

Ermittlung der Mächtigkeit anthropogener Auffüllungen mit Hilfe der Luftbildauswertung

MICHAEL KERTH, ANDREAS LAMPE, BERND LUBIENETZKI, HARALD MARK

Die Auswertung historischer Luftbilder ist bei der flächendeckenden Erhebung von Ablagerungen und Altstandorten mittlerweile Standard. Stereoskopisch auswertbare Luftbilder bieten auch Informationen in der dritten Dimension; enthalten alte und neue Luftbilder eindeutig definierte Geländefestpunkte, können flächendeckende Informationen über die Mächtigkeit anthropogener Auffüllungen gewonnen werden. An Beispielen wird gezeigt, welche technischen und wirtschaftlichen Vorteile sich bei Baumaßnahmen ergeben.

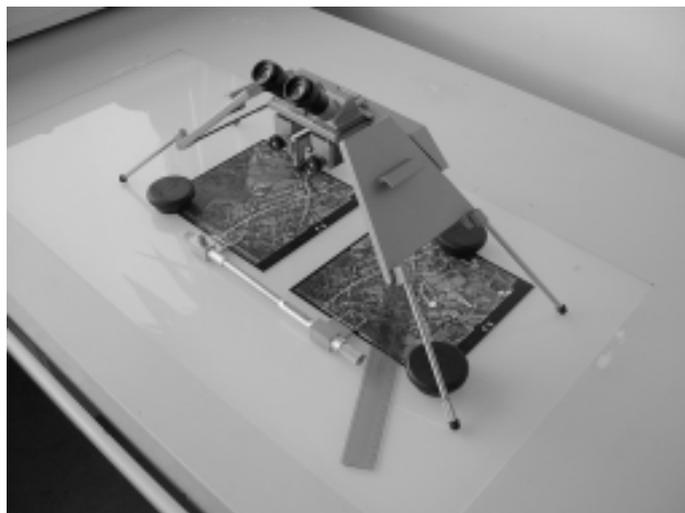
Bei flächendeckenden Erhebungen von Ablagerungen und Altstandorten sowie bei standortbezogenen Recherchen ist die Auswertung historischer Luftbilder heute als Standardverfahren anzusehen [1, 2]. Ergebnis dieser Auswertungen ist unter anderem die kartographische (zweidimensionale) Darstellung des Gebäude- und Anlagenbestandes und die Umgrenzung und Kategorisierung der erhobenen Ablagerungen.

Stereoskopisch auswertbare Luftbilder bieten darüber hinaus auch Informationen zur „dritten Dimension“. Nachfolgend wird gezeigt, dass sich mit Hilfe der Luftbildauswertung in vielen Fällen flächendeckende Informationen zur Mächtigkeit anthropogener Auffüllungen gewinnen lassen. Diese sind im Zusammenhang mit einer Vielzahl von Fragestellungen von Bedeutung, wie z. B.

- bei der Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten
- bei der Sanierung von Altdeponien
- bei der Baugrunderkundung von vorgezogenen Flächen
- bei Fragen der Kampfmittelortung und -räumung

In der bisherigen Praxis setzt man zur Ermittlung der Mächtigkeit solcher Auffüllungen örtliche Untersuchungen, vor allem Bohrungen, ein. Darüber hinaus werden geophysikalische Verfahren, vor allem seismische Verfahren, angewandt.

1: Spiegelstereoskop und ein Stereomikrometer als Mindestausstattung für die Ermittlung von Auffüllungsmächtigkeiten



Methodik der Ermittlung von Auffüllungsmächtigkeiten

Grundvoraussetzung zur Ermittlung von Höhendifferenzen in Luftbildern ist die stereoskopische, d. h. räumliche Betrachtungsmöglichkeit der Bilder. Dazu benötigt man ein Stereomodell: Das sind zwei aufeinander folgende Luftbilder einer Reihenmessbefliegung.

Das instrumentelle räumliche Sehen in einem solchen Bilderpaar beruht auf der Existenz von Parallaxen. Ein Geländepunkt weist in den beiden Luftbildern unterschiedliche Distanzen zum jeweiligen Bildhauptpunkt auf. Die Differenz dieser Distanzen bezeichnet man als absolute Parallaxe, die mit einem Lineal bestimmt werden kann.

In absolut ebenem Gelände wären die absoluten Parallaxen aller Bildpunkte gleich. In reliefiertem Gelände unterscheiden sich die absoluten Parallaxen, je nachdem ob der Geländepunkt oberhalb oder unterhalb der Bezugsebene liegt. Diese Parallaxendifferenzen sind messbar und lassen sich mit einem Stereomikrometer im Stereomodell ermitteln. Zur Minimierung von Messfehlern sollte jeder Punkt unbedingt mehrmals angemessen werden.

Zur Berechnung von Höhendifferenzen im Gelände benötigt man darüber hinaus noch die Flughöhe, die normalerweise den Nebenabbildungen des Luftbildes zu entnehmen ist. Sind lediglich der Maßstab und die Kammerkonstante (Brennweite) des Objektivs genannt, lässt sich die Flughöhe daraus berechnen. Ist die Flughöhe nicht zu ermitteln, wie es bei den Luftbildern aus

den Befliegungen der alliierten Streitkräfte im Zweiten Weltkrieg überwiegend der Fall ist, kann auch keine Berechnung von Höhendifferenzen stattfinden.

Mit den oben Genannten Parametern ist es nun möglich, die Höhendifferenz zweier benachbarter Geländepunkte zu berechnen. Ein Bezug der gemessenen relativen Höhen zu absoluten Höhen über Meereshöhe lässt sich herstellen, wenn sich die in topographischen Karten verzeichneten Höhenpunkte der unmittelbaren Umgebung eindeutig in den Luftbildern wiederfinden lassen. Sie lassen sich dann praktisch als Referenzpunkte nutzen. In historischen Luftbildern ist dies allerdings dann problematisch, wenn sich die Geländemorphologie stark verändert hat.

Für die Bestimmung von Ablagerungsmächtigkeiten in Luftbildern ist es vorteilhaft, die ursprüngliche Topographie aus älteren Luftbildern zu kennen, um eine optimale Auswahl zu messender Geländepunkte zu gewährleisten.

Erforderliche Geräteausstattung

Um Höhendifferenzen in Luftbildern zu bestimmen, sind folgende Mindestanforderungen der Geräteausstattung zu erfüllen (**Bild 1**):

- zur notwendigen stereoskopischen Betrachtung der Luftbilder ist ein Spiegelstereoskop unerlässlich
- darüber hinaus ist ein Stereomikrometer erforderlich, um die Parallaxendifferenzen exakt zu ermitteln

Komfortabler ist ein Stereokartier- und Umzeichengerät. Es ermöglicht einerseits

die exakte Dokumentation von Lage und Ausdehnung der zu messenden Ablagerung. Andererseits lassen sich mit Hilfe integrierter Messmarken und einer angegliederten Rechneinheit Messung und Berechnung von Höhendifferenzen in einem Arbeitsgang bewerkstelligen.

Die Genauigkeit der Messungen ist zweifellos stark von der fotografischen Qualität der Luftbilder abhängig. Bei entsprechend gutem Luftbildmaterial erlauben die o. g. Geräteausstattungen i. A. Messungen von Höhendifferenzen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ bis 1 m.

Fallbeispiele

Fallbeispiel 1

Für ein 21 ha großes Gebiet im Kreis Lippe, NRW, erfolgte im Rahmen einer Bebauungsplanänderung die Erfassung, Untersuchung und Gefährdungsabschätzung von Verdachtsflächen. Im Rahmen der Erfassung stellte sich heraus, dass in dem betreffenden Gebiet nach dem Zweiten Weltkrieg in erheblichem Umfang Auffüllungen erfolgt waren, um gewerbliche Bauflächen hochwasserfrei zu machen. Im Rahmen der Erfassung wurde dabei mit Hilfe der Luftbildauswertung auch die Mächtigkeit der Auffüllungen ermittelt.

Im Anschluss an die Erfassung erfolgte im Rahmen der Gefährdungsabschätzung ein Bohrprogramm (Kleinrammbohrungen) u. a. im Bereich der Auffüllungen, um hier Mächtigkeit und Zusammensetzung sowie Deponie- und Spurengaskonzentrationen zu ermitteln.

In **Tabelle 1** sind die durch Luftbildauswertung und in den Kleinrammbohrungen (KRB) ermittelten Auffüllungsmächtigkeiten gegenübergestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Messpunkte im Luftbild nicht exakt mit den Ansatzpunkten der Kleinrammbohrungen übereinstimmen.

Luftbild	KRB
Verdachtsfläche 1	
2,5 m	3,0 m
3,0 m	3,2 m
4,5 m	3,7 m
Verdachtsfläche 2	
3,0 m	3,3 m
Verdachtsfläche 8	
3,0 m	3,0 m
3,0 m	2,0 m *)
1,0 m	1,1 m
1,5 m	1,2 m

Tab. 1: Gegenüberstellung der bei der Luftbildauswertung ermittelten Auffüllungsmächtigkeit bei den unterschiedlichen Verdachtsflächen (Altblagerungen) bei Fallbeispiel 1 mit den Befunden der Kleinrammbohrungen (KRB); Anmerkungen: Die Messpunkte im Luftbild stimmen nicht exakt mit den Ansatzpunkten der KRB überein, *): bei dieser Kleinrammbohrung wurde vermutlich aufgefüllter Boden nicht mehr als Auffüllung angesprochen, da er keine Fremdbestandteile (Bauschutt, Glasbruch u. ä.) aufwies

Generell zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der beiden Verfahren. Abweichungen können durch kleinräumigen Wechsel der Mächtigkeit (vor allem, da es sich bei den Auffüllungen teilweise um Hanganschlüpfungen handelt), aber auch durch Ungenauigkeiten beider Verfahren erklärt werden. Im Fall der KRB 8/6 ist anzunehmen, dass hier ein entsprechend der Luftbildauswertung vermutlich aufgefüllter Boden in der Kleinrammbohrung wegen fehlender Fremdbestandteile nicht mehr als Auffüllung angesprochen wurde.

Fallbeispiel 2

Bei der Sanierungsplanung für eine ehemalige Hausmülldeponie im Kreis Lippe, mit einer Fläche von etwa 7,5 ha war die Lage der Deponiebasis zu ermitteln. Bei der Deponie handelt es sich um eine von 1964 bis

1985 verfüllte Tongrube. Die Ermittlung der Lage der Deponiebasis war vor allem im Hinblick auf die Möglichkeit eines Wassereinstaus in der ehemaligen Tongrube und damit für die Anordnung von Sickerwasser-Messstellen und -brunnen von Bedeutung. Pläne und Unterlagen, aus denen die Deponiebasis rekonstruiert werden konnte, standen nicht zur Verfügung.

Zur Ermittlung der Lage der Deponiebasis wurde einerseits eine refraktionsseismische Untersuchung (durch die Thor Geophysik GmbH), andererseits die Luftbildauswertung eingesetzt. Für die Luftbildauswertung stand im vorliegenden Fall ein Luftbild aus der Zeit unmittelbar vor Beginn der Verfüllung zur Verfügung.

Die Luftbildauswertung ergab eine durch den Tonabbau bedingte stark reliefierte Basis der Deponie. Im östlichen Teil ist eine Muldenstruktur vorhanden, die auf einer Höhe von etwa 154 bis 155 m NN liegt. Von hier steigt die Basis treppenförmig (ehemalige Bermen) nach Westen auf ca. 200 m NN an. Bermen und Böschungen sind durch die Luftbildauswertung gut abgrenzbar. Die refraktionsseismische Untersuchung ergibt insgesamt ein ähnliches Bild. Allerdings sind die Bermen und Böschungen in den refraktionsseismischen Messungen nicht zu erkennen.

Nahe dem tiefsten Bereich der Deponiebasis wurde zur Errichtung einer Sickerwasser-Messstelle eine Bohrung abgeteuft, bei der die Deponiebasis bei 158 m NN bei einer Gesamtmächtigkeit von 39 m angetroffen wurde. Die Genauigkeit der Luftbildauswertung liegt für den vorliegenden Fall in einer Größenordnung von ± 1 bis 2 m.

Fallbeispiel 3

Auf einer innerstädtischen Freifläche in Gelsenkirchen war der Neubau eines Baumarktes geplant. Im Rahmen der Planungen wurde auch der Kampfmittel-Räumdienst (KRD) tätig. Die Untersuchungen des KRD erbrachten Hinweise auf Blindgänger, die eine Sondierung und Räumung des Geländes erforderlich machten.

Erste Probebohrungen ergaben, dass das Flurstück anthropogen aufgeschüttet war. Eine Aufschüttung des Geländes nach dem Zweiten Weltkrieg – und somit eine Überdeckung der möglichen Blindgänger mit heterogenem Material – hätte bedeutet, dass eine Abtragung des Geländes bis zur ursprünglichen Bodenoberfläche erforderlich wäre, um die hochsensiblen Suchgeräte des KRD einsetzen zu können. Im Vorfeld der weiteren Planung waren daher folgende Fakten zu ermitteln:

- Bestandszeitraum und Ausdehnung der Aufschüttung
- Volumen des möglicherweise abzutragenden Materials

Zur Klärung der Fragen wertete man historische Luftbilder aus. Dies ergab, dass die Aufschüttung erst nach dem Zweiten Weltkrieg erfolgte, allerdings nur einen Teilbereich des Grundstücks betraf. Damit konnten die Kosten für die Abtragung des aufgeschütteten Materials gegenüber den ursprünglichen Ansätzen deutlich reduziert werden.

Die Erfassung der Ausdehnung der Aufschüttung sowie die Bestimmung der Mächtigkeit durch die Luftbildauswertung ermöglichte die Berechnung des abzutragenden Bodenvolumens. Damit konnte dem Bauherrn als wichtige Entscheidungshilfe eine Abschätzung der vor dem eigentlichen Baubeginn durch erforderliche Bodenbewegungen anfallenden Kosten an die Hand gegeben werden.

Diskussion

Wie die aufgeführten Fallbeispiele zeigen, ist es möglich, durch die Auswertung von historischen und aktuellen Luftbildern die Mächtigkeit anthropogener Auffüllungen mit hinreichender Genauigkeit zu ermitteln. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, frühzeitig und kostengünstig

- die Geometrie und damit das Volumen von Auffüllungen zu erfassen sowie
- Planungsgrundlagen für die Durchführung örtlicher Untersuchungen und für Baumaßnahmen zu ermitteln.

Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist allerdings, dass vom Zeitpunkt der Aufnahmen her geeignete, ste-

reoskopisch auswertbare Luftbilder und sowohl auf den historischen wie auf den aktuellen Luftbildern eindeutig definierte Geländefestpunkte, auf die sich die Höhenmessungen beziehen können, vorhanden sind. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, was der Regelfall sein dürfte, ist die Ermittlung der Auffüllungsmächtigkeit durch Luftbildauswertung als im Vergleich zu anderen Methoden äußerst kostengünstiges Verfahren einzustufen.

Hervorzuheben ist dabei vor allem die Möglichkeit, bei Altablagerungen und Altdeponien im Sinne der TA Siedlungsabfall kostengünstig optimale Ansatzpunkte für Gas- oder Sickerwasserbrunnen zu ermitteln.

Auf Grundlage der Luftbildauswertung können Bohrprogramme in anthropogenen Auffüllungen auch im Hinblick auf die erforderlichen maximalen Bohrteufen und die Gesamtbohrmeter geplant werden. Eine solche Planung kann auch zu einer wesentlichen Verbesserung des Arbeitsschutzes beitragen, da an die erwartete Mächtigkeit angepasste Bohrverfahren gewählt werden können.

Bei Baumaßnahmen lässt sich mit gerin-

gem Kostenaufwand, vor allem aber auch sehr frühzeitig, die Mächtigkeit und das Gesamtvolumen der Auffüllung ermitteln. Diese Informationen können zum Beispiel für die Erarbeitung von Gründungskonzepten, die Abschätzung der durch die Entsorgung der Auffüllung entstehenden Kosten (so weit Informationen zur Zusammensetzung der Auffüllung vorliegen) usw. genutzt werden.

Vor Durchführung aufwendigerer örtlicher Untersuchungen zur Ermittlung der Auffüllungsmächtigkeit ist es aus Sicht der Verfasser daher sinnvoll, zunächst die Möglichkeiten einer entsprechenden Ermittlung durch Luftbildauswertung zu überprüfen. Aus Kostengründen, aber auch Gründen des Arbeitsschutzes, sollte die Luftbildauswertung dabei die „erste Wahl“ sein.

Literaturhinweise:

[1] Dodt, J.; Mark, H.: „Luftbild und Altlasten – Luftbildauswertung in Standortrecherchen rüstungsbedingter Altlast-Verdachtsflächen“, in: *RU-BIN (Wissenschaftsmagazin der Ruhr-Universität Bochum)*, Nr. 2/1993, S. 10-17.

[2] Dodt, J.; Mark, H.: „Zur Bedeutung von Fernerkundungsverfahren für das Flächenrecycling“, in: *Brachflächenrecycling 1*, S. 22-30 (1994).