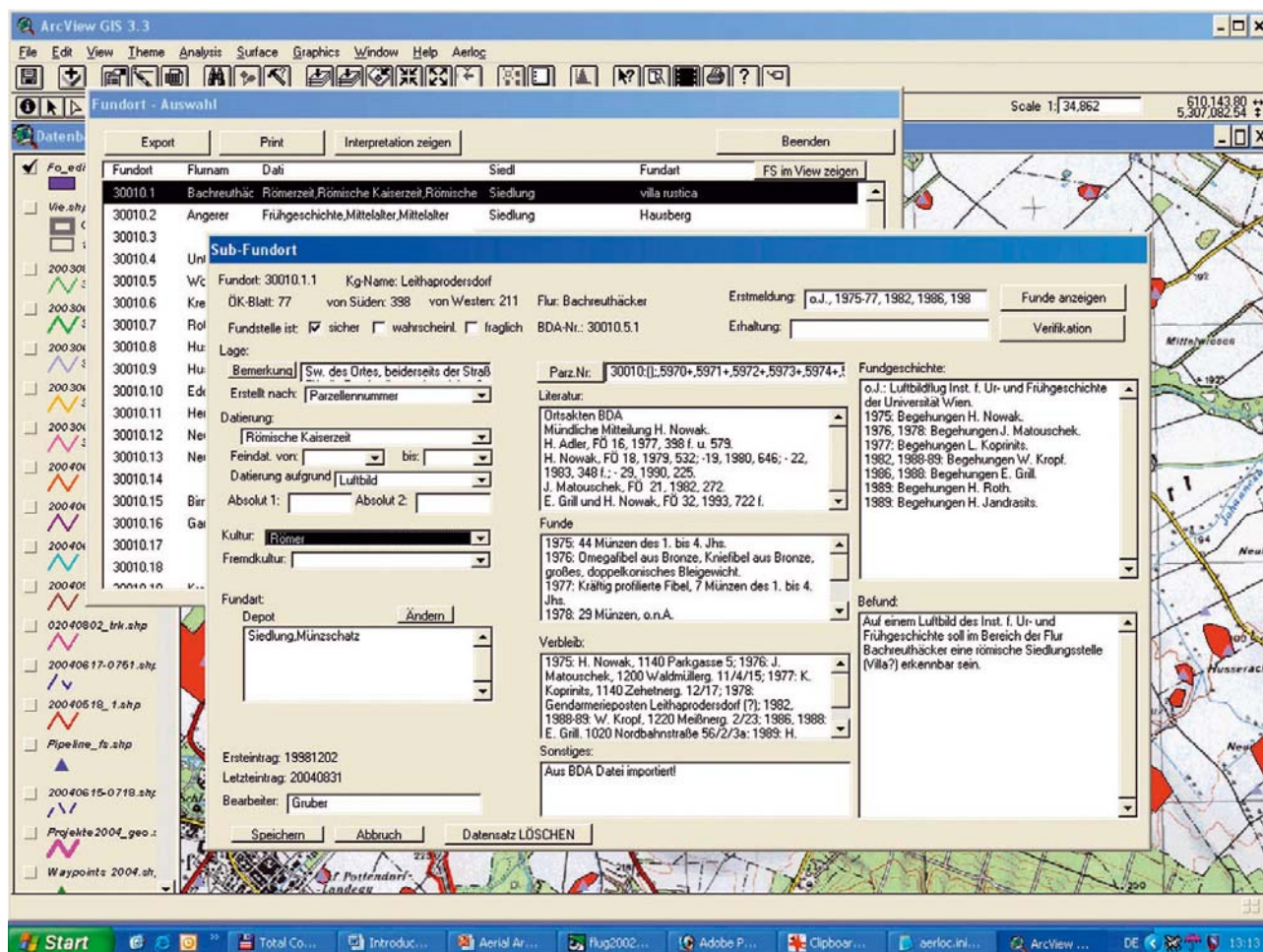


Abb. 123: AERLOC-Eingabemaske für eine Fundstelle (Grafik: Michael Doneus).

Kartierung in extrem kleinmaßstäblichem Rahmen, über die Nennung der Flur, bis zu der in der Österreichischen prähistorischen Archäologie lange praktizierten Angabe von Rechts- und Hochwert des entsprechenden Blattes der ÖK 1:50.000 in Millimetern. Durch die Umstellung dieser Karte auf das UTM-Koordinatensystem haben sich jedoch Blattnummerierung und Blattschnitt geändert. Neuerdings werden auch mit dem GPS (Global Positioning System) ermittelte Positionen angegeben. Fundstellen mit nur ungenügend genauer Lageangabe entziehen sich weitgehend der weiteren Erforschung und lassen sich kaum in ein geografisches Informationssystem (GIS) übernehmen, mit dessen Hilfe man in der Folge weitere Analysen durchführen sollte.

Als Grundlage für die Erfassung der Fundstellen sowie für die Weiterverarbeitung der Daten im GIS dient am Luftbildarchiv des Instituts für Ur- und Frühgeschichte die Datenbank AERLOC (DONEUS, MAYER 2001). Diese eigens programmierte Datenbank ist im geografischen Informationssystem ArcView 3.3 integriert. Als zentrale Schnittstelle im Luftbildarchiv des Instituts für Ur- und

Frühgeschichte wird sie ständig erweitert, indem alle (Luftbild-)archäologisch relevanten Daten (Filme, Luftbilder und Fundstellen) verwaltet werden. Das System besteht aus mehreren einzelnen Datenbanken, die verschiedene Informationen enthalten und miteinander verknüpft sind. Im Einzelnen handelt es sich dabei um Datenbanken zu den Befliegungen, den einzelnen Luftbildern, archäologischen Fundstellen und archäologischen Begehungen. Durch die Einbindung in ein GIS können auch die detaillierten Interpretationen sämtlicher Prospektionsmethoden integriert und abgefragt werden.

Die zentrale Datenerfassung ist jedoch im Sinne des Luftbildarchivs selbst strukturiert. Dies liegt vor allem an der Quantität, da mehreren Hundert geophysikalischen Messungen und Begehungen etwa 110.000 Luftbilder gegenüberstehen. Im Bereich der Luftbilder wird zwischen einer Film- (Befliegungs-) Datenbank und einer Bilddatenbank unterschieden. Die Filmdatenbank enthält unter anderem Angaben zu den einzelnen Befliegungen wie Filmnummer, Aufnahmedatum, Kamera- und Filmtyp,

Wetterlage oder Informationen zum Copyright. Jede Befliegung erhält eine individuelle Filmnummer, welche sich aus Jahr und Monat der Befliegung sowie einer fortlaufenden Zahl zusammensetzt.

In der eigentlichen Luftbilddatenbank ist jedes Luftbild durch eine eindeutige Nummer, die sich aus der Filmnummer und der daran angehängten Bildnummer zusammensetzt, gekennzeichnet. Darüber hinaus wird in dieser Datei die geografische Ortsangabe zu den einzelnen Bildern in unterschiedlichen Bezugssystemen (WGS84, Gauß-Krüger, Millimeter auf ÖK) gespeichert. Bildmaßstab, die abgedeckte Fläche, Stichwörter zum Bildinhalt und Fundortsnummern – sofern das Bild archäologische Fundstellen abbildet – sind ebenfalls in dieser Datenbank eingegeben. Derzeit umfasst diese Datei etwa 110.000 Luftbilder (Abb. 121).

Über die grafische Benutzeroberfläche des GIS lassen sich die Bilder auswählen, indem man entweder auf die dargestellte Karte klickt oder einen Bereich als Polygon auswählt. Die bereits gescannten bzw. mit digitaler Kamera aufgenommenen Luftbilder können bei Bedarf auch sofort angezeigt werden (Abb. 122).

Zu den archäologischen Fundstellen existieren zwei Datenbanken. Die Fundstellen-Datenbank beinhaltet die geografische Verortung sowohl von bereits verifizierten Fundstellen als auch von in den Luftbildern als archäologisch interessant eingestuften Bereichen, die noch einer Verifikation bedürfen. Den Grad der archäologischen Relevanz dieser Bereiche zeigt eine 4-stufige Skala an: 0 (keine Fundstelle), 1 (potenzielle Fundstelle, aber fraglich), 2 (potenzielle Fundstelle) und 3 (verifizierte archäologische Fundstelle). Im Falle einer Einstufung mit den Werten 1 oder 2 sprechen wir von potenziellen Fundstellen.

Jeder Eintrag erhält eine eindeutige Identifikationsnummer, die sich aus der offiziellen 5-stelligen Nummer der Katastralgemeinde (KG) und einer fortlaufenden Nummer zusammensetzt (z. B. 42007.1). Falls ein Luftbild vorhanden ist, wird eine stichwortartige Beschreibung der erkannten Merkmale (visuelle Bildinterpretation) in dieser Datei mit abgespeichert. Zusätzlich enthält jede Fundstelle Angaben zu Flurname, Parzellennummer, Kategorie der Struktur (Siedlung, Bestattung, Depot, Einzelfund, Landschaft, Verkehr, Kult, Militär, Industrie), Datierung, Fundgeschichte, Funden und eventuell vorhandener Literatur.

Die Genauigkeit der Lageangabe wird ebenfalls eingegeben: Die Angabe kann durch Vermessung, Luftbildinformation, MM auf ÖK, Flurname oder Ortsname erfolgt sein. Für die weitere Auswertung im GIS können meist nur Fundorte, deren Lage aufgrund von Vermessung oder MM auf ÖK bekannt war, verwendet werden.

Die zweite Datei beinhaltet die einzelnen funktional-chronologischen Einheiten der Fundstellen (Abb. 123). Sie baut auf der Datenbank der Fundstellen auf und beinhaltet die durch andere Prospektionsmethoden (v.a. Oberflächenbegehungen) oder Ausgrabungen verifizierten Phasen und Kategorien der Strukturen der einzelnen Fundstellen. Jede chronologische Phase (z. B. Frühbronzezeit) und jede Kategorie (Siedlung, Bestattung, etc.) einer Fundstelle hat einen eigenen Eintrag und ist über die Fundstellennummer mit der Fundstellen-Datenbank verknüpft. Die eindeutige Identifikation ergibt sich über die Fundstellennummer und eine angehängte fortlaufende Nummer (z. B. 42007.1.1). Somit lassen sich sehr einfach sämtliche archivierte funktional-chronologische Einheiten von Fundstellen eines Fundortes oder einer KG ausfindig machen. Ähnlich wie bei den Luftbildern ist natürlich auch eine Auswahl über die grafische Benutzeroberfläche des GIS möglich.

Im Moment werden die archivierten Bildbestände – sofern sie nicht bereits mit digitalen Kameras aufgenommen wurden – systematisch digitalisiert. Die Filme werden dabei über einen fotogrammetrischen Scanner (Vexcel UltraScan 5000) mit automatischer Rollfilmeinheit in hoher Auflösung (15 µm) gescannt. Die mittels MrSID-Algorithmus komprimierten Bilder sind ebenfalls in die Datenbank integriert. Dies wird über ein vorgegebenes Verzeichnissystem realisiert. So finden sich die digitalisierten Bilder eines Filmes in einem Verzeichnis, welches nach der Filmnummer benannt ist. Da das Basisverzeichnis, in welchem die Filme und Bilder gespeichert werden, frei gewählt werden kann, ist das Archivierungssystem prinzipiell mobil. Im Moment sind etwa zwei Drittel aller Luftbilder in hoher Auflösung digitalisiert.

Liegen Entzerrungen der Luftbilder vor, so werden diese ebenfalls in einer eindeutigen Verzeichnisstruktur gespeichert und können von der Datenbank aus ins GIS geladen werden. Die darauf erfolgenden Interpretationszeichnungen werden wiederum im Verzeichnissystem an eindeutigen Stellen gespeichert (in einem Verzeichnis mit dem Namen der Fundstelle). Dies hat den Vorteil, dass Interpretationen über die Datenbank ins GIS geladen werden können. Sie sind aber auch von außen zugänglich, indem man die bereitgestellten Dateien im entsprechenden Verzeichnis aufsucht. Messergebnisse aus geophysikalischer Prospektion, Daten und Fotografien aus Begehungen oder von Funden werden ebenfalls im entsprechenden Verzeichnis der Fundstelle gespeichert.

Für die Langzeitarchivierung der Daten ist gesorgt, indem die Daten täglich auf einem Server gespiegelt und von dort aus in bestimmten Abständen an einen Zweiten, sich in einem anderen Gebäude befindenden Datenserver übertra-

gen werden. Zudem werden sämtliche Daten in bestimmten Zeitabständen auf Bandlaufwerke gesichert. Diese Prozesse funktionieren weitestgehend automatisiert.