

LEISTUNGSBESCHREIBUNG: VERMESSUNGSDIENSTLEISTUNGEN MITTELS PUNKTWOLKEN-ERFASSUNG (TLS, MLS, ULS)



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Geltungsbereich	3
1.1 Zweck des Dokuments	3
1.2 Anwendungsbereich	3
1.3 Begriffsdefinitionen	3
2. Allgemeine Anforderungen an die Vermessungsleistung	4
2.1 Qualifikation des Auftragnehmers (AN)	4
2.2 Anzuwendende Normen und Richtlinien	5
2.3 Geodätischer Raumbezug und Koordinatensysteme	5
2.4 Grundsätze der Registrierung und Georeferenzierung	6
2.5 Qualitätssicherung und Dokumentation (Qualitätsbericht)	6
2.6 Genehmigungen, Sicherheit und Datenschutz (DSGVO)	7
3. Spezifikation: Terrestrisches Laserscanning (TLS)	7
3.1 Anwendungsbereich im Kontext der AIA	7
3.2 Anforderungen an die Genauigkeit	8
3.3 Anforderungen an Punktdichte und Auflösung	8
3.4 Spezifische Anforderungen (AIA-Konformität)	9
4. Spezifikation: Mobiles Laserscanning (MLS - Handheld-Systeme)	10
4.1 Anwendungsbereich im Kontext der AIA	10
4.2 Anforderungen an Genauigkeit & Georeferenzierung	10
4.3 Anforderungen an Punktdichte	11
4.4 Spezifische Anforderungen (Datenaufbereitung)	11
5. Spezifikation: Drohnen-LiDAR-Scanning (ULS/UAV)	12
5.1 Anwendungsbereich im Kontext der AIA	12
5.2 Anforderungen an Genauigkeit & Georeferenzierung	12
5.3 Anforderungen an Punktdichte & Penetration	13
5.4 Spezifische Anforderungen (AIA-Konformität & Datenstruktur)	13
6. Schlussbestimmungen und Datenlieferung	14
6.1 Prozess der Datenlieferung (CDE)	14
6.2 Qualitätssicherung und Abnahme	14
6.3 Liefergegenstände	14
6.4 Spezifikation: Ableitung von Vektordaten und Planerstellung	15

1. EINLEITUNG UND GELTUNGSBEREICH

1.1 ZWECK DES DOKUMENTS

Dieses Dokument fungiert als **fachspezifische Anlage zur Auftraggeber Informationsanforderung (AIA)** der Aufbau- und Entwicklungsgesellschaft Bad Neuenahr-Ahrweiler mbH (AuEG).

Es definiert die verbindlichen technischen Spezifikationen und Qualitätsanforderungen für die Erfassung, Verarbeitung und Lieferung von dreidimensionalen (3D) Punktwolken, die mittels Terrestrischem Laserscanning (TLS), Mobilem Laserscanning (MLS, handgeführt) und/oder Unmanned Laser Scanning (ULS / Drohnen-LiDAR) gewonnen werden.

Ziel ist die Sicherstellung einer qualitativ hochwertigen, AIA-konformen Datenbasis, die nahtlos in den **Kollaborations-Twin** (Autodesk Construction Cloud - ACC) und den **Digitalen Zwilling** der Stadt (QGIS) integriert werden kann.

1.2 ANWENDUNGSBEREICH

Die in diesem Dokument festgelegten Spezifikationen gelten für alle Vermessungsleistungen im Geltungsbereich der AIA und dienen insbesondere der Erfüllung folgender **BIM-Anwendungsfälle (AWF)** gemäß AIA Kapitel 6:

- **AWF 1: Ur-Bestandsvermessung / Bestandserfassung:** Initiale, umfassende Vermessung des Projektgebiets (Gelände, Gebäude, Ingenieurbauwerke) als Grundlage für die Modellerstellung und Georeferenzierung (siehe AIA Kap. 5.1.2).
- **AWF 19.2: Dokumentation verdeckter Leistungen:** Baubegleitendes Aufmaß von Bauteilen und Infrastrukturelementen (z. B. Leitungsgräben, Rohre), die im Endzustand nicht mehr sichtbar sind, zur Sicherstellung der As-Built-Dokumentation (siehe AIA Kap. 5.1.3).

Die Anforderungen fokussieren auf die Interoperabilität der Daten mit den in der AIA definierten Zielsystemen (ACC, QGIS/MapComponent/MapBender, BIM-Autorensoftware wie Revit/Vectorworks/Archicad) unter strikter Einhaltung der Vorgaben der AuEG.

1.3 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Ergänzend zum **Fachvokabular der AIA (Kapitel 4.1)** gelten für die technische Ausführung der Vermessung folgende Definitionen:

- **Punktwolke (Point Cloud):** Eine Sammlung von diskreten Punkten im dreidimensionalen Raum. Jeder Punkt besitzt mindestens X-, Y-, Z-Koordinaten (im Projekt-KRS) und muss zusätzliche Attribute wie Intensität und , RGB-Werte und Klassifikationen gemäß ASPRS-Standard enthalten.
- **Terrestrisches Laserscanning (TLS):** Ein bodengestütztes, statisches Messverfahren für höchste Genauigkeitsansprüche (z. B. Hochbau, Ingenieurbauwerke).
- **Mobiles Laserscanning (MLS):** Ein kinematisches Messverfahren (hier: tragbare Handheld-Systeme) für die schnelle Erfassung.

- **SLAM (Simultaneous Localization and Mapping):** Algorithmischer Ansatz für MLS-Systeme, um gleichzeitig die Umgebung zu kartieren und die eigene Position zu bestimmen. Wichtig: Erfordert Maßnahmen zur Drift-Kontrolle (siehe Kap. 4.2).
- **Unmanned Laser Scanning (ULS):** Drohnengestütztes LiDAR-Verfahren zur flächenhaften Erfassung aus der Luft.
- **Registrierung:** Die Transformation mehrerer Einzelscans in ein homogenes Gesamtmodell.
- **Georeferenzierung:** Die Transformation der Punktwolke in das von der AIA verbindlich vorgegebene Koordinatenreferenzsystem (siehe Abschnitt 2.3).
- **Klassifizierung:** Die semantische Zuordnung von Punkten zu Objektklassen (z. B. Boden, Vegetation, Gebäude) gemäß ASPRS-Standard, zwingend erforderlich für die Nutzung im Digitalen Zwilling.
- **Punktdichte:** Maß für die Auflösung der Punktwolke (mittlerer Punktabstand in mm oder Punkte/m²). Sie entscheidet über die Erkennbarkeit von Details (LoD).
- **Genauigkeit (Accuracy) vs. Präzision:**
 - *Absolute Genauigkeit:* Abweichung der Punktwolke vom wahren Wert im übergeordneten Koordinatensystem (entscheidend für Georeferenzierung).
 - *Relative Genauigkeit (Präzision):* Rauschen der Punkte zueinander (entscheidend für Detailerkennbarkeit).
- **DGM (Digitales Geländemodell):** Repräsentation der reinen Geländeoberfläche (ohne Vegetation/Bebauung), oft abgeleitet aus klassifizierten ULS-Daten.
- **DOM (Digitales Oberflächenmodell):** Repräsentation der Oberfläche inkl. Objekte (Vegetation, Gebäude).

2. ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN DIE VERMESSUNGSLEISTUNG

2.1 QUALIFIKATION DES AUFTRAGNEHMERS (AN)

Der AN muss nachweislich über umfassende Expertise und praktische Erfahrung in der Anwendung der ausgeschriebenen Laserscanning-Verfahren (TLS, MLS, ULS) sowie in der BIM-konformen Datenaufbereitung verfügen. Dies beinhaltet den Einsatz von qualifiziertem Fachpersonal (z. B. Vermessungsingenieure, Geomatiker) und geeigneter Hard-/Software. Relevante Referenzen sind auf Verlangen vorzulegen.

2.2 ANZUWENDENDE NORMEN UND RICHTLINIEN

Alle Leistungen sind gemäß dem aktuellen Stand der Technik durchzuführen. Neben den fachspezifischen Normen sind die Vorgaben der AIA zur BIM-Methodik bindend. Es gelten insbesondere:

- **DIN 18710:** Ingenieurvermessung (Teil 1-4).
- **VDI 2552 Blatt 5:** BIM – Datenmanagement (gemäß AIA Vorgabe).
- **DIN EN ISO 19650-1:** Informationsmanagement mit BIM.
- **Baufachliche Richtlinien Vermessung (BFR Verm):** Soweit für Liegenschaften des Bundes oder durch den AG gefordert.
- **DVW-Merkblätter:** Insb. Merkblatt 7-2014 (TLS-Prüfung) und 9-2019 (Qualitätssicherung).

2.3 GEODÄTISCHER RAUMBEZUG UND KOORDINATENSYSTEME

Die Einhaltung des vorgegebenen Koordinatenreferenzsystems (KRS) ist zwingende Voraussetzung für die Annahme der Daten im **Kollaborations-Twin (ACC)**. Abweichende oder lokale Systeme sind nicht zulässig.

Gemäß **AIA Kapitel 5.1.1** gelten folgende verbindliche Systeme:

- **Lagesystem:** ETRS89 / UTM Zone 32N (**EPSG: 25832**)
- **Höhensystem:** DHHN2016 im Höhenstatus 170 (**EPSG: 7837**)

NETZANSCHLUSS & PRÜFUNG (REFERENZIERUNG):

Der Auftragnehmer muss sicherstellen, dass die Scans exakt im amtlichen Koordinatensystem liegen (Netzanschluss). Dies kann auf zwei Arten erfolgen:

1. Klassisch: Durch Anschluss an vorhandene amtliche Festpunkte (z. B. Grenzsteine, Bolzen).
2. Digital (Real Time Kinematic): Durch Nutzung von satellitengestützten RTK-Korrekturdatendiensten (z. B. SAPOS), sofern das Messsystem dies unterstützt.

Wichtig (Kontrollmessung): Unabhängig vom gewählten Verfahren (auch bei Nutzung von SAPOS) ist vor Beginn der Arbeiten zwingend eine Identitätsprüfung (Reality-Check) durchzuführen. Dabei ist mindestens ein bekannter Festpunkt oder Kontrollpunkt zu messen, um systembedingte Fehler (z. B. fehlerhaftes GPS-Signal) auszuschließen. Die dabei festgestellten Abweichungen (Restklaffungen) zwischen der eigenen Messung und dem amtlichen Soll-Wert sind im Qualitätsbericht zu dokumentieren.

2.4 GRUNDSÄTZE DER REGISTRIERUNG UND GEOREFERENZIERUNG

Die einzelnen Scans (TLS/MLS/ULS) sind zu einer homogenen, geometrisch widerspruchsfreien Gesamtpunktwolke zu registrieren und anschließend in das Projekt-KRS zu transformieren.

REGISTRIERUNG:

Die relative Orientierung der Scans zueinander muss so präzise sein, dass in Überlappungsbereichen keine signifikanten Doppelkonturen oder "Geisterbilder" entstehen.

GEOREFERENZIERUNG:

Die absolute Lagerung der Punktwolke im Projekt-KRS erfolgt:

- **Bei statischen Verfahren (TLS):** Über eingemessene Passpunkte (GCPs, amtliche Festpunkte, RTK).
- **Bei mobilen Verfahren (MLS/ULS):** Über eine präzise berechnete Bahnkurve (Trajektorie). Diese wird durch den SLAM-Algorithmus (unter Fusion von LiDAR-Daten und IMU-Trägheitssensorik) berechnet und mittels GNSS/RTK oder Passpunkten absolut im Koordinatensystem verortet und gestützt. Verbot lokaler Koordinaten: Die Lieferung von Punktwolken in lokalen Scanner-Koordinaten oder beliebigen Ursprüngen ist gemäß AIA Kapitel 5.1.4.5 untersagt.

2.5 QUALITÄTSSICHERUNG UND DOKUMENTATION (QUALITÄTSBERICHT)

Ein durchgängiges Qualitätssicherungskonzept ist integraler Bestandteil der Leistung.

INSTRUMENTENPRÜFUNG:

Die verwendeten Sensoren müssen regelmäßig kalibriert werden. Ein aktueller Kalibriernachweis ist auf Anforderung vorzulegen.

QUALITÄTSBERICHT (GEMÄß AIA):

Der AN erstellt für jeden **Data Drop** (Datenlieferung) einen Qualitätsbericht. Dieser muss gemäß **AIA Kapitel 10.2** bestätigen:

- Die Einhaltung der geforderten Genauigkeit (Soll/Ist-Vergleich an Kontrollpunkten).
- Die korrekte Georeferenzierung im System EPSG 25832 / DHHN2016.
- Die AIA-Konformität der Datenstruktur und Formate.
- Die durchgeführte Bereinigung nach DSGVO (Filterung von Rauschen, Störobjekten, Personen, Kennzeichen ...).
- Klassifizierung gemäß ASPRS-Standard

2.6 GENEHMIGUNGEN, SICHERHEIT UND DATENSCHUTZ (DSGVO)

GENEHMIGUNGEN:

Der AN ist verantwortlich für die Einhaltung aller luftrechtlichen (bei ULS) und sicherheitsrelevanten Vorschriften.

DATENSCHUTZ:

Die erfassten Daten (insbesondere Bilddaten und kolorierte Punktwolken) müssen gemäß **AIA Kapitel 4.4.2** und geltender **DSGVO** behandelt werden.

- Personenbezogene Merkmale (Gesichter, KFZ-Kennzeichen) sind in Bilddaten und kolorierten Punktwolken unkenntlich zu machen (Verpixelung), sofern die Daten veröffentlicht oder an Dritte weitergegeben werden sollen und keine andere Rechtsgrundlage besteht.
- Die Lieferung in den Kollaborations-Twin hat "DSGVO-konform" zu erfolgen. Die Originaldateien mit Personenbezogenen Daten müssen auf allen Speichermedien gelöscht und durch die Zensierten und verarbeiteten Daten ersetzt werden. (z.B. Gesichter, Kennzeichen)

3. SPEZIFIKATION: TERRESTRISCHES LASERSCANNING (TLS)

3.1 ANWENDUNGSBEREICH IM KONTEXT DER AIA

Das Terrestrische Laserscanning (TLS) ist das Referenzverfahren für höchste geometrische Ansprüche. Es ist gemäß AIA primär für folgende Aufgaben einzusetzen:

- **AWF 1 (Bestandserfassung):** Für komplexe Ingenieurbauwerke (Brücken, Tunnel), Fassaden mit hohem Detailgrad oder Innenräume, bei denen die Genauigkeit von MLS/SLAM nicht ausreicht.
- **AWF 19.2 (Dokumentation verdeckter Leistungen):** Für die präzise Einmessung kritischer Anschlusspunkte (z. B. Flansche, Passstücke, Rohre, Leitungen) vor der Verfüllung.
- **Referenzierung:** Als "Skelett" zur Stützung und Kontrolle von mobilen Messverfahren (MLS/ULS).

3.2 ANFORDERUNGEN AN DIE GENAUIGKEIT

Die Genauigkeit definiert sich als Standardabweichung (Sigma) der 3D-Koordinaten im Projekt-KRS nach erfolgter Georeferenzierung.

STANDARD-ANFORDERUNG (FALLS NICHT ANDERS VEREINBART):

Es gilt die Genauigkeitsstufe OGL 3 / OGH 3 (gemäß BFR Verm / DIN 18710) als vereinbart. Dies entspricht dem Standard für Hochbau und BIM-Modellierung (Maßstab 1:50).

- **Lagegenauigkeit:** 15 mm
- **Höhengenaugkeit:** 5 mm

Hinweis: Höhere Genauigkeiten (z. B. OGL 4 für Stahlbau/Maschinenbau < 5 mm) sind nur bei gesonderter technischer Notwendigkeit abzurufen, um die Datenmengen für den Digitalen Zwilling handhabbar zu halten.

PROBLEMFLÄCHEN:

Der Auftragnehmer hat durch geeignete Scan-Planung (Standorte, Winkel) sicherzustellen, dass Rauschen auf kritischen Oberflächen (nass, schwarz, spiegelnd) minimiert wird. Systembedingte Abweichungen an Kanten (Mixed-Pixel) sind bei der Auswertung zu berücksichtigen.

3.3 ANFORDERUNGEN AN PUNKTDICHTE UND AUFLÖSUNG

Die Punktdichte muss so gewählt werden, dass die geometrischen Anforderungen des **LOIN (Level of Information Need)** gemäß AIA Kapitel 11.3 erfüllt werden, ohne unnötige Datenredundanz zu erzeugen.

VORGABE:

- **Auflösung:** Mittlerer Punktabstand von **5 mm bis 10 mm** am Objekt ist für Standard-BIM-Anwendungen (Wände, Fenster, TGA-Hauptleitungen) ausreichend.
- **Homogenität:** Die Scans sind so zu planen, dass durch Überlappung und Standpunktwahl eine möglichst vollständige Abdeckung ohne relevante Schattenbereiche erreicht wird.

3.4 SPEZIFISCHE ANFORDERUNGEN (AIA-KONFORMITÄT)

Um die Nutzbarkeit der Daten sowohl im **Digitalen Zwilling (GIS)** als auch im **Kollaborations-Twin (ACC)** sicherzustellen, gelten folgende Vorgaben für Aufbereitung und Formate:

Klassifizierung (Zwingend nach ASPRS):

Die Punktwolke ist zwingend zu klassifizieren, um eine automatische Filterung im Digitalen Zwilling zu ermöglichen. Es gilt der **ASPRS-Standard**:

- Class 2 = Ground (Boden)
- Class 3/4/5 = Vegetation (Niedrig/Mittel/Hoch)
- Class 6 = Building (Gebäude)
- Class 7 = Noise (Rauschen/Störpunkte – diese sind zu bereinigen)

Lieferformate (Anwendungsbezogen):

Der Auftragnehmer hat die Daten in dem Format zu liefern, das dem jeweiligen Verwendungszweck entspricht (ggf. sind beide Formate zu liefern):

- **Für Auswertung & Digitaler Zwilling (Standard):** Lieferung als **LAS (1.4)** oder **LAZ**. Fokus liegt hier auf der korrekten Klassifizierung und Attributierung (Intensität, RGB, Zeitstempel).
- **Für Visualisierung im ACC Viewer (Bubble-View):** *Nur sofern für den Anwendungsfall gefordert,* ist zusätzlich oder alternativ eine **strukturierte E57-Datei** zu liefern. Diese muss zwingend die einzelnen Scanner-Standpunkte inklusive der **sphärischen 360°-Panoramabilder** enthalten, um die "Bubble-View"-Navigation in der Autodesk Construction Cloud zu gewährleisten.

FARBDATENERFASSUNG (RGB) & INTENSITÄT:

- Die Erfassung hat grundsätzlich in **Farbe (RGB)** zu erfolgen, um die Interpretierbarkeit für Nicht-Vermesser zu gewährleisten.
- Die **Intensitätswerte** des Rücksignals müssen in jedem Punkt als Attribut gespeichert sein (unabhängig vom Format).

4. SPEZIFIKATION: MOBILES LASERSCANNING (MLS - HANDHELD-SYSTEME)

4.1 ANWENDUNGSBEREICH IM KONTEXT DER AIA

Das Mobile Laserscanning (MLS) mittels handgeführter Systeme (SLAM) dient der schnellen, flächenhaften Erfassung aus der **Perspektive des Menschen**. Es positioniert sich als das ideale Verfahren in der Lücke zwischen Boden und Luft:

ES KOMMT DORT ZUM EINSATZ, WO:

- **Die Drohne "blind" ist:** In Bereichen unter dichtem Blätterdach, Vordächern, Brücken oder in engen Bebauungslücken, die aus der Luft nicht einsehbar sind.
- **Der statische Scanner (TLS) zu langsam oder zu aufwändig ist:** Bei großflächigen Arealen, wo der ständige Umbau des Stativs unwirtschaftlich wäre und die extreme Genauigkeit des TLS (Millimeterbereich) für den Zweck nicht erforderlich ist.

PRIMÄRE EINSATZZWECKE:

- **Großflächige Bestandsaufnahmen:** Effiziente Erfassung von Straßenzügen, Quartieren, komplexen Außenanlagen oder Parklandschaften.
- **Vegetationsdurchdringung am Boden:** Erfassung der Geländestruktur unter Bäumen und Büschen, wo Photogrammetrie versagt und Drohnen-LiDAR durch das Kronendach limitiert sein kann.
- **Schnelle Innenraum-Erfassung:** Geometrieerfassung von Rohbauten, Kellergewölben oder Treppenhäusern für Massenmodelle (LoD 200/300).

4.2 ANFORDERUNGEN AN GENAUIGKEIT & GEOREFERENZIERUNG

Das Verfahren ist für Anwendungen mit moderaten Genauigkeitsanforderungen (ca. 1–3 cm) ausgelegt.

GENAUIGKEITSVORGABEN:

- **Absolute Genauigkeit (im Projekt-KRS):** 30 mm (Standard für Lage & Höhe).
- **Relative Genauigkeit (Lokal):** 10 – 20 mm (abhängig vom System).

MESSFÜHRUNG & REFERENZIERUNG:

Der Auftragnehmer hat durch geeignete Messführung (z. B. Beachtung von Loop Closures / geschlossenen Schleifen) sicherzustellen, dass die systembedingte Drift durch die Auswertesoftware kompensiert wird.

Zur Gewährleistung der AIA-konformen Lage im EPSG 25832 ist die Trajektorie durch hinreichende Passpunkte (GCPs) oder, sofern systemseitig unterstützt, durch präzises GNSS/RTK zu stützen.

4.3 ANFORDERUNGEN AN PUNKTDICHTE

Die Punktdichte ist projektspezifisch und wirtschaftlich sinnvoll festzulegen.

VORGABE:

- **Detail-Erfassung:** Ab **5 mm** (z. B. für Fassadendetails oder Innenräume).
- **Gelände-Erfassung (DGM):** Bis zu **20 cm** Rasterweite (z. B. für reine Geländemodelle in bewachsenen Bereichen), sofern die Geländeform dadurch hinreichend repräsentiert wird.

4.4 SPEZIFISCHE ANFORDERUNGEN (DATENAUFBEREITUNG)

Um die Daten im **Digitalen Zwilling (GIS)** und im **Kollaborations-Twin (ACC)** nutzen zu können, gelten folgende Vorgaben:

KLASSIFIZIERUNG (ZWINGEND NACH ASPRS):

Die Rohdaten sind zu bereinigen. Bewegliche Objekte (Personen, Autos), die während der Aufnahme durch das Bild gelaufen sind ("Geisterpunkte"), sind zu entfernen. Die statischen Punkte sind gemäß ASPRS-Standard zu klassifizieren (mind. Boden, Gebäude, Vegetation).

LIEFERFORMATE:

- **Standard (GIS/BIM):** Lieferung als klassifizierte **LAS (1.4)** oder **LAZ**.
- **Visualisierung (ACC):** *Sofern vom System unterstützt und beauftragt:* Lieferung als **E57** inkl. integrierter Panoramabilder für die Viewer-Nutzung.

DATENSCHUTZ:

Da MLS-Systeme häufig im öffentlichen Raum (Straßenniveau) eingesetzt werden, sind personenbezogene Daten (z.B. Gesichter, Kennzeichen) in den Bildinformationen und kolorierten Punktwolken gemäß DSGVO unkenntlich zu machen, bevor die Daten in die CDE hochgeladen werden.

Die Originaldateien mit Personenbezogenen Daten müssen auf allen Speichermedien gelöscht und durch die Zensierten und verarbeiteten Daten ersetzt werden.

5. SPEZIFIKATION: DROHNEN-LIDAR-SCANNING (ULS/UAV)

5.1 ANWENDUNGSBEREICH IM KONTEXT DER AIA

Das Unmanned Laser Scanning (ULS / Drohnen-LiDAR) dient der flächendeckenden **Ur-Bestandsvermessung (AWF 1)** aus der Luft. Es ist das primäre Verfahren für die Erstellung des Digitalen Geländemodells (DGM) und Oberflächenmodells (DOM) im **Digitalen Zwilling**.

PRIMÄRE EINSATZZWECKE:

- **Geländemodellierung unter Vegetation:** Erfassung des tatsächlichen Geländes (Bodenpunkte) in bewaldeten oder verbuschten Bereichen, wo photogrammetrische Verfahren durch das Blätterdach blockiert werden.
- **Infrastruktur-Korridore:** Effiziente Vermessung von Flussläufen (Ahr), Deichen oder langen Straßenzügen.
- **Dachlandschaften & Unzugängliche Bereiche:** Lückenlose Erfassung von Dächern und Fassadenoberteilen, die vom Boden (TLS/MLS) nicht einsehbar sind.

5.2 ANFORDERUNGEN AN GENAUIGKEIT & GEOREFERENZIERUNG

Die geforderte Genauigkeit ist nur durch moderne GNSS-Systeme mit Phasenmessung (RTK/PPK) wirtschaftlich zu erreichen.

Systemvoraussetzung (Zwingend):

Der Einsatz von UAV-Systemen mit RTK- (Real Time Kinematic) oder PPK-Unterstützung (Post Processed Kinematic) ist verbindlich vorgeschrieben. Reine Standard-GNSS-Navigation (ohne Korrekturdaten) ist für Vermessungszwecke im Rahmen dieser AIA nicht zulässig.

GENAUIGKEITSVORGABEN:

- **Absolute Genauigkeit (im Projekt-KRS):**
 - **Befestigte Flächen (Hartflächen):** 3 – 5 cm.
 - **Allgemeines Gelände / Vegetation:** 5 – 10 cm (physikalisch bedingt durch Laser-Footprint und IMU-Winkel).
- **Relative Genauigkeit (Rauschen):** 3 cm.

REFERENZIERUNG & VALIDIERUNG:

Trotz RTK/PPK-Genauigkeit ist zur Qualitätssicherung und Vermeidung von systematischen Höhenfehlern (z. B. durch falsche Antennen-Offsets oder Koordinatentransformationen) folgendes zwingend:

- **Passpunkte (GCPs):** Es sind Passpunkte (mind. 1 pro 10–20 ha, aber mind. 3–5 im Projektgebiet) zur unabhängigen Kontrolle und ggf. Höhenanpassung zu verwenden.
- **Boresight-Kalibrierung:** Der Nachweis einer korrekten Kalibrierung zwischen Laserscanner und IMU ist vorzuhalten um Doppelbilder nachweislich auszuschließen.

5.3 ANFORDERUNGEN AN PUNKTDICHTE & PENETRATION

Entscheidend für die DGM-Erstellung ist nicht die Punktdichte auf den Baumkronen, sondern am Boden.

VORGABEN:

1. **Multitarget-Fähigkeit (Zwingend):** Der Sensor muss in der Lage sein, **Mehrfach-Echos (Multiple Returns)** zu verarbeiten (mind. 2, besser 3 Echos), um durch Vegetation bis zum Boden zu messen.
2. **Punktdichte:**
 - **Standard DGM:** Mittlere Dichte von **20 – 50 Punkten/m²** auf offenen Flächen.
 - **Detail-Erfassung:** Bei Bauwerken oder feinen Strukturen > 100 Punkte/m² (projektspezifisch festzulegen).
3. **Flugplanung:** Die Überlappung der Flugstreifen ist so zu wählen (typisch > 50 %), dass keine Datenlücken entstehen und die Punktdichte homogen verteilt ist.

5.4 SPEZIFISCHE ANFORDERUNGEN (AIA-KONFORMITÄT & DATENSTRUKTUR)

Damit die großen Datenmengen im **Digitalen Zwilling (QGIS)** performant verarbeitet werden können, gelten gemäß AIA Kapitel 5.1.4.4 folgende strenge Vorgaben:

KLASSIFIZIERUNG (ZWINGEND NACH ASPRS):

Dies ist der wichtigste Schritt für ULS-Daten. Die Punktwolke muss vollautomatisch nutzbar sein.

- **Class 2 = Ground (Boden):** Essenziell für die Berechnung des DGM. Die Trennung zwischen Vegetation und Boden muss sauber erfolgen.
- **Class 3/4/5 = Vegetation:** Niedrig / Mittel / Hoch.
- **Class 6 = Building:** Gebäude / Bauwerke.
- **Class 7/18 = Noise:** Rauschen in der Luft (Vögel, Staub) oder unter Bodenniveau (Multipath) ist zwingend zu entfernen.

LIEFERFORMAT & KACHELUNG:

- **Format:** Ausschließlich **LAS (1.4)** oder **LAZ** (verlustfrei komprimiert). E57 ist für ULS nicht gefordert, da Panoramen hier meist fehlen.
- **Kachelung (Tiling):** Gemäß **AIA Vorgabe** müssen große Datensätze (> 2 GB) räumlich gekachelt geliefert werden.
 - Die Kachelung muss einem logischen Raster folgen (z. B. 500x500m oder 1x1km im UTM-Gitter).
 - Der Dateiname muss die Koordinate der linken unteren Kachelecke enthalten (oder einem vereinbarten Nummernschema folgen), um den Import zu automatisieren.
 - Die Informationen aller Kacheln werden in einer CSV-Datei zusammengeführt, die aus jeweils einer Zeile pro Kachel besteht, in der das Semikolon als Trennzeichen dient.

ZUSATZDATEN (OPTIONAL):

Falls gleichzeitig Orthophotos erstellt werden, sind diese georeferenziert als GeoTIFF (mit Worldfile) zu liefern.

6. SCHLUSSBESTIMMUNGEN UND DATENLIEFERUNG

6.1 PROZESS DER DATENLIEFERUNG (CDE)

Die Übergabe der Ergebnisse erfolgt nicht physisch, sondern ausschließlich digital über die **Common Data Environment (CDE)** des Auftraggebers. Gemäß **AIA Kapitel 8** ist dies die **Autodesk Construction Cloud (ACC)**.

- **Lieferweg:** Upload in den zugewiesenen Projektraum des Kollaborations-Twins.
- **Namenskonvention:** Alle Dateien müssen zwingend der **Dateinamenskonvention der AuEG** folgen. Die Gesamtpfadlänge darf 200 Zeichen nicht überschreiten.
- **Zeitpunkt:** Die Lieferung erfolgt zu den vertraglich vereinbarten **Data Drops** (Meilensteinen).

6.2 QUALITÄTSSICHERUNG UND ABNAHME

Die formale Abnahme der Leistung ist an den erfolgreichen Nachweis der Qualität geknüpft.

- **Qualitätsbericht (Zwingend):** Jeder Lieferung (Data Drop) ist ein **Qualitätsbericht** beizufügen (als PDF/A). Dieser muss bestätigen:
 - Die Einhaltung der geforderten Genauigkeit (Soll-Ist-Vergleich an Passpunkten).
 - Die korrekte Georeferenzierung im System **EPSG 25832**.
 - Die Durchführung der Boresight-Kalibrierung (bei ULS/MLS).
 - Die erfolgreiche Klassifizierung und Bereinigung der Punktwolke (ASPRS-Standard).
- **Prüfung durch den AG:** Der Auftraggeber prüft die gelieferten Daten stichprobenartig auf Vollständigkeit, Genauigkeit und AIA-Konformität. Werden Mängel festgestellt (z. B. "Geisterpunkte", fehlende Klassifizierung, Lagefehler), gilt der Data Drop als **nicht erfolgt** und ist vom Auftragnehmer nachzubessern.

6.3 LIEFERGEGENSTÄNDE

Alle Liefergegenstände sind im Koordinatenbezugssystem ETRS/UTM32 EPSG:25832 ohne Zonenkennung mit 6-stelligem Ost- und 7-stelligem Nordwert sowie im Höhenbezugssystem DHHN2016 zu erstellen und zu übergeben. Auf Planunterlagen im PDF Format sind diese Angaben, zzgl. des Datums der Vermessung, mit aufzunehmen.

Sofern im Projektauftrag nicht anders spezifiziert, müssen zusätzlich zur Punktwolke folgende Produkte geliefert werden:

- **Qualitätsbericht (PDF/A)**
- **Orthophotos:** 0.01 m aufgelöste, georeferenzierte und maßstäbliche Orthofotos (GeoTIFF).

- **Digitales Geländemodell (DGM):** Als vermaschtes Dreiecksnetz (TIN) der bereinigten Geländeoberfläche unter Berücksichtigung der Zwangspunkte & Bruchkanten (ASCII DXF & GeoTIFF).
- **2D-CAD-Pläne:** Lagepläne, Grundrisse, Schnitte und Ansichten (DWG & PDF/A), abgeleitet aus den Laserscandaten.
- **3D-Modelle (BIM nur bei Anforderung):** Semantische 3D-Modelle (IFC 4.0 + PDF/A), modelliert auf Basis der Punktwolke (Scan-to-BIM) im geforderten Detaillierungsgrad (LOIN)

6.4 SPEZIFIKATION: ABLEITUNG VON VEKTORDATEN UND PLANERSTELLUNG

ALLGEMEINES ZUR VEKTORISIERUNG

Die Lieferung der reinen Punktwolke entbindet den Auftragnehmer nicht von der fachlichen Interpretation der Messdaten. Zusätzlich zur Punktwolke ist zwingend eine vektorielle Auswertung (GIS/CAD-Bestandsplan) zu liefern, die als direkte Planungsgrundlage dient. Grundlage für die Auswertung ist die bereinigte und georeferenzierte Punktwolke. Die Vektorisierung hat objektbezogen zu erfolgen und muss die topografische Situation vollständig abbilden.

GELÄNDEFORM UND BRUCHKANTEN (DGM-GRUNDLAGE)

Für die korrekte Erstellung von Digitalen Geländemodellen (DGM) durch die Planer sind die reinen Bodenpunkte der Punktwolke (Klasse 2) oft nicht ausreichend, da Kanten verrundet werden. Daher sind zwingend **3D-Bruchkanten (Polylinien)** aus der Punktwolke abzuleiten.

- **Erfassungsumfang:** Zu erfassen sind alle Unstetigkeitsstellen im Gelände, insbesondere Böschungsober- und -unterkanten, Stützmauern, Bordsteinkanten (oben/unten) sowie Fahrbahnränder.
- **Interpolation:** Über diese Bruchkanten darf bei der Modellierung nicht hinweg interpoliert werden.
- **Einzelpunkte:** Ergänzend sind Höchst-, Tiefst- und Sattelpunkte als einzelne 3D-Punkte zu kodieren.

DETAILLIERUNGSGRAD DER PLAN-AUSWERTUNG

Der zu liefernde GIS/CAD-Plan (2D/3D) muss mindestens folgende Objekte beinhalten, sofern diese im Scanbereich vorhanden sind:

VERMESSUNGSPUNKTE

- Trigonometrische Punkte
- Polygonpunkte, Aufnahmepunkte
- vermarkte Kleinpunkte
- Höhenfestpunkte

GELÄNDEFORMEN, NUTZUNGSARTEN UND GEWÄSSER

- Böschungen
- Geländepunkte (mit Höhen/Einzelhöhen)
- Höhenlinien (im bewegten Gelände)
- charakteristische Höhen (in Straßenachsen, an Kreuzungen oder Zwangspunkten, Hoch- bzw. Tiefpunkte im Gelände)
- Steilränder
- Topografische Begrenzungslinien
- Baumstandorte (Einzelbäume)
- Nutzungsarten (z.B. Buschwerk, Waldrand, Biotop etc.)
- Gewässer (auch Gräben mit Fließrichtung)
- Uferbefestigungen
- Einrichtungen an Gewässern
- Brücken einschl. ergänzende Angaben (Durchfahrtshöhen/-breiten etc.)

VERKEHRSANLAGEN

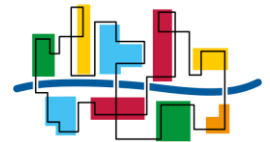
- Straßen und Wege (insbesondere einzelne Elemente des Fahrbahnquerschnitts, Zufahrten/Zugänge, Grundstücks-/Garageneinfahrten)
- Achse der Straße in Längsrichtung
- Bordsteine, Rinnen (mit Typen-, Breiten- und Höhenangaben)
- Entwässerungseinrichtungen (Regeneinläufe mit Typangabe)
- Verkehrszeichen

BEBAUUNG

- Höhen in Ortslagen im unmittelbaren Bereich (von Hauseingängen, Grundstückszufahrten, Garageneinfahrten; ggf. Traufen- oder Fensterhöhen, Firsthöhen, Höhen von Ver- und Entsorgungseinrichtungen)
- Gebäude (besondere Beschriftungen zum Gebäude),
- Gebäudeeinzelheiten (Durchfahrten, Überbauten etc.)
- Oberflächen/Grünflächen (Begrenzung und Material)
- Mauern (Material-, Breiten- und Höhenangabe)
- Treppenanlagen
- Zäune
- Futtermauern/Stützmauern
- Hecken

VERSORGUNGSEINRICHTUNGEN

- Unterirdische und oberirdische Leitungen (soweit möglich, d.h. sichtbar)
- Versorgungszeichen
- Masten (TF-Masten, Leuchten etc.)
- Wasserversorgung und Entwässerung (auch Rückhaltebecken, Grundwasserschutzeinrichtungen, Sickeranlagen)
- Elektrizitätsversorgung, Gasversorgung
- Post- und Fernmeldeanlagen (einschl. Kabelsteine)
- sonstige Einrichtungen/Anlagen (auch sonstige Kontrollschächte, Einrichtungen bei Nebenanlagen/Nebenbetrieben zu Straßen)



GENAUIGKEITSANFORDERUNGEN DER AUSWERTUNG

Im Sinne der Nachbarschaftsgenauigkeit sind bei der Vektorisierung folgende Standardabweichungen einzuhalten:

- Harte Punkte (Versiegelte Flächen, Bauwerke, Festpunkte, Zwangspunkte): **Lage/Höhe ≤ 1 cm.**
- Weiche Punkte (Vegetation, freies Gelände): **Lage/Höhe ≤ 5 cm.**