

Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt (LSBB)	
Fachgruppe Z213 - Vermessung	
geodätische Grundlagen hier: Messverfahren	Arbeitsanweisung: ***** Stand: 01.02.2025

Tachymetrie, GNSS Messverfahren und Nivellement bei Ingenieurvermessungen an Straßen

Inhaltsverzeichnis

0	Motivation	1
1	Allgemeines	2
2	statische terrestrische Messverfahren	2
3	Auswertung	4
4	Messgenauigkeiten (DIN 18710-1)	5
5	Dokumentation	6
6	Projektdatenbank (FePuDB)	6

0 Motivation

Zur Realisierung der Aufgaben im Bereich der Planung, des Baus und dem Betrieb der Straßen im Geschäftsbereich der LSBB sind spannungsarme Lagenetze für die Projekte notwendig. Grundsätzlich erfolgt die Lagerung Festpunkte der LSBB auf die amtlichen Referenzsysteme für die Lage und Höhe. Diese werden durch die **SAPOS®** Referenzstationen und die Benutzungsfestpunkte der Landesvermessung repräsentiert. Die Übergänge werden wie folgt definiert:

- Lage: Projektkoordinatensystem und amtliches Lagereferenzsystem - Verwendung der NTv2 Gitterdatei der LSBB ist zu realisieren.
- Höhe: Für den Übergang zwischen den geometrischen Höhen aus GNSS Messungen und den Normalhöhen ist das Quasigeoidmodell des BKG zu verwenden.
- Höhe: Die Normalhöhen DHHN92 und DHHN2016

1 Allgemeines

Statische terrestrische Messverfahren in Bezug auf die Ingenieurvermessungen zur Bestimmung von Fest-; Pass- und Stützpunkten an Straßen sind:

- Tachymetrie
 - Richtungs- und Streckenmessungen zur Bestimmung der Lagekoordinaten
- GNSS
 - statische Beobachtungsdauer je Session ≥ 3 Stunden
 - kurzzeitstatische Beobachtungsdauer je Session ≥ 25 Minuten
 - kinematische Beobachtungsdauer je Session ≥ 120 Sekunden
- Nivellement
 - geometrisches Nivellement zur Bestimmung der Höhenkoordinate (physikalische Höhe)

2 statische terrestrische Messverfahren

Festpunkte sind grundsätzlich mit Bezug zum amtlichen Referenzsystem unter Nutzung von Korrekturdatendiensten wie **SAPOS**® oder vergleichbarer Dienstanbieter zu bestimmen. Für alle Fest-; Pass- und Stützpunkte sind aus den so bestimmten Koordinaten des Landessystems die Projektkoordinaten abzuleiten. In der Regel ist hierbei der NTV2 Transformationsansatz unter Nutzung der von der LSBB bereitgestellten Gitterdatei zu verwenden, Abweichungen erfordern die Zustimmung der LSBB, Fachgruppe Vermessung. Das Projektkoordinatensystem wird ohne die sich aus der Abbildungsprojektion ergebenden Maßstabsverzerrungen bestimmt und ausgeglichen.

2.1 Grundsätze der Messung

Die Messverfahren sind durch Wahl der Messgeräte, das Messzubehör (u.a. Bauarten von Reflektoren, Nivellierlatten, ...), die Messanordnungen (u.a. Anzahl und Konfiguration der Anschlusspunkte bei der freien Stationierung, Einhaltung des Prinzips „aus der Mitte“ beim Nivellement) und die Messzeitpunkte so zu gestalten, dass

- die erforderliche Genauigkeit der Punktbestimmungen dem jeweiligen Aufgabenzweck entsprechend gewährleistet und nachgewiesen werden kann,
- das Prinzip der Nachbarschaft für den jeweiligen Aufgabenzweck eingehalten wird,
- die erforderliche Zuverlässigkeit durch überschüssige Messungen gewährleistet ist.

Kombinierte Lage- und Höhenfestpunkte sind in ihrer Bestimmung wie folgt zu behandeln:

- Lage entsprechend der Anforderungen für Lagefestpunkte
- Höhe entsprechend der Anforderungen für Höhenfestpunkte

2.2 Lagebestimmung:

Die sich aus der Bestimmung der Punkte ableitende Standardabweichung der Lagekomponente für Punkte mit den Punktkennungen 1, 2, 3, 4, 6 und 7 muss der Klassifizierung L3 gemäß der DIN 18710-1 genügen. Für die Punktkennungen 8 und 9 ist die Klassifizierung L1 anzuhalten, wobei der obere Grenzwert mit 1m festgesetzt wird.

Zur Punktbestimmung sind terrestrische (Tachymetrie als Polygonzug / doppelt polare Bestimmung) und GNSS (dreifach RTK / doppelt kurzzeitstatisch) Verfahren zugelassen. Abweichend von den allgemeinen Festlegungen kann die Lagebestimmung der Höhenfestpunkte durch einfache Messung erfolgen, wenn ergänzend eine topografische Einmessung, eine Skizze ist erforderlich, erfolgt.

zu beachtende GNSS Grundsätze

Generell sind folgende Mindestanforderungen einzuhalten:

- möglichst gleichmäßige Verteilung der Satelliten über den Messungshorizont
- Elevationsmaske von 15°, um die Refraktion in bodennahen Schichten zu minimieren
- keine oder wenige Sichtbeeinträchtigungen oberhalb der gewählten Elevationsmaske,
- bei der Kombination verschiedener GNS Systeme sollen je System mindestens 4 Satelliten nutzbar sein
- Einsatz geodätischer Mehrfrequenzempfänger
- typkalibrierte GNSS Antenne
- Messung auf Stativ, Vermessungspfeiler oder justiertem Antennenstab
- die Antennenstandpunkte sollen nicht im Nahbereich von Sendeanlagen, Hochspannungsleitungen usw. liegen,
- Mehrwegstörungen durch reflektierende Flächen in der Umgebung und verkehrsbedingte Störungen und Abschattungen sind zu vermeiden.

präzise Punktbestimmungen: z.B. Lagegenauigkeit > L3 und Höhengengenauigkeit > H3 (DIN 18710-1), sind zusätzlich folgende Anforderungen einzuhalten:

- Messung mit Stativ oder Vermessungspfeiler möglichst mit Zwangszentrierung
- Einsatz von geprüften GNSS Antennen mit Grundplatte / Choke-Ring
- präzise Messung der Höhe des ARP über dem Bezugspunkt
- (Messunsicherheit < 1mm)
- Auswertung im Postprocessing unter Verwendung präziser Ephemeriden
- mehrfache Beobachtung der Punkte.

2.3 Höhenbestimmung:

Die sich aus der Bestimmung der Punkte ableitende Standardabweichung der Höhenkomponente für Punkte mit den Punktkennungen 1, 3, 4 und 6 muss der Klassifizierung H2 gemäß der DIN 18710-1 genügen, wobei der obere Grenzwert mit 0,01m festgesetzt wird. Für die Punktkennungen 2 und 9 ist die Klassifizierung H4 einzuhalten. Für Punkte der Kennung 8 ist die Klassifizierung H1 sicherzustellen, wobei der obere Grenzwert mit 1m festgesetzt wird.

Die zu bestimmenden Festpunkte sind im Nivellement als Wechsellpunkte anzuordnen, bei der Ausführung des Nivellements als Verkettung mehrerer Schleifen, muss ein Überlappungsbereich mit gemessen werden. Dieser wird aus dem letzten Wechsellpunkt vor und dem ersten Wechsellpunkt nach dem Festpunkt gebildet. Die Wechsellpunkte sind mit einer eindeutigen Nummerierung für das gesamte Nivellement zu führen. Bei neu vermarkten Festpunkten wie Granit- oder Beobachtungspfeilern darf die Punktbestimmung erst ausgeführt werden, wenn die Eigensetzung der Punktmarke abgeklungen ist. Nivellements sind grundsätzlich im Hin- und Rückweg auszuführen, wobei die Festpunkte als Wechsellpunkte zu besetzen sind. Die Einhaltung der grundlegenden geometrischen Bedingungen:

- gerade Anzahl der Instrumentenstandpunkte
- maximale Zielweite 40 m
- maximale Differenz der Zielweiten zwischen Rück- und Vorblick 2m
- maximale Differenz der Summen aus Rück- und Vorblick 3 m

ist zu beachten.

Die Höhenbestimmung der Lagefestpunkte ist vor der terrestrischen Geländeaufnahme mit einem Nivellement durchzuführen. Für die terrestrischen Vermessungen sind nur die nivellitisch bestimmten Höhen der Lagefestpunkte als Ausgangshöhen zu verwenden.

Die geforderte Standardabweichung der Klassifizierung H4 ist in der Regel nur mit dem Verfahren „Nivellieren aus der Mitte“ zu erreichen. Die Ablesereihenfolge sollte Rück-Vor-Vor-Rück (RVVR) sein.

	Streckenwiderspruch (WS)	Mittlerer Kilometerfehler (ss)	zulässiger Schleifenwiderspruch (ZU)	größte zulässige Abweichung (ZA)
Lagefestpunkt	$WS=0,5 \cdot S \pm (4,5 \cdot \sqrt{s})$	ss =1,2 mm	$ZU = \pm (5 \cdot \sqrt{s})$	$ZA = \pm (2+5 \cdot \sqrt{s})$
Höhenfestpunkt	$WS=0,5 \cdot S \pm (2,5 \cdot \sqrt{s})$	ss =0,6 mm	$ZU = \pm (3 \cdot \sqrt{s})$	$ZA = \pm (2+3 \cdot \sqrt{s})$

3 Auswertung

In der Regel werden echtzeitkinematische Verfahren (RTK) oder das kurzzeitstatische Verfahren (Post-Processing) zur Punktbestimmung eingesetzt. Zur Bestimmung von Punkten ohne ausreichende Horizontfreiheit sind kurzzeitstatische GNSS Messungen oder tachymetrische Verfahren einzusetzen.

Übernommene Anschlusspunkte sind grundsätzlich vor der weiteren Verwendung zu prüfen, hierbei gelten für die Prüfung die gleichen Anforderungen wie bei der Bestimmung der Punkte entsprechend ihrer Funktion. Die Abweichungen sind zu protokollieren. Bei Netzspannungen, die die Fehlergrenzen der RVerf überschreiten, ist das weitere Verfahren mit dem Auftraggeber rechtzeitig abzustimmen.

Bei Verknüpfung mit einem benachbarten Projekt der Straßenbauverwaltung sind von diesem Projekt mindestens 4 Lagefestpunkte in die Ausgleichung mit einzubeziehen, um neben dem amtlichen geodätischen Raumbezug das Prinzip der Nachbarschaft sicherstellen zu können. Aus dem gleichen Grund sind bei Verknüpfung mit einem benachbarten Projekt der Straßenbauverwaltung von diesem Projekt mindestens 2 Höhenfestpunkte in die Ausgleichung mit einzubeziehen.

Zur Berechnung der Lagekoordinaten mit Bezug zum amtlichen Referenzsystem sind:

- die Höhenreduktion von Strecken mit ellipsoidischen Höhen der Endpunkte bezogen auf das GRS80 Ellipsoid
- die UTM-Abbildungsreduktion

zu berücksichtigen.

Bei den GNSS Messungen sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- PDOP: Der Wert 3 sollte nicht bzw. allenfalls kurzzeitig überschritten werden
- die mehrfachen Punktbesetzungen möglichst gleichmäßig über die Umlaufzeit von ca. 12 Stunden verteilen um unterschiedliche Satellitenkonstellationen zu nutzen
- (kurzzeit-) statische Messung: Aufzeichnungsrate 1 bis 15s; Messdauer >25min; mindestens 2 unabhängige Punktbesetzungen
- RTK Messung: Aufzeichnungsrate 1s; Messdauer >120s; mindestens 3 unabhängige Punktbesetzungen (mit Neuinitialisierung)

Kurzzeitstatisch bestimmte GNSS Punkte sind zur unabhängigen Kontrolle der GNSS RTK Messung vorgesehen, die Ergebnisse der unterschiedlichen GNSS Messungen sollten gemeinsam ausgewertet werden, wobei die Qualität der Bestimmung in der Wichtung während der Ausgleichung berücksichtigt wird. In Kombination mit den tachymetrischen Messwerten aus den Stationierungen zur topografischen Aufnahme sollte eine gemeinsame Ausgleichung aller Messelemente durchgeführt werden um die Nachbarschaftsbeziehungen besser abzubilden. Technologisch bedingt, kann dieser Schritt dann erst nach Abschluss der topografischen Aufnahme durchgeführt werden.

Nach der Bestimmung der Lagefestpunkte ist mit den vorläufigen Koordinaten die Punktidentität zu prüfen. Im Grenzbereich ist die Klärung mit der LSBB herbeizuführen, wie mit diesen Punkten zu verfahren ist. So können umfangreiche Änderungen im Zuge der Prüfung der Gesamtleistung vermieden werden.

Mit der Schlusslieferung wird für alle Festpunkte ein endgültiger Koordinatensatz geliefert. Dieser ist identisch im Bestandsmodell und Projektdatenbank. In den Protokollen ist der Übergang von der vorläufigen zur endgültigen Koordinate reproduzierbar zu dokumentieren. Messwerte sind mit dem zum Zeitpunkt der Messung gültigen Punktkennzeichen zu übergeben. Wechsel der Punktkennzeichen sind zu dokumentieren.

präzise Punktbestimmungen: In Abstimmung mit der Fachgruppe Vermessung der LSBB ist die Bestimmung des Höhenanschlusses ohne Bezug zum amtlichen Referenzsystem für die Höhe zulässig. Ist dies vereinbart so gelten folgende Bedingungen:

- Bestimmung von mindestens 3 räumlich verteilten GNSS Punkten je Projekt
- statische Messung mit doppelter Punktbesetzung
- synchrone Beobachtung der GNSS Punkte
- Bestimmung der Höhe des ARP über der Punktmarke des GNSS Punktes mit einer Genauigkeit $< 1\text{mm}$
- präzises Nivellement zwischen den GNSS Punkten (Höhengenauigkeit $> H_4$), möglichst kurze Nivellementswege
- Auswertung der GNSS Messung (PPP, VRS oder SSR Lösung bevorzugt um unabhängig von der diskreten Referenzstation zu sein, je nach der Art der Augmentierung ist noch eine Transformation auf das ETRS89/DREF91 notwendig)
- Berechnung der Basislinien zwischen den Neupunkten
- freie Raumnetzausgleichung der Neupunkte
- Übergang von den geometrischen zu den physikalischen Höhen mit dem aktuellen Quasigeoid des BKG, \rightarrow Näherungshöhen mit Bezug zum amtlichen Referenzsystem Höhe
- Freie Höhenausgleichung mit den Näherungshöhen aus der GNSS Messung und den Nivellementsdaten \rightarrow endgültige Höhen der Neupunkte.

Die anschließende Verdichtung durch Nivellement und Berechnung weiterer Festpunkte am Messobjekt mit Anschluss an die neu bestimmten GNSS Punkte. Es gelten hierbei die allgemeinen Festlegungen zur Punktbestimmung aus diesem Dokument. Möglichkeiten, das Prinzip der Nachbarschaft und die Zuverlässigkeit zu gewährleisten, ergeben sich auch aus der Kombination mit tachymetrischen und nivellitischen Punktbestimmungen.

Zur Berechnung der Höhenkoordinaten mit Bezug zum amtlichen Referenzsystem sind:

- die Lattenkorrekturparameter
- die Genauigkeitsstufen der Anschlusspunkte

zu berücksichtigen.

4 Messgenauigkeiten (DIN 18710-1)

Die Anforderungen an die Messgenauigkeit σ_x leiten sich aus einer mit dem Auftraggeber der Vermessung getroffenen Vereinbarung oder aus Festlegungen zu Maßtoleranzen T (siehe z. B. DIN 18202, DIN EN ISO 286-1) ab. Zwischen einer Maßtoleranz T und der entsprechenden Standardabweichung σ_x ist von der Relation $0,1 \leq \sigma_x/T \leq 0,2$ (1) auszugehen (siehe DIN 18710-1 Anlage D.4).

Die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen Klassifizierungen legen die Anforderungen an die Messgenauigkeit bei Lage- und Höhenvermessungen fest. Die Standardabweichung σ_L bei Lagevermessungen ist in Richtung einer Koordinatenachse zu verstehen.

Tabelle 1 — Klassifizierung der Messgenauigkeit bei Lagemessungen Klasse	Standardabweichung σ_L bei Lagemessungen				Bemerkung
L 1	50 mm	<	σ_L	Sehr geringe Genauigkeit	
L 2	15 mm	<	σ_L	≤	50 mm Geringe Genauigkeit
L 3	5 mm	<	σ_L	≤	15 mm Mittlere Genauigkeit
L 4	1 mm	<	σ_L	≤	5 mm Hohe Genauigkeit
L 5	σ_L	≤	1 mm	Sehr hohe Genauigkeit	

Tabelle 2 — Klassifizierung der Messgenauigkeit bei Höhenmessungen Klasse	Standardabweichung σ_H bei Höhenmessungen				Bemerkung
H 1	20 mm	<	σ_H	Sehr geringe Genauigkeit	
H 2	5 mm	<	σ_H	≤	20 mm Geringe Genauigkeit
H 3	2 mm	<	σ_H	≤	5 mm Mittlere Genauigkeit
H 4	0,5 mm	<	σ_H	≤	2 mm Hohe Genauigkeit
H 5	σ_H	≤	0,5 mm	Sehr hohe Genauigkeit	

5 Dokumentation

Zusammenstellung der Projektdaten, Projektbericht und Unterlagenlieferung

Die Dokumentation ist ausschließlich digital zu fertigen und in die Projektdatenbank zu integrieren. Die Inhalte sind in der Dokumentation sind in der Vertragsanlage Aufgaben- und Leistungsbeschreibung benannt.

6 Projektdatenbank (FePuDB)

Die Daten der Festpunkte werden zentral in einer Projektdatenbank geführt. Die Pflege der Datenbank erfolgt in der Zentrale der LSBB, durch die FG Z213 „Vermessung“. Die Datenbank wird zentral auf einem Server der LSBB vorgehalten. Für Festpunktkoordinaten und -höhen, die der Datenbank entnommen werden, gelten, wenn nichts Abweichendes angegeben ist, folgende Genauigkeiten:

- Lagefestpunkte
 - Lagegenauigkeit 15 mm
 - Höhengenaugigkeiten 10 mm
- Höhenfestpunkte
 - Lagegenauigkeit <1 m
 - Höhengenaugigkeit 2 mm

Die Lagekoordinaten von Höhenfestpunkten mit Höhenfestpunktkenung dürfen grundsätzlich **nicht** für Vermessungsarbeiten benutzt werden, sie dienen ausschließlich der Position und grafischen Darstellung in GI-Systemen.