



**Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)**

Produkt- und Qualitätsstandard für Digitale Luftbilder des amtlichen deutschen Vermessungswesens

Version 4.2

Status:

- 43. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, Beschluss GT 2026/02
- 37. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, Beschluss GT 2023/06
- 32. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, Beschluss GT 2019/06
- 31. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, AK-Beschluss 31/02
- 29. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, AK-Beschluss 29/02
- 27. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, AK-Beschluss 27/01
- 26. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, AK-Beschluss 26/03
- 23. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, AK-Beschluss 23/02
- 22. Tagung AdV-Arbeitskreis Geotopographie, AK-Beschluss 22/01

**Bearbeitet von der Projektgruppe ATKIS-DOP
im AdV-Arbeitskreis Geotopographie**

Bearbeitungsstand: 04.03.2026

Inhalt

1	Vorbemerkung	3
2	Definitionen	3
3	Spezifikation	3
3.1	Produkte	3
3.2	Verwendete Normen	3
3.3	Geometrische Merkmale	4
3.4	Radiometrische und spektrale Merkmale	4
3.5	Datenqualität, Anforderungen an das Produkt	4
3.6	Georeferenzierung	5
3.7	Dateimerkmale	7
4	Kachelinformationen / Luftbildinformationen	7
4.1	Inhalt der Luftbildinformationen	8
4.2	Luftbildinformationsdatei	10
5	Änderungen	10

- Anlage 1: Luftbildinformationsdatei lb_202209_14_688_rgbi.meta
Anlage 2: Luftbildinformationsdatei lb_st_20221210_102248.csv
Anlage 3: Anforderungen an die Qualitätssicherung
Anlage 4: Formular zur Dokumentation der Validierungsprüfung
Anlage 5: Beurteilung der Bildqualität mit Schwerpunkt Radiometrie

Herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)

Das vorliegende Dokument ist unter der Federführung des AdV-Arbeitskreises Geotopographie von der Projektgruppe ATKIS-DOP erarbeitet worden. Es wurde vom Arbeitskreis mit AK GT-Beschluss 22/01 eingeführt und zuletzt mit Beschluss GT2026/02 fortgeführt. Ab der Version 3.0 enthält es Inhalte des außer Kraft gesetzten *Qualitätsstandard für Digitale Orthophotos (ATKIS-DOP)* (AK GT-Dokument [894R2]).

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Produkt- und Qualitätsstandard für Digitale Luftbilder des amtlichen deutschen Vermessungswesens

Stand: 04.03.2026
Version 4.2

1 Vorbemerkung

Der vorliegende Standard beschränkt sich auf digitale Luftbilder, die entweder mittels digitaler Luftbildkamera, die der DIN 18740-4 genügen oder als Analog-Digital-Wandlung aus analog vorliegenden Luftbildern klassischer photogrammetrischer Reihemesskammern erzeugt wurden. Digitale Zeilensensoren fanden bislang im amtlichen deutschen Vermessungswesen keinen praktischen Einsatz und werden daher nicht berücksichtigt.

2 Definitionen¹

Luftbilder im Sinne dieses Produkt- und Qualitätsstandards sind photographische Abbilder eines Teiles der Erdoberfläche. Für die Zwecke der Vermessungsverwaltungen werden diese grundsätzlich als Messbilder verwendet. Sie werden aus Flugzeugen mit Luftbildkameras in Nadirrichtung aufgenommen. Bedingt durch die zentralprojektive Abbildung der Photographie wird die Erdoberfläche im Luftbild verzerrt dargestellt.

Digitale Messbilder nach DIN 18740-4³ und digitale Luftbilder aus der Analog-Digital-Wandlung nach DIN 18740-2² werden als *Digitales Luftbild (DLB)* bezeichnet. Alle bereitgehaltenen Luftbilder haben mindestens eine genäherte Georeferenzierung. Luftbilder mit allen erforderlichen Parametern für eine stereoskopische Auswertung, insbesondere die Daten zur inneren und äußeren Orientierung, werden als *Orientierte Luftbilder (OLB)* bezeichnet.

3 Spezifikation

3.1 Produkte

Die Produktdefinition und –bezeichnung für Luftbilder liegt in der Verantwortung der Mitgliedsverwaltungen. Der vorliegende Produkt- und Qualitätsstandard für Digitale Luftbilder des amtlichen deutschen Vermessungswesens soll als Empfehlung und Hilfestellung bei der Erzeugung von Luftbildern zur Ableitung definierter AdV-Produkte dienen.

3.2 Verwendete Normen

Bei der Erarbeitung des Dokuments lagen folgende Normen des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN) zu Grunde:

- DIN 18740-1²: Photogrammetrische Produkte – Teil 1:
Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild,
- DIN 18740-2²: Photogrammetrische Produkte – Teil 2:
Anforderungen an das gescannte Luftbild,
- DIN 18740-4³: Photogrammetrische Produkte – Teil 4:
Anforderungen an digitale Kameras für Luftbild- und Weltraumphotogrammetrie,
- DIN 18740-7⁴: Photogrammetrische Produkte – Teil 7:
Anforderungen an das Pansharpening.

¹ aus AK GT-Dokument [465 R1] *Systematik und Benennung geotopographischer Produkte*

² DIN 18740-1: 2001-11 (zurückgezogen)

DIN 18740-2: 2005-02 (zurückgezogen)

Der DIN-Normenausschuss AA 05-03-02 maß den Teilen 1 und 2 keine Bedeutung mehr zu und strich sie 2010 aus der Reihe. Der Arbeitskreis Geotopographie empfiehlt jedoch, die Spezifikationen für Bildflug und analoges und gescanntes Luftbild im Bedarfsfall zur Eigenkontrolle weiterhin zu nutzen.

³ DIN 18740-4:2017-04

⁴ DIN 18740-7:2014-12

3.3 Geometrische Merkmale

3.3.1 Bodenauflösung, Ground Sample Distance (GSD)

Sollen aus einem Luftbild ATKIS-DOP abgeleitet werden, muss der Wert der originären Bodenauflösung für den geometrieegebenden Kanal (z. B. panchromatischen Kanal) auch am tiefsten Geländepunkt kleiner oder gleich dem Wert der Bodenauflösung der ATKIS-DOP sein.

Das digitale Farbbild soll die Geometrie (Auflösung und Lagetreue der Pixel) des geometrieegebenden i.d.R. des panchromatischen Kanals beinhalten und ist mittels des *Pansharpening-Verfahrens*⁴ abzuleiten. Das Pansharpening-Verhältnis darf nicht schlechter sein als 1:4.

Beim Scannen analoger Luftbilder ist ein Wert der Bodenauflösung einzustellen, der kleiner oder gleich dem Wert der Bodenauflösung für das abzuleitende Produkt z. B. DOP ist.

3.4 Radiometrische und spektrale Merkmale

3.4.1 Farbtiefe

Mindestens 8 Bit / Kanal

3.4.2 Spektrale Ausprägung

- PAN Panchromatisch
- RGB 3-Kanal-Echtfarbbild (Rot – Grün – Blau)
- CIR 3-Kanal-Colorinfrarotbild (Falschfarben-Infrarot; NIR – Rot – Grün)
- RGBI 4-Kanal-Multispektralbild (Rot – Grün – Blau – NIR)

3.5 Datenqualität, Anforderungen an das Produkt

Maßnahmen zur Sicherung der Datenqualität sind in der Anlage 3 und Anlage 5 zu finden.

3.5.1 Scannen analoger Luftbilder

Analoge Luftbilder sind mit einem photogrammetrischen Scanner gemäß DIN 18740-2² zu digitalisieren.

3.5.2 Bildflug, Aufnahmebedingungen

Die Bildaufnahme muss unter geeigneten äußeren Bedingungen (Wetter, Sicht- und Lichtverhältnisse) und mit geeignetem Instrumentarium durchgeführt werden. Standardbedingungen für Bildaufnahmen mit flugzeuggestützten Kameras sind:

- Sonnenschein oder je nach Festlegung hochstehende geschlossene lichtdurchlässige Wolkendecke mit klarer Sicht zum Boden;
- Sonnenstand in der Regel größer als 30° über Horizont; keine Wolken, Wolkenschatten oder Dunst in den Bildern;
- Befliegungsgebiet frei von Hochwasser, Eis, Schnee und großflächigem Rauch.

3.5.3 Bildflug, Längs- und Querüberdeckung

Für klassische photogrammetrische Auswertungen sind eine Längsüberdeckung von mindestens 60 % und eine Querüberdeckung von mindestens 30 % einzuhalten.

In dicht bebauten Gebieten oder bei der Absicht, Luftbilder mittels Dense Image Matching auszuwerten, ist zur Vermeidung von Verdeckungen durch Umklappungen eine höhere Längs- und Querüberdeckung zu wählen. Es wird empfohlen, eine Längsüberdeckung von mindestens 80 % einzuhalten und eine Querüberdeckung von mindestens 50 % nicht zu unterschreiten.

Die Querüberdeckung im ländlichen Gebiet sollte so gewählt werden, dass Objekte im Mittelbereich der Querüberlappung keinen Umklappeffekt erzeugen, bei dem bei einem 6 m hohen Objekt mehr als 2 m Bildbereich verdeckt werden.

Für urbanes Gebiet wird eine Querüberdeckung von mindestens 60 % empfohlen. Sie soll gewährleisten, dass Objekte im Mittelbereich der Querüberlappung keinen Umklappeffekt erzeugen, bei dem bei einem 10 m hohen Objekt mehr als 2 m Bildbereich verdeckt werden.

Die geforderten Überdeckungsverhältnisse sind auch am höchsten Geländepunkt zu erreichen.

3.5.4 Bildflug, Radiometrische Bedingungen

Das Bildmaterial ist in gleichbleibender, homogener radiometrischer Qualität für das Gebiet eines ganzen Bildfluges zu liefern, wobei auch in sehr hellen (z. B. weiße Industriehallendächer) und sehr dunklen Bildbereichen (z. B. Schattenbereiche) ausreichend Bildinformationen vorhanden sein müssen.

Innerhalb von Gewässerflächen sind größere radiometrische Abweichungen zulässig.

3.5.5 Sensor, Kamerasystem

Es sind Luftbildkameras einzusetzen, die der DIN 18740-4 genügen und die die Herstellung eines Messbildes im Sinne der DIN 18740-3 gewährleisten, wobei sicherzustellen ist, dass die gewonnenen Messbilder für den geplanten Einsatz (z. B. stereoskopische Auswertung, Klassifizierung) geeignet sind und die gewünschten Ergebnisse (z. B. TrueDOP) in den geforderten Ausprägungen und Genauigkeiten abgeleitet werden können.

Die *Belichtung* muss mittels Zentralverschluss und mit konstanter Zugriffszeit erfolgen. Enthält die Kamera mehrere Aufnahmemodule mit jeweils eigenen Verschlüssen, so muss die Synchronisation der Verschlüsse so genau sein, dass in den prozessierten Bildern keine Artefakte für ortsfeste Objekte erkennbar sind. Die Auslösezeitpunkte müssen auf 0,1 ms protokolliert und bei der Erstellung der Messbilder berücksichtigt werden.

Die maximale Bewegungsunschärfe muss kleiner sein als die angestrebte Bodenauflösung. Wenn dies in Flugrichtung durch die Kombination von Fluggeschwindigkeit, Verschlusszeit der Kamera und Bodenauflösung nicht sichergestellt ist, muss das Kamerasystem mit Einrichtungen für den *Bildwanderungsausgleich*, z. B. FMC (engl.: Forward Motion Compensation), AMC (engl.: Adaptive Motion Compensation) oder TDI (engl.: Time Delay and Integration), betrieben werden.

Eine durch Winkeländerungen entstehende Bewegungsunschärfe muss durch Einsatz einer regelbaren Aufhängung kompensiert werden. Die Kombination beider Systeme realisiert eine wirkungsvolle Bildstabilisierung.

3.5.6 Sensor, Systeme für die Positions- und Neigungsbestimmung

Bei Aufnahmen mit digitalen Kameras müssen für die genaue Positions- und Neigungsbestimmung Instrumentarien und Verfahren eingesetzt werden, mit denen die angegebenen Qualitätsanforderungen erfüllt werden können; z. B. GNSS/INS (Global Navigation Satellite System / Inertial Navigation System).

3.6 Georeferenzierung

Die Parameter der äußeren Orientierung {Koordinaten der Projektionszentren $(X, Y, Z)_i$ und Drehwinkel $(\omega, \phi, \kappa)_i$ } zur Georeferenzierung der DLB zu *Orientierten Luftbildern* können mit unterschiedlichen Verfahren bestimmt werden (z. B. durch genäherte Bildmitten, direkte Georeferenzierung, oder Aerotriangulation mit oder ohne GNSS/INS), deren Ergebnisse in unterschiedliche Genauigkeitsklassen einzuordnen sind.

Die Bestimmung der Parameter der äußeren Orientierung erfolgt in der UTM-Abbildung in der jeweiligen Zone auf dem GRS80-Ellipsoid im Datum ETRS89 und im jeweils aktuellen amtlichen Höhenbezugssystem. Historische orientierte DLB können ihre zum Zeitpunkt der Herstellung gewählte Georeferenzierung behalten.

3.6.1 Koordinatenreferenzsystem Lage

Standard	übergangsweise
----------	----------------

Abbildung	UTM32 UTM33	-
Ellipsoid	GRS80	-
Datum	ETRS89	-
Kurzbezeichnung EPSG-Code (integer)	25832 25833	-
Kurzbezeichnung nach GeoInfoDok (alphanumerisch)	ETRS89_UTM32 ETRS89_UTM33	-

3.6.2 Koordinatenreferenzsystem Höhe

	Standard	übergangsweise
	DHHN2016	-
Kurzbezeichnung EPSG-Code (integer)	7837	-
Kurzbezeichnung nach GeoInfoDok (alphanumerisch)	DE_DHHN2016_NH	-

3.6.3 Geometrische Genauigkeit

Genauigkeits- klasse (1 σ)	Genauigkeitsangabe Lage	Bemerkung
LB1	-	Bildmitte (X,Y) genähert
LB2	3-fache Bodenpixelgröße	z. B. als Ergebnis der direkten Georeferenzierung
LB3	2-fache Bodenpixelgröße	als Ergebnis einer Aerotriangulation
LB4	1-fache Bodenpixelgröße	als Ergebnis einer Aerotriangulation

Eine Aussage zu den erreichbaren Höhengenaugkeiten ist von den zugrundeliegenden Befliegungsparametern (z. B. Kamera, Längs- und Querüberdeckung) abhängig und kann mit dem 2 – 3-fachen Wert der Lagegenauigkeit angenommen werden.

Die Qualität der äußeren Orientierung muss sicherstellen, dass die Standardabweichung der Lagekoordinaten berechneter Bodenpunkte nicht größer als das 0,5-fache der festgelegten Standardabweichung⁵ σ_{xy} der georeferenzierten Lagekoordinaten des Orthophotos ist.

Für die Ableitung von ATKIS-DOP sind daher Orientierungsparameter der Genauigkeitsklasse LB4 erforderlich.

3.6.4 Anordnung der GNSS-Referenzstationen, Passpunktanordnung

Um Orientierungsparameter der Genauigkeitsklasse LB4 ableiten zu können, sollten folgende Vorkehrungen getroffen werden.:

- Passpunktgruppen:
 - Es sind Passpunktgruppen, bestehend aus mind. 3 Vollpasspunkten (X,Y;Z), zu bilden. Damit wird sichergestellt, dass beim Flug die notwendige Anzahl an Passpunkten nicht

⁵ Aus AK GT-Dokument [897Rx], Produkt- und Qualitätsstandard für Digitale Orthophotos, Geometrische Genauigkeit:

$\sigma_{xy}(\text{DOP40})$: $\pm 0,8$ m

$\sigma_{xy}(\text{DOP20})$: $\pm 0,4$ m

verdeckt und unzerstört im Bild tatsächlich sichtbar ist. Außerdem können bei der Aerotriangulation einige Passpunkte aus der Passpunktgruppe als Kontrollpunkte genutzt werden.

- Bei Bildflügen mit DGNSS-Informationen sollte der maximale Abstand zu GNSS-Referenzstationen 50 km nicht übersteigen.
- Für die Bündelblockausgleichung ohne DGNSS-Informationen sollten am Blockrand mindestens jede fünfte Basislänge sowie alle 4 Basislängen im Flugstreifen Passpunktgruppen genutzt werden.
- Bei Bildflügen mit DGNSS und ohne zusätzlich beflogene Querstreifen sollten an den Streifenenden und in der Blockmitte Passpunktgruppen genutzt werden.
- Bei Bildflügen mit DGNSS und zusätzlich beflogenen Querstreifen sollten in den Blockecken und in der Blockmitte Passpunktgruppen genutzt werden.
- Bei Bildflügen mit Einsatz der direkten Georeferenzierung sollten in den Blockecken sowie in der Blockmitte Passpunktgruppen angeordnet sein.

3.7 Dateimerkmale

3.7.1 Datenformat

Bilddaten:	TIFF (JPEG2000, ECW bei komprimierten DLB)
Luftbildinformationen:	ASCII

Für orientierte Luftbilder zusätzlich:

Kalibrierungszertifikat:	PDF
Orientierungsparameter:	ASCII
(Projektionszentrum X, Y, Z, Drehwinkel ω , ϕ , κ); ggf. weitere systemspezifische Orientierungsformate	

3.7.2 Luftbildname

Für die Bezeichnung der Luftbilder wird empfohlen:

$lb^6_<Bildflugnummer>_<Streifen>_<Bildnummer>_<Spektralkanäle>.tif$
wobei Bildflugnummer = Jahr (vierstellig) + Los bzw. lfd. Nummer
Bsp.: lb_200809_14_688_rgbi.tif

3.7.3 Kompression

Es wird empfohlen, auf eine Kompression der DLB zu verzichten.

4 Kachelinformationen / Luftbildinformationen

Die den Datensatz allgemein beschreibenden Metadaten werden im Metainformationssystem der AdV durch die für die Landesvermessung zuständigen Stellen gepflegt. Darüber hinaus werden mit jeder Datenlieferung begleitende Luftbildinformationen bereitgestellt, die wesentliche Angaben zur Aktualität und zum Inhalt der gelieferten digitalen Luftbilder beinhalten.

Inhalt und Struktur der nachfolgend beschriebenen Luftbildinformationen stimmen grundsätzlich mit denen der anderen ATKIS-Komponenten überein.

Weitere Luftbildinformationen können als Länderlösung geführt werden.

⁶ „lb“ sollte vorangestellt werden, um eine ISO- und INSPIRE-Auswertbarkeit der Luftbildinformationen zu erreichen.

4.1 Inhalt der Luftbildinformationen

4.1.1 Angaben für den gesamten Datensatz

Schlüsselwort	Bedeutung
Land	Vollständiger Name des Bundeslandes
Eigentümer	Vollständiger Name des Eigentümers (freie Textzeile) Bsp.: Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG)
Aktualitaet_Luftbildinformationen	Datum der Generierung der Luftbildinformationen (JJJJ-MM-TT)
Version_Standard	Versionsnummer des zugrunde liegenden Standards, nach dem die Luftbildinformationen erstellt wurden Bsp.: V4.1

4.1.2 Angaben je Luftbild

Schlüsselwort	Bedeutung
Luftbildname	Name der Luftbilddatei (freie Textzeile) Empfehlung siehe Abschnitt 3.7.2
Aktualitaet	Datum der Luftbildaufnahme (Format: JJJJ-MM-TT) ⁷
Erfassungsmethode	Angabe über Befliegungsverfahren Mögliche Angaben: 0 (Digitaler Bildflug, Dig. Messbild nach DIN 18740-4) 1 (Analoger Bildflug, Dig. Luftbild aus Analog-Digital-Wandlung nach DIN 18740-2) 2 (Analoger Bildflug, Dig. Luftbild aus Analog-Digital-Wandlung ohne Berücksichtigung der DIN 18740-2)
Bildflugnummer	Eindeutige Bezeichnung des Befliegungsprojektes (freie Textzeile) Bsp.: 200809 Oschersleben
Flugstreifen	Nummer des Flugstreifens (Integer)
Bildnummer	Nummer des Luftbildes (Integer)
Bildmassstabszahl	Bildmaßstab bei Analogbildflug ⁸ (Integer), Bsp.: 14000
Kamera_Sensor	Kurzbezeichnung der Kamera incl. Seriennr. (freie Textzeile) ⁹ Bsp.: UC-Eagle-1-70815170-f100 DMC II 250-120553 LMK2000, LC2015, 272 306/C
Kamera_Version	Versionsnummern der Firm- und Hardware Bsp.: FW_X.Y/HW_X.Z
Kamera_Kalibrierung	Datum der letzten geometrischen und radiometrischen Kalibrierung oder der letzten geometrischen Selbstkalibrierung (Format: JJJJ-MM-TT)
Kamera_Validierung	Datum der letzten geometrischen Validierung (Format: JJJJ-MM-TT)
Prozessierung_Version	Name und Versionsnummer der eingesetzten Prozessierungs-

⁷ Ist eine Datumsangabe mit Tagesgenauigkeit aus technischen oder inhaltlichen Gründen nicht möglich, kann bei den Angaben je Erfassungseinheit eine Datumsangabe JJJJ-MM mit Monatsgenauigkeit erfolgen. Eine ausschließliche Jahresangabe ist nicht ausreichend.

⁸ Beim Digitalflug wird hier der Wert „0“ geführt, da dort das Feld Bodenpixelgröße belegt wird.

⁹ Wert „9999“, wenn nicht bekannt

Schlüsselwort	Bedeutung
	Kompressionsalgorithmus (z. B. JPEG2000) Verwendete Software incl. Versionsnr. Komprimierungsgrad (z. B. 25)
Belaubungszustand	Angabe über den Belaubungszustand Mögliche Angaben: 0 keine Angabe 2 teilbelaubt 1 unbelaubt 3 vollbelaubt
Bemerkungen	Optionale Angaben, z. B. zu Qualitätseinschränkungen (freie Textzeile) Bsp.: Wolke

4.2 Luftbildinformationsdatei

4.2.1 Dateiformat, Dateibezeichnung

Die Luftbildinformationen zu *einzelnen digitalen Luftbildern* werden als separate ASCII-Datei geführt. Sie werden mit den in Abschnitt 4.1 genannten Schlüsselwörtern gelistet. Ein Doppelpunkt mit anschließendem Leerzeichen dient als Trennzeichen. Die ASCII-Datei trägt den Namen des Luftbildes und die Endung *.meta (Bsp. s. Anlage 1).

Luftbildinformationen zu *mehreren digitalen Luftbildern* können zu einer CSV-Datei zusammengeführt werden, die ab der siebten Zeile aus jeweils einer Zeile für jedes DLB besteht, in der das Semikolon als Trennzeichen dient. Die Datei erhält die Bezeichnung „lb_<land>_jjjjmmmtt_hhmmss.csv“¹².

Grundstruktur:

Satz 1: **Luftbildinformationen der DLB für die Datenabgabe**

Satz 2: **Land**;Name des Landes in Langform

Satz 3: **Eigentuemer**;Vollständiger Name des Eigentümers

Satz 4: **Aktualitaet_Luftbildinformationen**;JJJJ-MM-TT¹²

Satz 5: **Version_Standard**;N.M

Satz 6: Auflistung der Schlüsselworte

ab Satz 7: werden die bildbezogenen Luftbildinformationsdaten der DLB aufgelistet.

(Beispiel s. Anlage 2)

5 Änderungen

Version (gültig ab)	Änderungen
4.2 (jjjj-mm-tt)	- Punkt: 3.3.1; Bodenauflösung: Klarstellung Geltungsbereich - Punkt:3.5.3; Überdeckungen: Klarstellung Geltungsbereich - Punkt: 3.5.4; Radiometrische Bedingungen: inhaltliche Anpassung wegen Neugestaltung der Anlage 5 - Kapitel 5 „Änderungen“ hinzugefügt - Anlage 3 „Bildqualität, Radiometrie“: inhaltliche Anpassung wegen Neugestaltung der Anlage 5 - Anlage 5: Vollständige inhaltliche Überarbeitung, u. a.:

¹² jjjjmmmtt_hhmmss: Datum und Uhrzeit der Erzeugung der Luftbildinformations-Datei

	- Integration in Hauptdokument als Anlage 5 - Aufnahme von weiteren Möglichkeiten und Kriterien zur Beurteilung der Bildqualität incl. bildhafter Beispiele - Entfernen der Anleitungen zur Bildbearbeitung - Redaktionelle Änderungen
--	--

Luftbildinformationsdatei lb_202209_14_688_rgbi.meta

Land:Sachsen-Anhalt
Eigentümer:Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Aktualität_Luftbildinformationen:2022-12-10
Version_Standard:V4.1
Luftbildname:lb_202209_14_688_rgbi.tif
Aktualität:2022-05-10
Erfassungsmethode:0
Bildflugnummer:202209 Oschersleben
Flugstreifen:14
Bildnummer:688
Bildmassstabszahl:0
Kamera_Sensor:UltraCamX UCX-SX-1-60911016
Kamera_Version:FW_2.4/HW_4.5
Kamera_Kalibrierung:2021-04-14
Kamera_Validierung:2022-03-22
Prozessierung_Version:Ultramap V4
Kalibrierprotokoll_Kamera:1
Bildhauptpunkt_der_Kamera_[PPA]_in_x-Richtung:0.9
Bildhauptpunkt_der_Kamera_[PPA]_in_y-Richtung:-0.2
Bodenpixelgröße:20
Spektralkanäle:RGBI
Kammerkonstante:100.5
Koordinatenreferenzsystem_Lage:25833
Koordinatenreferenzsystem_Höhe:7837
Orientierungsgenauigkeit:4
Geometrische_Auflösung:7.2
Bildmitte_Rechts:652032
Bildmitte_Hoch:5766539
Anzahl_Spalten:14430
Anzahl_Zeilen:9420
Farbtiefe:8
Dateiformat:TIF
Kompression:0
Komprimierung:
Belaubungszustand:3
Bemerkungen:vereinzelt Wolkenschatten

Luftbildinformationsdatei lb_st_20221210_102248.csv

Luftbildinformationsdaten der DLB für die Datenabgabe

Land;Sachsen-Anhalt

Eigentümer;Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt

Aktualität_Luftbildinformationen;2022-12-10

Version_Standard;V4.1

Luftbildname;Aktualität;Erfassungsmethode;Bildflugnummer;Flugstreifen;Bildnummer;Bildmassstabszahl;Kamera_Sensor;Kamera_Version;Kamera_Kalibrierung;Kamera_Validierung;Prozessierung_Version;

Kalibrierprotokoll_Kamera;Bildhauptpunkt_der_Kamera_[PPA]_in_x-Richtung;Bildhauptpunkt_der_Kamera_[PPA]_in_y-Richtung;Bodenpixelgrösse;Spektralkanäle;Kammerkonstante;

Koordinatenreferenzsystem_Lage;Koordinatenreferenzsystem_Höhe;Orientierungsgenauigkeit;Geometrische_Auflösung;Bildmitte_Rechts;Bildmitte_Hoch;Anzahl_Spalten;Anzahl_Zeilen;Farbtiefe;Dateiformat;

Kompression;Komprimierung;Belaubungszustand;Bemerkungen

lb_202209_14_688.tif;2022-05-10;0;202209 Oschersleben;14;688;0;UltraCamX UCX-SX-1-60911016;FW_2.4/HW_4.5;2021-04-14;2022-03-22;Ultramap V4;1;0.9;-0.2;20;RGBI;100.5;25833;7837;4;

7.2;652032;5766539;14430;9420;8;TIFF;0;;3;vereinzelt Wolkenschatten

lb_202209_14_689.tif;2022-05-10;0;202209 Oschersleben;14;689;0;UltraCamX UCX-SX-1-60911016;FW_2.4/HW_4.5;2021-04-14;2022_03-22;Ultramap V4;1;0.9;-0.2;20;RGBI;100.5;25833;7837;4;

7.2;652785;5766540;14430;9420;8;TIFF;0;;3;vereinzelt Wolkenschatten

lb_202209_14_690.tif;2022-05-10;0;202209 Oschersleben;14;690;0;UltraCamX UCX-SX-1-60911016;FW_2.4/HW_4.5;2021-04-14;2022-03-22;Ultramap V4;1;0.9;-0.2;20;RGBI;100.5;25833;7837;4;

7.2;653538;5766541;14430;9420;8;TIFF;0;;3;

lb_202209_14_691.tif;2022-05-10;0;202209 Oschersleben;14;691;0;UltraCamX UCX-SX-1-60911016;FW_2.4/HW_4.5;2021-04-14;2022-03-22;Ultramap V4;1;0.9;-0.2;20;RGBI;100.5;25833;7837;4;

7.2;654291;5766542;14430;9420;8;TIFF;0;;3;vereinzelt Wolkenschatten

Anforderungen an die Qualitätssicherung

Kalibrierung

Das gesamte Kamerasystem muss gemäß DIN 18740-4 geometrisch und radiometrisch kalibriert sein.

Die Kalibrierung der Kamera muss durch ein Kalibrierungszertifikat des Herstellers nachgewiesen werden. Die Gültigkeit der geometrischen Kalibrierung zum Zeitpunkt des Bildfluges ist sicherzustellen und ggf. durch eine Selbstkalibrierung oder Validierungsprüfung nachzuweisen.

Die Kalibrierung der Kamera darf zum Zeitpunkt des Bildfluges nicht länger als 2 Jahre zurückliegen. Nach jeder Veränderung, die Einfluss auf die Kalibrierung hat, ist erneut eine Kalibrierung, mindestens eine Selbstkalibrierung, durchzuführen. Erfolgt keine Umbauten an der Kamera, kann an Stelle einer erneuten Kalibrierung eine Selbstkalibrierung der Kamera oder ein Nachweis über die Beibehaltung der Kalibrierungswerte in Form einer Validierungsprüfung vorgelegt werden. Die Validierungsprüfung darf zum Zeitpunkt des Bildfluges nicht länger als 1 Jahr zurückliegen. Nach längstens zwei mit Validierungsprüfungen überbrückten Jahren ist eine vollständige geometrische und radiometrische Kalibrierung durch den Kamerahersteller vorzunehmen.

Nachweise zur geometrischen und radiometrischen Kalibrierung:

Kalibrierung

Es erfolgt durch den Kamerahersteller eine geometrische und eine radiometrische Kalibrierung. Sie werden durch den Hersteller in einem Kalibrierungszertifikat nachgewiesen. Die Gültigkeit zum Zeitpunkt des Bildfluges darf nicht älter als zwei Jahre sein.

Selbstkalibrierung

Es erfolgt eine geometrische Kalibrierung der Kamera durch einen Kalibrierflug (Selbstkalibrierung).

Die Dokumentation der Selbstkalibrierung muss den Anforderungen an eine vollständige Dokumentation der geometrischen Kamerakalibrierung entsprechen. U. a. müssen die grafische Darstellung der Fluganordnung, die Kontroll- und Passpunktverteilung sowie die Parameter der radialen Verzeichnung enthalten sein. Ebenso muss der Datensatz zur Selbstkalibrierung der Kamera dokumentiert sein.

Sie wird durch den Kamerahersteller in einem Feld-Kalibrierungszertifikat nachgewiesen. Die Gültigkeit zum Zeitpunkt des Bildfluges darf nicht älter als zwei Jahre sein.

Validierung

Es erfolgt eine Überprüfung der geometrischen Kalibrierung der Kamera durch einen Validierungsflug.

Eine Validierung muss so durchgeführt werden, dass über einem signalisierten Testfeld die erreichte Genauigkeit zum Überprüfungszeitpunkt mit der erreichten Lage- und Höhenmessgenauigkeit der Daten, die mit diesem Kamerasystem erzeugt werden, unmittelbar nach der Herstellerkalibrierung (Referenzmessung) verglichen wird. Voraussetzung hierfür ist ein "Burn-In Flight" unmittelbar nach der Kamerakalibrierung, dessen Resultate als Referenz für die qualitative Beurteilung der Resultate des Validierungsfluges dienen. Eine Vergleichbarkeit ist nur gegeben, wenn der Burn-In Flight und der Validierungsflug hinsichtlich Bildmaßstab, Blockkonfiguration, Passpunktstützung und Gewichtung aller Beobachtungsgruppen ähnlich sind. Die Ergebnisse der Validierung dürfen sich gegenüber den Ergebnissen der Kalibrierung nicht um mehr als 25 % verschlechtern.

Neben der vollständigen Dokumentation der Bündelblockausgleichung, der grafischen Darstellung der Fluganordnung, der Kontroll- und Passpunktverteilung sind die Ergebnisse in einem Formular (siehe Anlage 4) nachzuweisen.

Wird die Gültigkeit der Kalibrierwerte in Form einer Validierung der Kamera dokumentiert, muss zusätzlich zur Dokumentation der Validierungsprüfung das Zertifikat der zuletzt durchgeführten Kamerakalibrierung inklusive der Ergebnisse des Burn-in Flights nachgewiesen werden.

Georeferenzierung

Die Einhaltung der Qualitätsanforderungen aus Abschnitt 3.6.3 ist durch Messung von Kontrollpunkten zu dokumentieren. Die Anzahl der erforderlichen Kontrollpunkte ergibt sich nach DIN ISO 2859-1 (Annahmestichprobenprüfung anhand der Anzahl fehlerhafter Einheiten oder Fehler (Attributprüfung)).

Bildqualität, Radiometrie

Zur Sicherstellung der Bildqualität wird auf Anlage 5 verwiesen.

Formular zur Dokumentation der Validierungsprüfung

(1) Allgemeine Angaben

Kameratyp	
Seriennummer	
Datum Burn-In Flight nach Kalibrierung	
Datum Validierungsflug	

(2) Flugparameter

Parameter	Burn-In Flight nach Kalibrierung	Validierung	Bemerkungen
Flughöhe oder GSD			Abweichung max. 20 %
Überlappung längs [%]			Abweichung max. 10 %
Überlappung quer [%]			Abweichung max. 5 %
Anzahl Bilder			Abweichung max. 50 %
Anzahl Flugstreifen			mindestens 3 Flugstreifen
Anzahl Querstreifen			mindestens 1 Querstreifen
Anzahl Passpunkte			höchstens 8 Passpunkte
Anzahl Kontrollpunkte			mindestens 15 Kontrollpunkte*
GNSS/INS (ja/nein)			identische Konfiguration

* Es ist zu beachten, dass Kontrollpunkte als Unbekannte eingehen müssen und nicht durch eine Gewichtung auf vorliegende (Näherungs-) Werte gezwungen werden dürfen. Kontrollpunkte müssen gleichmäßig über das Gebiet verteilt sein und sollten einen genügend großen Abstand zu den verwendeten Passpunkten aufweisen.

(3) Auswertung

	Burn-In Flight	Validierung	
Gewichtung manuell gem. Bildpunkte			identisch
Gewichtung automatisch gem. Bildpunkte			identisch
Gewichtung Passpunkte			identisch
Gewichtung GNSS			identisch
Gewichtung INS			identisch
Modellierung Restsystematiken GNSS (ja/nein)			identisch
Boresight Alignment (ja/nein)			identisch
Selbstkalibrierung Kamera (ja/nein)			identisch

(4) Statistik – interne Maße der Bündelblockausgleichung

Parameter	Burn-In Flight	Validierung	relative Abweichung %
Gewichtseinheitsfehler [μm]			(max. 25 % schlechter)
Std-abw. Projektionszentren X/Y/Z [cm]			
Std-abw. Orientierungswinkel O/P/K [mgon]			
Std-abw. Passpunkte X/Y/Z [cm]			
Std-abw. Kontrollpunkte X/Y/Z [cm]			
RMS der Zuschläge zu den GNSS-Beobachtungen [cm]			
RMS der Zuschläge zu den INS-Beobachtungen [mgon]			

(5) Statistik – Maße aus unabhängigen Referenzmessungen

Parameter	Burn-In Flight	Validierung	relative Abweichung %
RMS der Abweichungen an den Passpunkten – Lage X/Y [cm]			
Max. der Abweichungen an den Passpunkten – Lage X/Y [cm]			
RMS der Abweichungen an den Passpunkten – Höhe Z [cm]			
Max. der Abweichungen an den Passpunkten – Höhe Z [cm]			
RMS der Abweichungen an den Kontrollpunkten – Lage X/Y [cm]			(max. 25 % schlechter)
Max. der Abweichungen an den Kontrollpunkten – Lage X/Y [cm]			
RMS der Abweichungen an den Kontrollpunkten – Höhe Z [cm]			(max. 25 % schlechter)
Max. der Abweichungen an den Kontrollpunkten – Höhe Z [cm]			

Beurteilung der Bildqualität mit Schwerpunkt Radiometrie

In dieser Anlage werden objektive Möglichkeiten zur Beurteilung der Bildqualität, insbesondere der Radiometrie, eines Einzelbildes oder des gesamten Bildverbandes aufgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die Bildqualität abhängig von den Anforderungen des Nutzers ist.

Auf die individuelle Bearbeitung der Radiometrie wird nicht eingegangen.

Für die Beurteilung der Radiometrie wird die Verwendung von kalibrierten Monitoren empfohlen.

Die zum Einsatz kommende Bildbearbeitungssoftware sollte Funktionen, wie Histogrammdarstellung, Pipettenwerkzeug, Tonwertkorrektur und ähnliche beinhalten. Geeignet sind unter anderem gängige Bildbearbeitungsprogramme wie Adobe Photoshop, Gimp oder Orthovista.

Die Prüfung der Radiometrie kann im Herstellungsprozess von Luftbildern mehrfach erforderlich sein, z. B.:

- bei der Prüfung und Bewertung von Musterbildern im Zuge der Ausschreibung / Angebotsbewertung
- zur Abnahme / Freigabe von Musterbildern vor der endgültigen radiometrischen Bearbeitung aller Luftbilder eines gesamten Bildfluges durch die Bildflugfirma. (Diese sollten möglichst aus zwei repräsentativen Bildpaaren bestehen, die typische Landschaften des jeweiligen Befliegsgebietes beinhalten, wie z. B. Siedlung, Feld, Wald oder Hochgebirge.)
- bei der Prüfung des gesamten Bildverbandes zur Abnahme der beauftragten Leistung; dazu ist eine Übersicht aus Quickviews (Thumbnails) zu erstellen.

Das Prüfergebnis sowie sich daraus ergebende Korrekturwünsche können textlich beschrieben werden. Ebenso können ergänzend eigene Bildbearbeitungen sowie die Erstellung und Bereitstellung „optimaler Musterbilder“ sowohl die Bewertung der Prüfergebnisse als auch die Kommunikation mit der Bildflugfirma erleichtern.

1. Analyse des Gesamteindrucks - mögliche Auffälligkeiten und Mängel

Farbstich

- Weist das Bild einen sichtbaren Farbstich auf (z. B. Rotstich, Blaustich)?
- Es wird die Prüfung der Farbbalance bzw. Grauwertmessung empfohlen (siehe unter 3).



Abbildung 1: Bild links mit Rotstich, rechts korrigiert

Kontrast

- Wirkt der Kontrast insgesamt ausgeglichen?
- Sind die Schatten größtenteils einsehbar, sind Details in den Schatten erkennbar?
- Wirkt das Bild „flau/kontrastarm“?



Abbildung 2: Bild links kontrastarm, rechts korrigiert

Helligkeit / Schatten (Überbelichtung / Unterbelichtung)

- Erscheint das Bild auf den ersten Blick „zu hell“? (z. B. durch Flächen, die durch eine Überbelichtung so hell geworden sind, dass keine Details mehr erkennbar sind)
- Erscheint das Bild auf den ersten Blick „zu dunkel“? (z. B. in vielen Schattenbereichen keine Struktur oder Details erkennbar?)
- Über- oder Unterbelichtung ist als peak am Rand des Histogramms erkennbar. (siehe Punkt 2)



Abbildung 3: Bild überbelichtet



Abbildung 4: Bild unterbelichtet

Schärfe

- Es wird die Prüfung des gesamten Bildes (in vergrößerter Darstellung) empfohlen.
- Sind Kanten scharf oder wirken sie verschwommen?
- Sind auch kleinere Details (abhängig von der Bodenauflösung), wie z. B. Kanaldeckel und Straßeneinläufe gut zu erkennen?



Abbildung 5: Bild unscharf

Reflexionen

- Bei bestimmten Winkeln zwischen Sonne, Objekt und Kamera gelangt direkt reflektiertes Licht in die Kameraoptik.
- Reflexionen können neben der Hauptabbildung auch Nebenabbildungen erzeugen.



Abbildung 6: Bild mit Reflexion auf Dach und mit Nebenabbildung (hier: regenbogenfarbig)

Farbsäume

- Farbsäume treten häufig an den Kanten überbelichteter oder sehr heller Bildbereiche auf.



Abbildung 7: Farbsäume an heller Gebäudefassade am Boden und an Dachfläche

Auslaufende Farben

- An den Rändern von Objekten erscheint ein farbiger Saum.



Abbildung 8: Farbsaum am Auto und am roten Objekt am oberen Bildrand

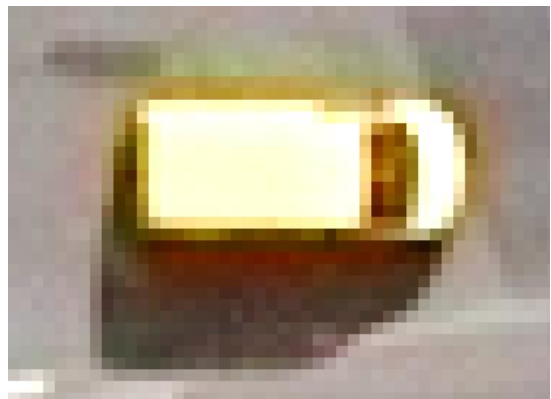


Abbildung 9: Vergrößerung von Abb. 8

Moiréeffekte

- Moiréeffekte entstehen, wenn feine, regelmäßige Strukturen (z. B. Dachziegeln, Feldstrukturen, Solaranlagen) auf das Pixelraster des Sensors treffen und sich überlagern. Dabei entstehen ungewollte störende regelmäßige Muster.



Abbildung 10: Moiréeffekte, hier blau-gelbe diagonale Streifen

Pixelausfall

- Ein Pixelausfall kann sowohl bei der Aufnahme als auch bei der nachträglichen Prozessierung der Luftbilder entstehen.
- Es können einzelne Farbkanäle oder sämtliche Bildinformationen eines Pixels betroffen sein.
- In einigen Fällen lässt sich der Fehler durch erneutes Prozessieren korrigieren.

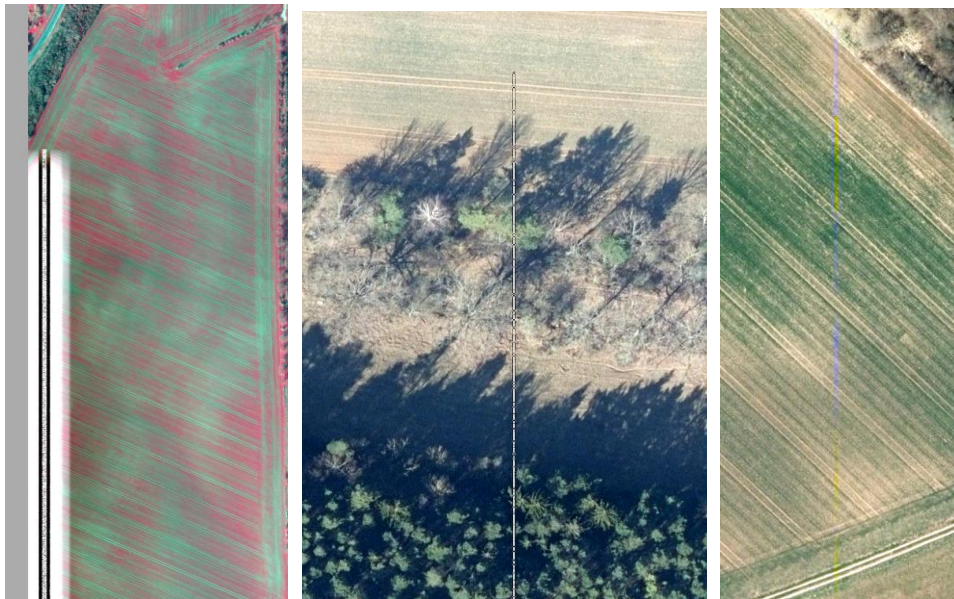


Abbildung 11: Mögliche Fehlerbilder von "Pixelausfällen"

Inhomogene Radiometrie über den gesamten Bildverband

- Die Radiometrie ist im gesamten Bildverband nicht gleichmäßig. Die Helligkeit, der Kontrast und die Farbgebung variieren zwischen den einzelnen Luftbildern des Bildverbandes.

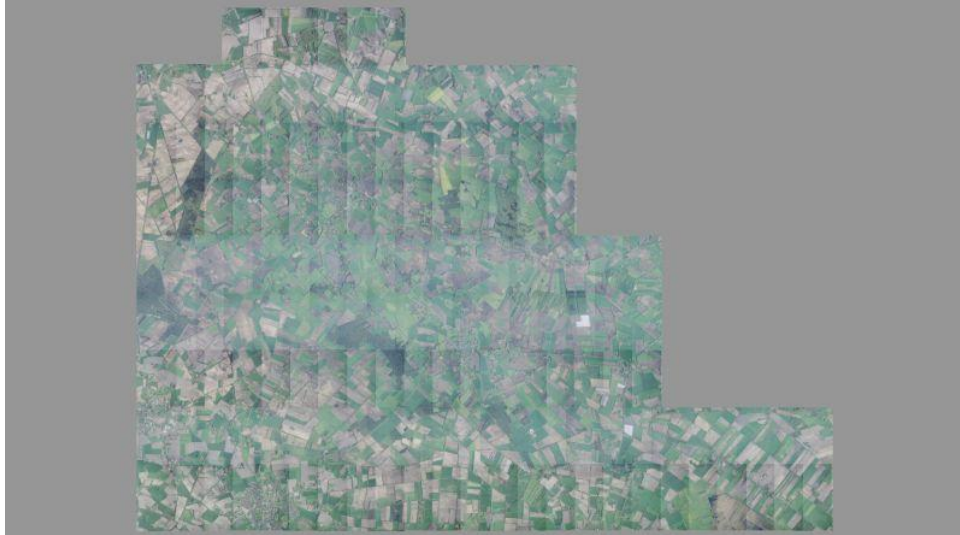


Abbildung 12: Inhomogener Bildverband, im Mittelbereich zu kontrastarm

Bildrauschen von Grauwertflächen in beleuchteten und unbeleuchteten Bereichen

- Beim Bildrauschen handelt es sich um zufällige Schwankungen der Pixelwerte, die nicht durch das eigentliche Objekt im Bild verursacht werden. Bildrauschen ist vergleichbar mit einer „Körnung“ der gleichmäßigen Farbfläche.
- Ursachen können z. B. das elektronische Rauschen des Bildsensors oder zu geringe Beleuchtung sein.



Abbildung 13: Bild links Bildrauschen im Schatten, rechts Bildrauschen im gesamten Bild

Sonstiges: Unschärfe durch sogenannten „Maskeneffekt“

- Verlust von Bildschärfe und Details entsteht durch Glättung oder Vereinheitlichung benachbarter Pixel.
- Der „Maskeneffekt“ wirkt wie eine Weichzeichnung der Bildinformation.



Abbildung 14: Bild oben mit "Maskeneffekt", Bild unten korrigiert

Sonstiges: Verschmutzungen im optischen System

- Verschmutzungen wie z. B. Öl- oder Wasserflecken auf der Optik oder dem Bodenglas können die Bildqualität beeinträchtigen.
- Die Störungen treten bei zeitlich zusammenhängenden Bildverbänden an der gleichen Stelle in jedem Bild auf.
- Eine nachträgliche Korrektur ist in der Regel nicht möglich.



Abbildung 15: Bildmängel in jedem Bild an gleicher Stelle

Sonstiges: Farbrahmen

- Infolge starker Kameraverschwenkung (z. B. durch große Flugzeugneigung) werden einzelne Sensorköpfe teilweise vom Flugzeugboden verdeckt, wodurch keine vollständige Farbaufnahme möglich ist.
- Dieser Effekt tritt immer am Rand der betroffenen Bilder auf und kann nicht behoben werden.

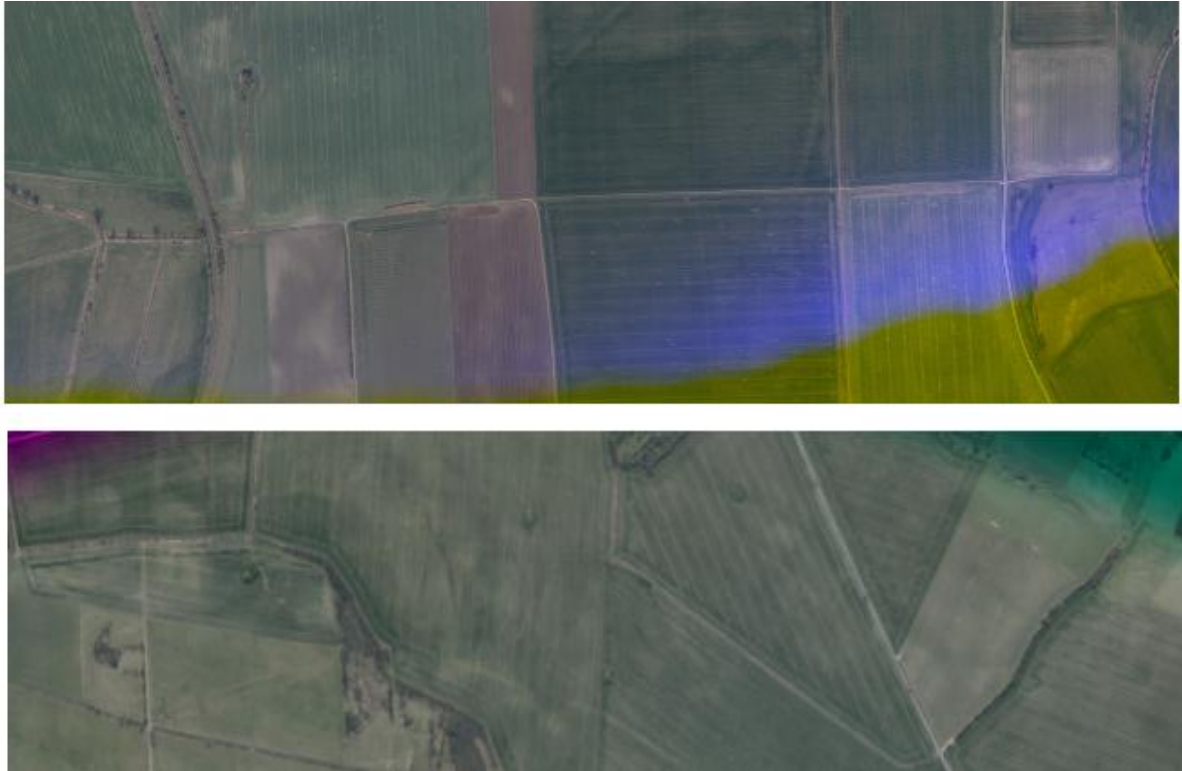


Abbildung 16: Typische Bildfehler bei Kameraverschwenkung

2. Beurteilung des Histogramms

Das Histogramm ist stark vom Bildinhalt und der Aufnahmesituation abhängig. Zur Beurteilung sollten daher mehrere Bilder mit unterschiedlichen Bildinhalten (Siedlung, Feld und Wald) herangezogen werden.

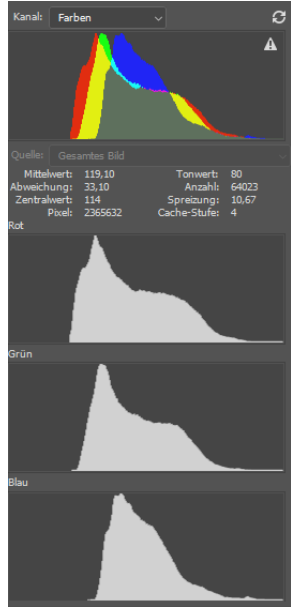
Es gibt kein „ideales“ Histogramm. Dennoch sollten folgende Merkmale beachtet werden:

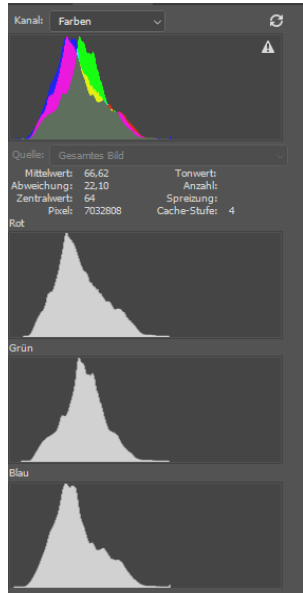
- Der gesamte Grauwertbereich sollte in allen Kanälen vollständig abgedeckt sein.
- Das Histogramm soll eine ausgewogene Verteilung über die gesamte Grauwertskala aufweisen (Glockenkurve) und keine Lücken oder Extremwerte enthalten.
- Pixel mit dem niedrigsten und dem höchsten Grauwert sollten nicht häufiger vorhanden sein als Pixel der benachbarten Grauwerte, d. h. die Anzahl der hellen und dunklen Grauwerte am rechten und linken Rand der Histogramme sollte stetig abnehmen.
- Bei Farbbildern sollten die Histogramme der einzelnen Farbkanäle ähnliche Histogramme zeigen.



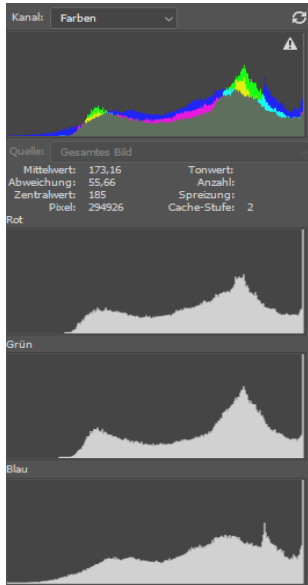
Abbildung 17: Luftbild mit ausgewogenem Histogramm, alle Farbkanäle haben eine annähernd gleichmäßige Glockenkurve in der Mitte des Farbbereichs

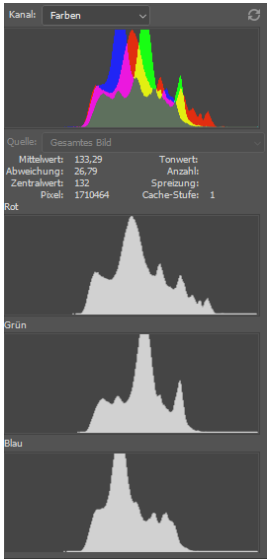
Beispiele für Histogramme mit Qualitätsmängeln:

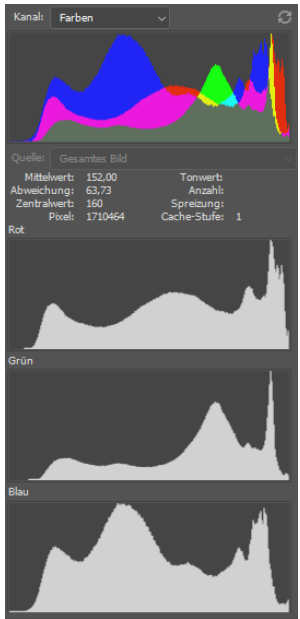
Unausgeglichene Histogramme	Ursache / Auswirkung	Bild von entsprechenden Histogrammen
fehlende Farbwerte am linken Histogramm-Rand	 <i>Abbildung 18: Informationsverlust in dunklen Bereichen, da Werte gestaucht / abgeschnitten sind</i>	 <i>Abbildung 19: Histogramm am linken Rand abgeschnitten</i>

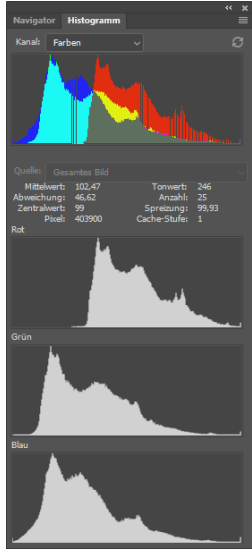
Unausgeglichene Histogramme	Ursache / Auswirkung	Bild von entsprechenden Histogrammen
fehlende Farbwerte am rechten Histogramm-Rand	 <i>Abbildung 20: Informationsverlust in hellen Bereichen, da Werte gestaucht / abgeschnitten</i>	 <i>Abbildung 21: Histogramm am rechten Rand abgeschnitten</i>

Unausgeglichene Histogramme	Ursache / Auswirkung	Bild von entsprechenden Histogrammen
sehr viele Grauwerte am äußeren linken Histogramm-Rand	 <i>Abbildung 22: Bild ist unterbelichtet, Detailinformationen im dunklen Bereich gehen verloren</i>	 <i>Abbildung 23: Histogramm ist am linken Rand gesättigt (zu vielen Grauwerte sind nahezu schwarz)</i>

Unausgeglichene Histogramme	Ursache / Auswirkung	Bild von entsprechenden Histogrammen
sehr viele Grauwerte am äußeren rechten Histogramm-Rand	 <i>Abbildung 24: Bild ist überbelichtet, Detailinformationen im hellen Bereich gehen verloren</i>	 <i>Abbildung 25: Histogramm ist am rechten Rand gesättigt (zu viele Grauwerte sind nahezu weiß)</i>

Unausgeglichene Histogramme	Ursache / Auswirkung	Bild von entsprechenden Histogrammen
sehr viele Grauwerte in einem kleinen Spektrum („geballtes Histogramm“)	 <i>Abbildung 26: Bild hat zu wenig Kontrast</i>	 <i>Abbildung 27: Grauwertbereich des Histogramms ist nicht ausgenutzt</i>

Unausgeglichene Histogramme	Ursache / Auswirkung	Bild von entsprechenden Histogrammen
sehr viele Grauwerte im rechten und linken Bereich des Histogramms und gleichzeitig sehr wenige Grauwerte im mittleren Bereich	 <i>Abbildung 28: Bild hat zu hohen Kontrast</i>	 <i>Abbildung 29: Grauwertverteilung ist nicht gleichmäßig; entspricht nicht der "Glockenkurve"</i>

Unausgeglichene Histogramme	Ursache / Auswirkung	Bild von entsprechenden Histogrammen
Histogrammkurven der einzelnen Farbkanäle differieren stark	 <i>Abbildung 30: Bild hat Farbstich</i>	 <i>Abbildung 31: Histogramm des Rotkanals weicht ab</i>

3. Prüfung der Farbbalance, Grauwertmessung

Grundlage für die Beurteilung sind in der Natur vorkommende Flächen, die in der Mitte des Bildes abgebildet sein sollten (Kontrollflächen).

Geeignet zur Prüfung

- der mittleren Grauwerte (grau) sind z. B. steingraue oder asphaltgraue Fahrbahnen oder Parkplatzflächen,
- der sehr hellen Bereiche (weiß) z. B. helle Flächen, wie Autodächer, LKW-Planen oder Flachdächer und
- der sehr dunklen Bereichen (fast schwarz) z. B. dunkle Schattenbereiche an Gebäuden, Vegetation oder anderen Objekten.

Zur Analyse reicht es aus, das Mittel der Pixelwerte in jeweils 3 x 3 oder 5 x 5 Pixel großen Bildausschnitten (Kontrollflächen) mit einem geeigneten Bildverarbeitungsprogramm / Farbpipetten-Tool zu ermitteln.

Die Kanäle R, G und B sollten in den Kontrollflächen sehr ähnliche numerische Werte aufweisen. Abweichungen von bis zu 10 Werten bei 8-bit-Bildern sind akzeptabel. Weicht der Grauwert eines Kanals deutlich ab, ist wahrscheinlich ein Farbstich im gesamten Bild vorhanden.

Sehr helle Bereiche sollten Grauwerte im Bereich < 250 (bei 8-bit-Bildern) aufweisen; jedoch keine Maximalwerte von 255 erreichen.

Sehr dunkle Bereiche sollten Grauwerte im Bereich 10-50 (bei 8-bit-Bildern) aufweisen; jedoch keine Minimalwerte mit 0 enthalten.

Beispiele zur Messung von Grauwerten:

- Festlegen geeigneter Kontrollflächen, z. B. auf hellen Dächern, Straßen oder in Schattenbereichen
- Ermittlung der Pixelwerte in diesen Bereichen und ggf. statistische Auswertung

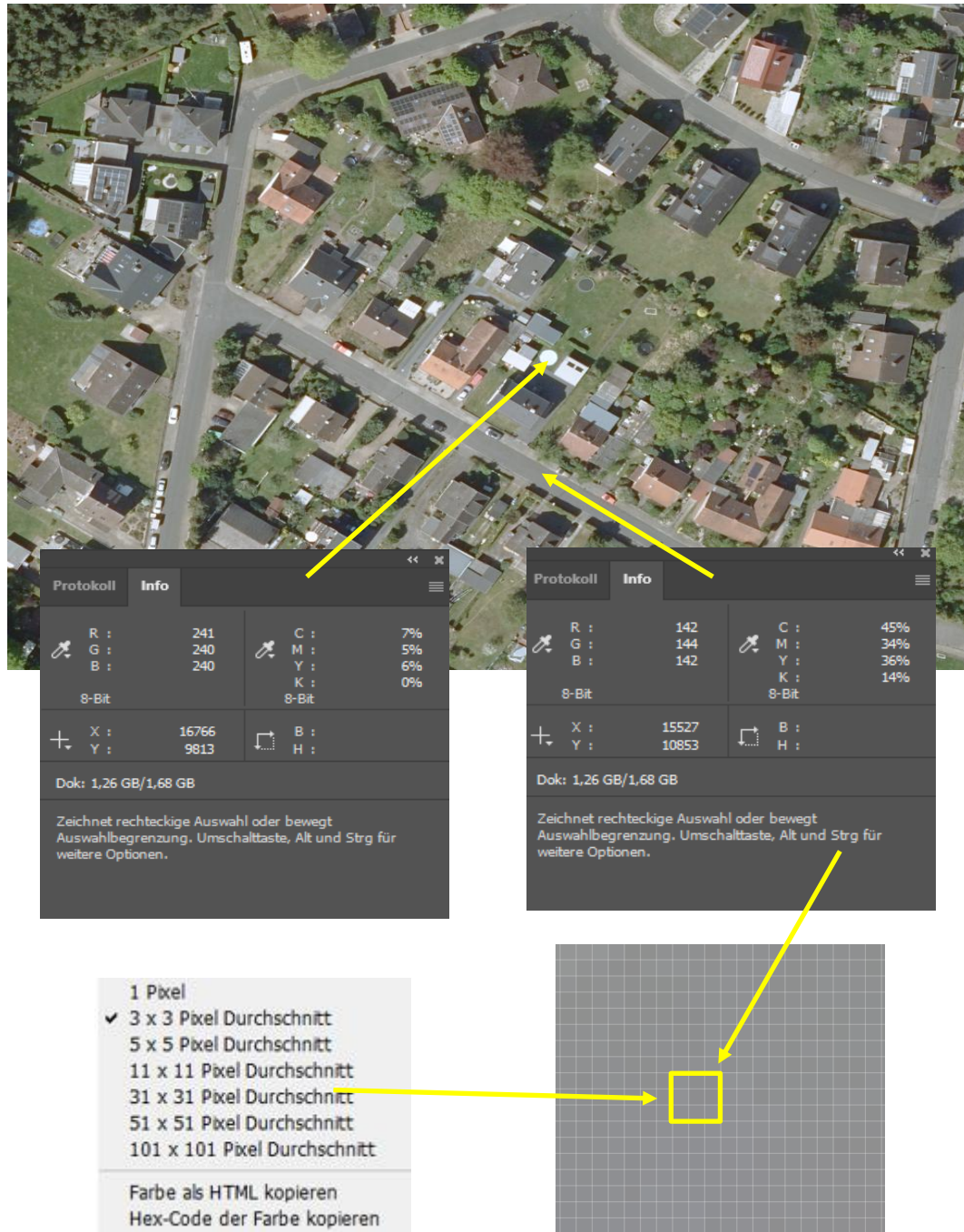


Abbildung 32: Prüfung von Grauwerten an Kontrollflächen

4. Prüfung des Nahinfrarotkanals (NIR)

Im NIR-Kanal eines Luftbildes wird die Reflexion von Licht im nahen Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums erfasst. Der NIR-Bereich liegt üblicherweise zwischen etwa 0,7 bis 1,3 Mikrometer und folgt damit direkt nach dem sichtbaren roten Licht.

Der NIR-Kanal ist besonders nützlich, um belaubte Vegetation und Wasserflächen zu identifizieren. Gesunde Pflanzen reflektieren besonders stark im nahen Infrarotbereich während Wasserflächen im nahen Infrarotbereich wenig bis gar kein Licht reflektieren. Bei Wasserflächen ist jedoch zu beachten, dass hier durch Trübung und Zusammensetzung des Wassers (z. B. Algen) Abweichungen entstehen können.

Für das Histogramm des NIR-Kanals gilt das gleiche, wie für die Farbkanäle. Das Histogramm soll eine breite Verteilung über die gesamte Grauwertskala aufweisen und keine Lücken, Extremwerte oder abgeschnittene Randwerte haben. Bei der visuellen Überprüfung des NIR-Kanals sollte gesunde Vegetation hell erscheinen und Wasser sehr dunkel bis schwarz.

Der NIR-Kanal wird oft verwendet, um verschiedene Indizes zu berechnen. Ein sehr weit verbreiteter Index ist der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), der genutzt wird, um die Vegetationsbedeckung und den Zustand der Vegetation festzustellen.

Das Verhältnis von rotem Kanal zu infrarotem Kanal (NIR) ist von entscheidender Bedeutung bei der Berechnung des NDVI, da der NDVI u. a. aus der Differenz dieser beiden Kanäle berechnet wird. Es ist darauf zu achten, dass bei der radiometrischen Bearbeitung des roten Kanals auch der NIR-Kanal im gleichen Maße mit verändert wird. Zur Überprüfung des Verhältnisses wird empfohlen, den NDVI stichprobenartig zu berechnen und auszuwerten. Ergeben sich plausible Werte, ist dies ein Hinweis darauf, dass das Verhältnis von rotem zu infrarotem Kanal im Wesentlichen gewahrt wurde.

5. Auswirkungen der Radiometrie auf KI-Algorithmen

Die Auswirkung der Radiometrie auf KI-Algorithmen ist ein relevanter und zunehmend wichtiger Aspekt, insbesondere in der Luftbildanalyse und Bildklassifikation.

Nach aktuellem Kenntnisstand zeigt sich, dass eine vom Menschen als „gut“ empfundene Radiometrie (z. B. harmonische Farbverteilung oder visuell angenehmer Kontrast) nicht zwingend entscheidend für die Leistung von KI-Algorithmen ist. KI kann durchaus mit Bildmaterial arbeiten, das aus menschlicher Sicht als qualitativ minderwertig erscheint, solange die für die Algorithmen relevanten Merkmale enthalten und für diese erkennbar sind.

Dennoch bleibt eine gute radiometrische Qualität im Sinne der Histogrammprüfung unter Punkt 2 wichtig, da sie sicherstellt, dass ausreichend strukturierte und differenzierte Bildinformationen vorliegen.