

Als am 2. Mai 1991 in den neuen Bundesländern die letzten Schranken für zivile Sichtflüge in geringen Höhen gefallen waren, ging ein Ruck durch die archäologische Denkmalpflege: „... endlich freie Sicht von oben“ – wie es Otto Braasch, der Pionier der Luftbildarchäologie, formuliert hat – auf alles, was bislang unsichtbar im Boden verborgen war. Während Bildflüge zumindest für Vermessungszwecke sowie Land- und Forstwirtschaft mit Sondergenehmigungen durchgeführt werden konnten, war der Himmel über der ehemaligen DDR für die Luftbildarchäologie zwischen 1945 und 1991 „Sperrgebiet“. Wie viele Bodendenkmale deshalb fast ein halbes Jahrhundert lang unentdeckt, unbekannt und mithin ungeschützt blieben, zeigt der sprunghafte Anstieg neuer Fundstellen im Freistaat Sachsen. Seit 1991 sowie verstärkt und kontinuierlich seit 1992 kann auch hierzulande Luftbildprospektion betrieben werden. Allein bis 1995 wurden etwa 650 bis dahin „unsichtbare“ Bodendenkmale erstmals beobachtet. Alljährlich sind seitdem neue hinzugekommen – der Erkenntniszuwachs reißt nicht ab.

Ohne die Aufhebung der Flugbeschränkungen hätte sich auch die sächsische Landesvermessung bei Weitem nicht so rasant und breit entwickeln können. Luftbildflüge für die Aufnahme von Digitalen Orthophotos (DOP) – seit 1995 in Schwarzweiß, seit 2005 in Farbe – gehören ebenso zum großen Aufgabenfeld des staatlichen Vermessungswesens wie LiDAR-Befliegungen für die Gewinnung von Digitalen Höhen- und Geländemodellen (DGM) seit 2005. Für die Denkmalpflege waren diese modernen Fernerkundungsmethoden in Verbindung mit der Einführung von Geographischen Informationssystemen (GIS) weitere Quantensprünge: Mussten beispielsweise die Schrägaufnahmen von Fundstellen bis in die 1990er Jahre mühsam auf dem Leuchttisch über Messtischblättern entzerrt werden, sind archäologische Strukturen jetzt auf den farbigen digitalen Orthophotos georeferenziert erkennbar. Mithilfe digitaler Geländemodelle ist es gelungen, in den sächsischen Waldgebieten viele neue obertägige Denkmale aufzuspüren. Davon profitierte vor allem die Montanarchäologie, aber auch mancher Grabhügel und manche Wallanlage würde sich in den Wäldern noch immer unerkant verbergen. Denn nur das, was bekannt ist, kann geschützt werden. Schließlich lassen sich durch den Vergleich von Geländemodellen auch Veränderungen an Bodendenkmalen nachweisen und damit die Voraussetzungen für ein archäologisches Monitoring schaffen.

Das Landesamt für Archäologie Sachsen und das Landesamt für Geobasisinformation Sachsen können auf eine langjährige, fruchtbare Zusammenarbeit zurückblicken. Was die Landesvermessung öffentlich zur Verfügung stellt, hat sich für die Archäologie zu unverzichtbaren Arbeitsinstrumenten entwickelt. Aus dem Alltag der archäologischen Denkmalpflege, insbesondere der Denkmalerfassung und -überwachung, sind Fernerkundungsmethoden nicht mehr wegzudenken. Deshalb ist es uns ein großes Anliegen, die Ergebnisse dieser gewinnbringenden Kooperation einer breiten Öffentlichkeit gemeinsam bekanntzumachen. Der vorliegende, opulent bebilderte Band zeigt in zwei Einleitungskapiteln und anhand einer Vielzahl von Fallbeispielen, wie moderne Fernerkundung und Luftbildarchäologie funktionieren, zudem, wie Landesvermessung und Landesarchäologie seit vielen Jahren eng zusammenarbeiten. Wir danken herzlich allen Mitarbeitenden unserer Häuser, die am Zustandekommen dieses Buches beteiligt waren, freuen uns auf viele weitere Jahre fach- und ressortübergreifender Kooperation und wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen und „Überfliegen“ archäologischer Highlights im Freistaat Sachsen.



Regina Smolnik
Landesarchäologin von Sachsen

Ronny Zienert
Präsident des Landesamtes
für Geobasisinformation Sachsen



Digitale Landesvermessung in 2D und 3D von oben

Luftbildaufnahmen des GeoSN

Im Auftrag des Landesamtes für Geobasisinformation Sachsen (GeoSN) erfolgt regelmäßig eine Befliegung und Aufnahme der Landesfläche des Freistaates Sachsen. Die dabei erzeugten Luftbildaufnahmen bilden eine unverzichtbare Datengrundlage sowohl im GeoSN für die Herstellung von „Digitalen Orthophotos“ (DOP) und Topographischen Karten als auch für viele andere Fachbehörden im Freistaat, wie unter anderem das Landesamt für Archäologie (LFA) Sachsen. Durch die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten sind die Luftbildaufnahmen bei Behörden, in der Wirtschaft sowie bei Bürgerinnen und Bürgern gleichermaßen sehr gefragt.

Aufgrund des steigenden Interesses der Nutzer an aktuellen und schnell verfügbaren Daten beauftragt das GeoSN seit 2021 jährlich die Befliegung und Aufnahme von ca. 50 % der Landesfläche. Dabei werden festgelegte Gebiete in Ost-West- bzw. West-Ost-Richtung beflogen. Die so gewonnenen Luftbilder zeigen ein naturgetreues Abbild der erfassten Landschaft aus der Vogelperspektive. Je nach verwendetem Kamertyp variiert die Flughöhe im Bereich von 3000 bis 5000 m, damit eine Bodenauflösung von 20 cm und eine Längs- und Querüberdeckung von aktuell 80 und 60 % erreicht wird (Abb. 1). Dies bewirkt, dass im DOP Fassadenansichten bei Aufnahmen aus der Luft kaum zu sehen sind.

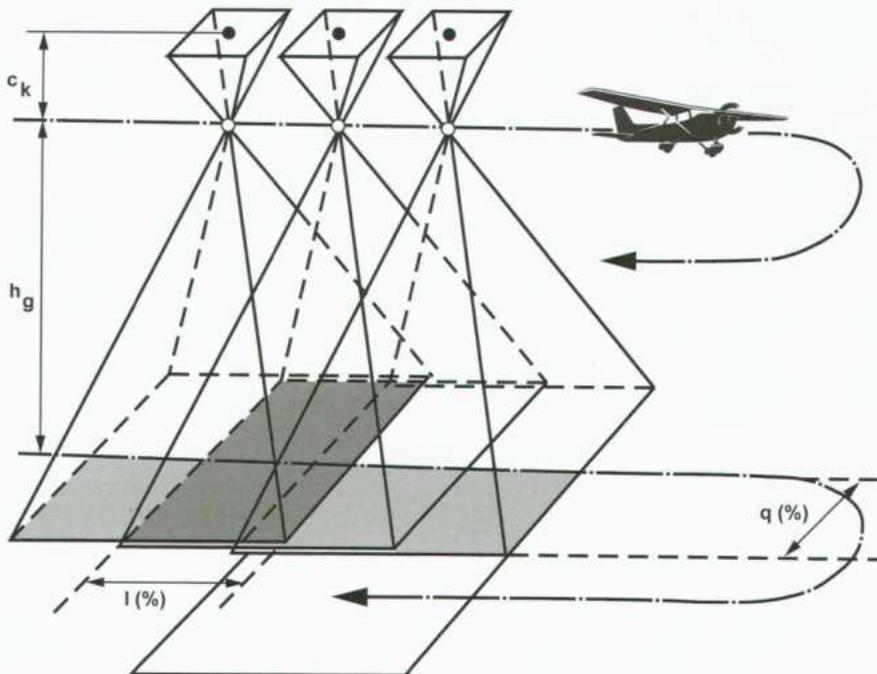


Abb. 1. Schematische Darstellung der Bildflugaufnahmen. c_k – Kamerakonstante; h_g – Flughöhe über Grund; l – Längsüberdeckung; q – Querüberdeckung.

Luftbilder

Als Luftbilder werden im Bereich der Landesvermessung die konkreten Einzelaufnahmen aus dem Flugzeug bezeichnet. Werden die Luftbilder zu einem Bildmosaik zusammengefügt und in die Ebene entzerrt, handelt es sich um Digitale Orthophotos.

Darüber hinaus erlauben benachbarte Luftbilder mithilfe 3D-fähiger Endgeräte eine stereoskopische Betrachtung des überlappenden Gebietes, wobei ein räumlicher Eindruck des Geländes und der abgebildeten Objekte vermittelt wird. Die Technologie wird genutzt, um dreidimensionale Auswertungen, wie z. B. die Bestimmung von Gelände- und Objekthöhen, vornehmen zu können (Abb. 2).





Abb. 2. Stereoskopische Luftbildauswertung am Stereo-Arbeitsplatz im GeoSN.

Digitale Orthophotos

Digitale Orthophotos sind in die Ebene entzerrte, georeferenzierte Luftbilder. Dabei erfolgt die Projektion der Luftbilder über ein „Digitales Geländemodell“ (DGM) der Erdoberfläche (Abb. 3). Dies ist notwendig, da die unterschiedlichen Geländehöhen bei der Aufnahme des Bildes zu verschiedenen Abbildungsmaßstäben im Luftbild führen. Im Ergebnis können in einem DOP Entfernungen wie in einer Karte gemessen werden.

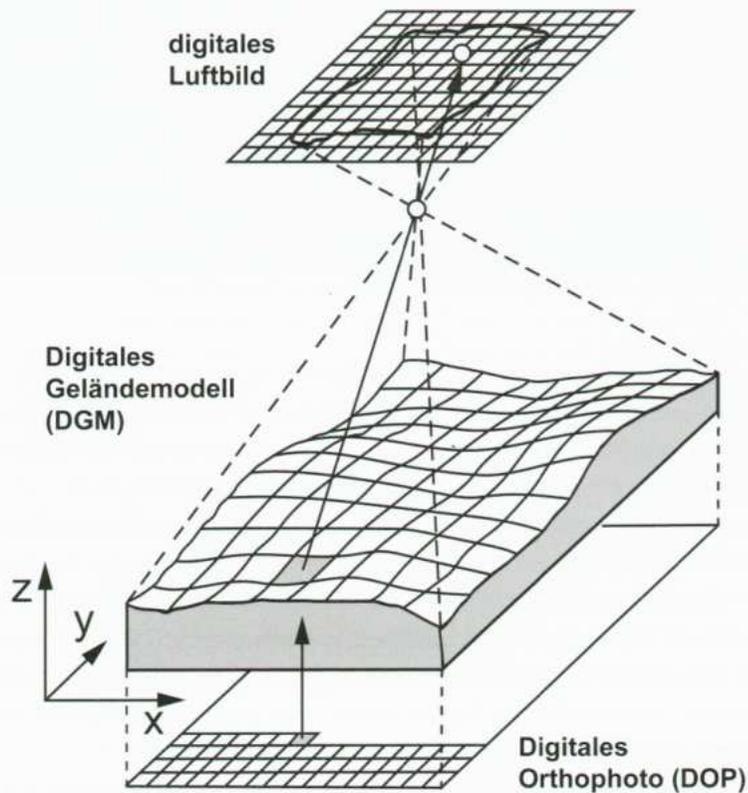


Abb. 3. Entzerrung von Luftbildern zur Herstellung von DOP.



Abb. 5. a Brücke vor der Korrektur; b Brücke nach der Korrektur.

tionssystem einbinden oder sich die DOP über das Geoportal Sachsenatlas anschauen. Die aktuellen Roh-DOP und Standard-DOP können zudem bei Bedarf auch als offene Daten über die GeoSN-Internetseiten heruntergeladen werden.

Die DOP sind stets aktuell, georeferenziert – also räumlich verortet – und für den gesamten Freistaat Sachsen verfügbar. Sie eignen sich hervorragend als Hintergrundinformation zur generellen Verortung der eigenen Daten oder als Erfassungsgrundlage für die eigene Fachanwendung. Beispielsweise werden die Digitalen Orthophotos durch das LfA Sachsen gesichtet, da in bestimmten DOP je nach Bewuchs und Trockenheit auf den landwirtschaftlichen Flächen Konturen archäologischer Stätten erkennbar sein können. Jedoch zeigen sich über die Jahre die archäologischen Strukturen nicht bei jeder Befliegung (Abb. 6; 7).



Abb. 6. Kyhna bei Wiedemar, Lkr. Nordsachsen. Auf dem DOP 2018 sind die archäologischen Strukturen gut erkennbar.



Abb. 7. Kyhna bei Wiedemar, Lkr. Nordsachsen. Auf dem DOP 2021 sind die archäologischen Strukturen nicht erkennbar.

Historie der Luftbildaufnahmen des GeoSN

Luftbildaufnahmen zur Herstellung von Digitalen Orthophotos werden seit 1995 durch das GeoSN beauftragt. Nähere Informationen zu den jeweiligen Bildfluggebieten und den Aufnahmedaten der historischen DOP finden sich auf den GeoSN-Internetseiten.

► Bildflüge 1995–2004

Die Luftbilder der Jahre 1995–2004 wurden mit analogen Kameras aufgenommen und stehen lediglich in einem Graustufenbild als Schwarz-Weiß-Orthophotos zur Verfügung. Sie wurden nachträglich digitalisiert. Die DOP weisen eine Bodenauflösung von 40 bzw. 25 cm (ab 2002) auf (Abb. 8; 9).

► Bildflüge 2005–2020

2005 wurde das gesamte Gebiet des Freistaates Sachsen erstmals mit digitalen Kameras im sichtbaren Bereich sowie im Infrarotbereich aufgenommen. Daraus wurden Farb- und Infrarot-DOP erstellt. Ab 2006 wurde jedes Jahr ca. ein Drittel der Fläche des Freistaates Sachsen befliegen. Aus drei aufeinanderfolgenden Jahren können somit flächendeckende Datenscheiben gebildet werden. Seit 2010 stehen die DOP zusätzlich als 4-Kanal-Bild in Rot-Grün-Blau-Infrarot zur Verfügung (Abb. 10; 11).



Abb. 8. Schwarz-Weiß-DOP 1995–2000, Markkleeberger See, Lkr. Leipzig.

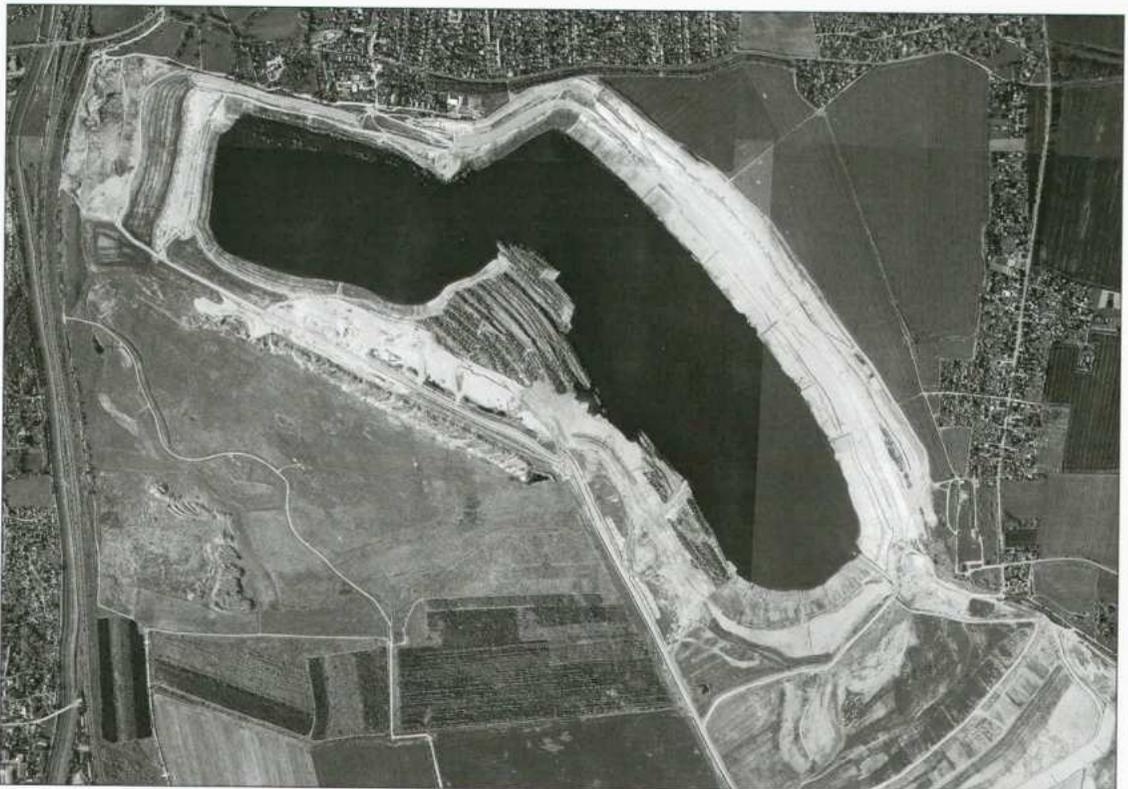


Abb. 9. Schwarz-Weiß-DOP 2000–2004, Markkleeberger See, Lkr. Leipzig.

Laserscanner-Messaufnahme und Höhenmodelle des GeoSN

Um Digitale Orthophotos sowie Digitale Höhen- und 3D-Stadtmodelle zu erstellen, wird die Erdoberfläche mittels Laserscanner-Messaufnahmen durch vom GeoSN beauftragte Firmen erfasst. Diese verwenden mit LiDAR (*Light Detection and Ranging*) einen Scanner, mit dem durch regelmäßiges Aussenden von Lichtwellen der Abstand zur Erdoberfläche ermittelt wird. Diese flugzeuggestützten Messaufnahmen finden in ca. 1000 m Höhe statt.

Da die Position des Flugzeugs durch die satellitengestützte Positionsbestimmung und ein zusätzliches Trägheitsnavigationssystem bekannt ist und die Ausrichtung des Scanners bei jedem Laserimpuls genau registriert wird, können Höhe und Lage der Messpunkte auf der Erdoberfläche per Laufzeitmessung des Lichtstrahls exakt bestimmt werden (Abb. 13). Kurzfristig auftretende, ungewollte Flugzeugbewegungen werden über eine Stabilisierungsplattform am Lasersystem ausgeglichen.

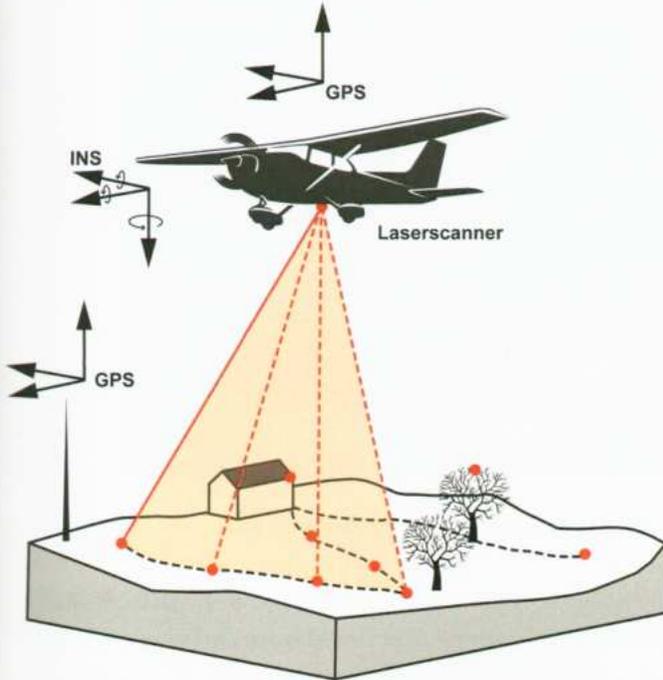


Abb. 13. Messprinzip bei der Laserscanner-Messaufnahme. GPS – globales Positionsbestimmungssystem; INS – inertiales Navigationssystem (Trägheitsnavigationssystem).

Wird vom ausgesendeten Laserstrahl nur ein reflektiertes Signal erkannt, handelt es sich um eine Einfachreflexion (*Single Echo*) von undurchdringbaren Flächen wie Bodenflächen oder Gebäuden. Je nach Objektgröße und -struktur können, unter anderem bei Vegetation, mehrere Echos pro reflektiertem Laserstrahl auftreten, von denen bei der Mehrfachreflexion besonders das erste (*First Echo*) sowie das letzte Signal (*Last Echo*) für die weitere Auswertung relevant sind (Abb. 14). Ein *Single Echo* ist zudem immer zugleich ein *First* und ein *Last Echo*. In einem halbautomatisierten Prozess werden die Laserscandaten in Boden- und Nichtbodenpunkte unterschieden.

Die Laserscanner-Messaufnahme erfolgt in der Regel in vegetationsarmen Monaten sowie bei Schneefreiheit, um die Bodenoberfläche bestmöglich detektieren zu können. Die Befliegung wird analog zur Luftbildaufnahme in West-Ost- bzw. Ost-West-Richtung durchgeführt. Die erfasste Laserscannerpunktswolke setzt sich aus mehreren Flugstreifen pro Teilstück zusammen. Um Lücken in der Punktswolke zu vermeiden, weisen die Flugstreifen in der Regel eine Überlappung von mindestens 100 m auf.

Die Laserscanner-Messaufnahme erfolgt in der Regel in vegetationsarmen Monaten sowie bei Schneefreiheit, um die Bodenoberfläche bestmöglich detektieren zu können. Die Befliegung wird analog zur Luftbildaufnahme in West-Ost- bzw. Ost-West-Richtung durchgeführt. Die erfasste Laserscannerpunktswolke setzt sich aus mehreren Flugstreifen pro Teilstück zusammen. Um Lücken in der Punktswolke zu vermeiden, weisen die Flugstreifen in der Regel eine Überlappung von mindestens 100 m auf.

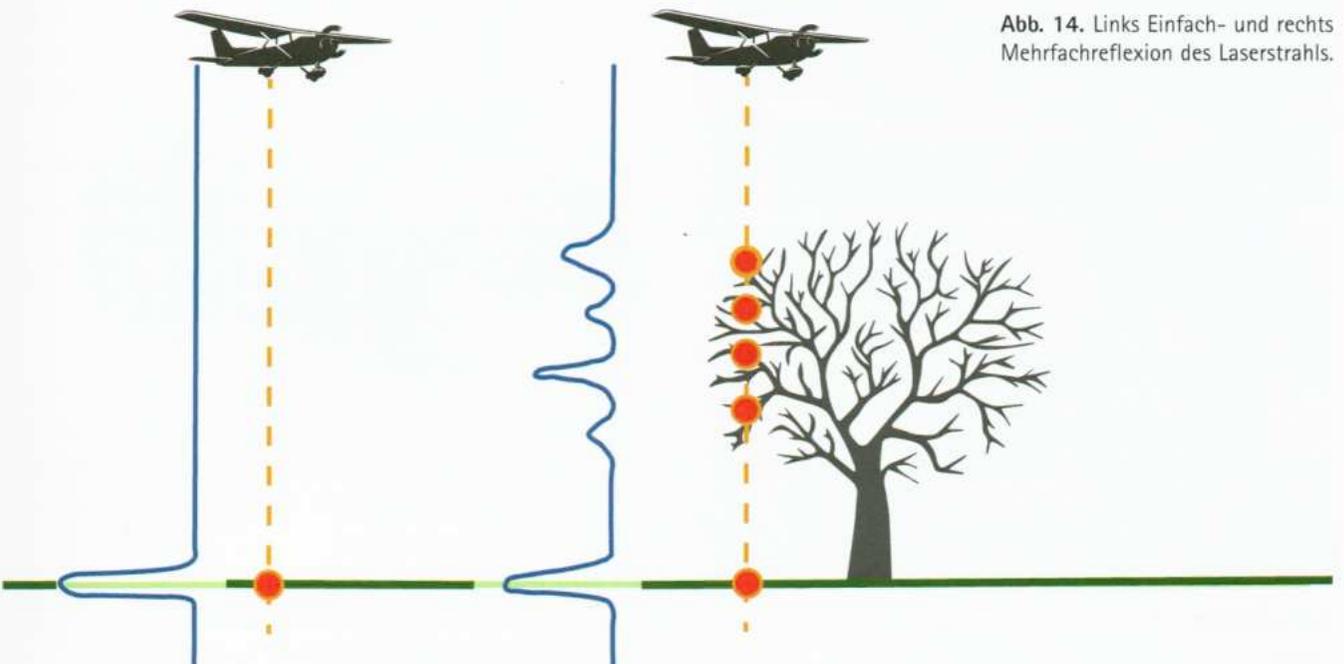


Abb. 14. Links Einfach- und rechts Mehrfachreflexion des Laserstrahls.



Abb. 12. a Colditz, Lkr. Leipzig. Sommerbefliegung (Luftbildaufnahme vom 21. Mai 2018); b Frühjahrsbefliegung (Luftbildaufnahme vom 30. März 2021).

Die Luftbilder der Bildflüge aus den Jahren 2005–2020 weisen eine Bodenauflösung von 20 cm sowie eine Längs- und Querüberdeckung von 60 bzw. 30 % auf. Die Aufnahmen wurden vorwiegend in den Sommermonaten erzeugt.

► Bildflüge ab 2021

Seit 2021 wird jährlich die Befliegung von etwa der Hälfte der Landesfläche des Freistaates Sachsen mit wechselnder Frühjahrs- und Sommerbefliegung beauftragt (Abb. 12a.b). Die Luftbilder werden nunmehr mit einer erhöhten Längs- und Querüberdeckung von 80 bzw. 60 % erfasst.

