



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

Bundesministerium
der Verteidigung

Verfahrensbeschreibung ETRS89/UTM

Grundlagen zur Anwendung des Koordinatenreferenzsystems



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Verfahren der raumbezogenen Datenerfassung und Auswertung	3
2.1	Objektvermessung	4
2.2	Planungsbegleitende Vermessung	4
2.2.1	Grundlagenermittlung	5
2.2.2	Geodätischer Raumbezug	5
2.2.3	Vermessungstechnische Grundlagen	5
2.2.4	Digitales Geländemodell	8
2.3	Bauvermessung	9
2.3.1	Baugeometrische Beratung	9
2.3.2	Absteckungsunterlagen	10
2.3.3	Bauvorbereitende Vermessung	10
2.3.4	Bauausführungsvermessung	10
2.3.5	Vermessungstechnische Überwachung der Bauausführung	11
2.4	Nachweise der Vermessungsverwaltungen	11
2.5	Nachweise anderer Institutionen	11
2.6	Fachaufgaben auf der Grundlage der Liegenschaftsbestandsdokumentation	11
3	Grundlagen und Anwendung des Koordinatenreferenzsystems ETRS89/UTM	13
3.1	Raumbezug	13
3.2	Das Koordinatenreferenzsystem ETRS89	13
3.3	Die UTM-Abbildung	15
3.3.1	Grundlagen der UTM-Abbildung	15
3.3.2	Bildung von UTM-Koordinaten	16
3.4	Streckenkorrekturen	18
3.4.1	Höhenreduktion für gemessene Strecken	18
3.4.1.1	Genauigkeitsanforderungen an den Krümmungshalbmesser der Gauß'schen Schmiegunskugel	19
3.4.1.2	Genauigkeitsanforderungen an die mittleren ellipsoidischen Höhen	21
3.4.1.3	Auswirkungen der Höhenreduktion auf gemessene Strecken	23
3.4.2	Streckenkorrektur wegen Projektionsverzerrung	23
3.4.3	Zusammengefasste Streckenkorrektur	24
3.4.4	Abbildung der Nachweise der Vermessungsverwaltungen in UTM-Zonen	25
3.5	Flächenkorrekturen	26

3.5.1	Höhenreduktion von Flächen auf das GRS80-Ellipsoid	26
3.5.2	Flächenkorrektur wegen Projektionsverzerrungen	27
4	Glossar	29
5	Literatur	31
	Impressum	33

1 Einleitung

Die Daten der Bestandsdokumentation für die Außenanlagen von Liegenschaften des Bundes (Liegenschaftsbestandsdokumentation) werden gemäß den Grundsätzen der Baufachlichen Richtlinien Vermessung (BFR Verm) [1] in einem einheitlichen Koordinatenreferenzsystem geführt. Dadurch wird die Grundlage für eine softwaregestützte Verwaltung und Auswertung der Daten der Liegenschaftsbestandsdokumentation in einem Geoinformationssystem (GIS) geschaffen und eine fachspartenübergreifende Nutzung der Bestandsdaten von Objekten in den Außenanlagen ermöglicht. Ferner wird die Integration digitaler Daten anderer Institutionen, z. B. Vermessungsverwaltungen oder Leitungsbetreiber, in die Liegenschaftsbestandsdokumentation nachhaltig unterstützt.

Im Regelfall werden gemäß BFR Verm die Daten der Liegenschaftsbestandsdokumentation im Koordinatenreferenzsystem der Vermessungsverwaltung des jeweiligen Bundeslandes geführt. Dadurch können für die Herstellung des Raumbezugs bei Vermessungen gemäß BFR Verm [1], Einrichtung und Fortführung von liegenschaftsbezogenen Festpunktfeldern (LAP, LHP) als auch Bestandsvermessungen, Festpunkte der Vermessungsverwaltungen im Umfeld der Liegenschaften ohne aufwändige Transformationsberechnungen als Anschlusspunkte genutzt werden. Ebenso wird eine wirtschaftliche Nutzung von GNSS¹-Positionierungsdiensten für satellitengestützte Vermessungen ermöglicht.

Die Vermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland stellen einheitlich das Koordinatenreferenzsystem für ihre Nachweise auf das „Europäische Terrestrische Referenzsystem 89“ (ETRS89) um [2]. Gleichzeitig wird als kartographische Abbildung die Universale Transversale Mercatorprojektion (UTM) mit einer Zonenbreite von 6° eingeführt. Bisher wurden durch die Vermessungsverwaltungen der Länder aufgrund heterogener Aufbaugrundsätze verschiedene Koordinatenreferenzsysteme verwendet. Als kartographische Abbildung wurde bisher in aller Regel die Gauß-Krüger-Abbildung mit einer Streifenbreite von 3° genutzt.

Mit der Umstellung der Nachweise der Vermessungsverwaltungen auf ETRS89/UTM folgen die Vermessungsverwaltungen den Vorgaben der INSPIRE-Richtlinie (Infrastructure for Spatial Information in the European Community). Die Richtlinie 2007/2/EG vom 14. März 2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE) [3], in Kraft seit dem 15. Mai 2007, verpflichtet die Mitgliedstaaten, stufenweise interoperable Geobasisdaten sowie Geofachdaten bereitzustellen. Die Verpflichtung, Daten verfügbar zu machen, gilt nur für bereits vorhandene und in digitaler Form vorliegende Geodaten; die Richtlinie fordert nicht die Neuerfassung von bisher nicht digital vorliegenden Geodaten.

Durch die Umstellung der Nachweise der Liegenschaftsbestandsdokumentation folgen das Bundesministerium der Verteidigung sowie das Bundes-

¹ GNSS: Global Navigation Satellite System, Globales satellitengestütztes Navigationssystem wie z. B. GPS, GLONASS und GALILEO

ministerium des Innern für Bau und Heimat den Vorgaben zum Aufbau einer europaweit einheitlichen Geodateninfrastruktur auch für die Außenanlagen von Liegenschaften des Bundes.

Aufgrund der Umstellung des Lagebezugssystems der Nachweise der Vermessungsverwaltungen werden sowohl die Lagekoordinaten von amtlichen Festpunkten als auch die Daten des Liegenschaftskatasters und der Topografischen Landesaufnahme zukünftig nur noch im System ETRS89/UTM abgegeben. Ebenso werden die Daten der Referenzstationsdienste für GNSS-Messungen (Messungen mit satellitengestützten Verfahren) in diesem Bezugssystem abgebildet. Bei der Nutzung desselben Koordinatenreferenzsystems für Messungen im Rahmen der Liegenschafts- und Gebäudebestandsdokumentation und auch der Planungsbegleitenden Vermessung sowie der Bauvermessung entfallen bisher notwendige Transformationen, welche aufwendig und fehleranfällig sind.

Damit auch zukünftig ein bidirektionaler Datenaustausch zwischen der Liegenschaftsbestandsdokumentation und den Nachweisen der Vermessungsverwaltungen möglich ist, werden die Daten der Liegenschaftsbestandsdokumentation in das bundesweit einheitliche Koordinatenreferenzsystem ETRS89/UTM überführt. Dadurch ergeben sich vielfältige Anforderungen an die zukünftige vermessungstechnische Erfassung von Objekten in den Außenanlagen von Bundesliegenschaften und die Nutzung von Auszügen aus der Liegenschaftsbestandsdokumentation.

Die vorliegende Verfahrensbeschreibung soll dazu dienen, die Arbeitsabläufe der Leitstellen Vermessung im Zusammenhang mit den raumbezogenen Daten der Liegenschaftsbestandsdokumentation in Hinsicht auf das Koordinatenreferenzsystem ETRS89/UTM einheitlich zu gestalten. Des Weiteren soll diese Verfahrensbeschreibung auch als Handreichung an die freiberuflichen Auftragnehmer dienen, welche Vermessungsleistungen gemäß BFR Verm [1] sowohl im Zuge des Aufbaus und der Fortschreibung der Liegenschaftsbestandsdokumentation [4] erbringen als auch gemäß HOAI Anhang 1.4 Planungsbegleitende Vermessungen und Bauvermessungen [5] durchführen.

2 Verfahren der raumbezogenen Datenerfassung und Auswertung

Unter Verfahren im Sinne dieser Beschreibung werden die Arbeitsabläufe zusammengefasst, welche im Zuge von Fachaufgaben raumbezogene (geographische) Daten erfassen, aufbereiten, auswerten und grafisch präsentieren. Dabei bildet der Raumbezug die wesentliche Grundlage für einheitliche und sachgerechte Erfassung und Verwendung der Daten.

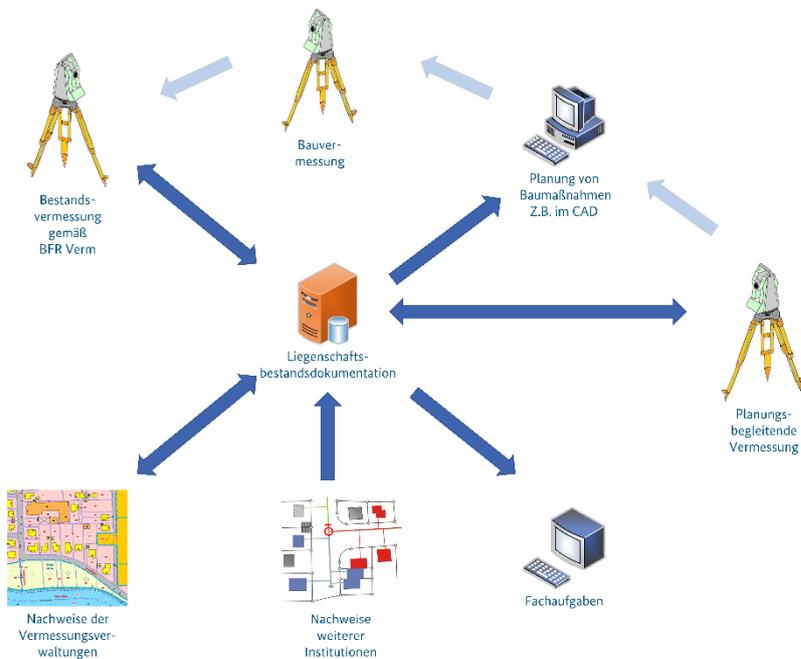


Abb. 1: Raumbezogene Verfahren der Liegenschaftsbestandsdokumentation

Gemäß den raumbezogenen Fachaufgaben der Leitstellen Vermessung ergeben sich nachfolgende Verfahren:

- **Bestandsvermessung**
zur Erstellung und Fortführung der Liegenschafts- oder Gebäudebestandsdokumentation gemäß den Vorgaben der Baufachlichen Richtlinien Vermessung [1], Liegenschafts- [4] oder Gebäudebestandsdokumentation [6]
- **Planungsbegleitende Vermessung**
für der Erstellung von raumbezogenen Planungsgrundlagen gemäß HOAI, Anhang 1, Nr. 1.4.4 [5]
- **Bauvermessung**
Vermessungsleistungen für den Bau und die abschließende Bestandsdokumentation von Gebäuden, Ingenieurbauwerken und Verkehrsanlagen gemäß HOAI, Anhang 1, Nr. 1.4.7 [5]
- **Datenabgabe für Fachaufgaben auf Liegenschaften des Bundes**
Erstellung und Abgabe von Auszügen aus der Liegenschaftsbestandsdokumentation für die Durchführungen von Fachaufgaben anderer Ressorts oder Institutionen, z. B. Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA)
- **bidirektionaler Datenaustausch mit den Vermessungsverwaltungen**
Übernahme von Nachweisen der Vermessungsverwaltungen in die

Liegenschaftsbestandsdokumentation sowie Aufbereitung der Liegenschaftsbestandsdaten zur Fortführung der Nachweise der Vermessungsverwaltungen, insbesondere des Liegenschaftskatasters

- **Übernahme von raumbezogenen Daten weiterer Institutionen in die Liegenschaftsbestandsdokumentation**

informelle Ergänzung der Liegenschaftsbestandsdokumentation durch raumbezogene Nachweise anderer Stellen, z. B. Auszüge von Leitungsdokumentationen von Ver- und Entsorgern.

2.1 Objektvermessung

Gemäß den Baufachlichen Richtlinien Liegenschaftsbestandsdokumentation (BFR LBestand) [4] sind Objekte in den Außenanlagen der Liegenschaften des Bundes vermessungstechnisch zu erfassen und die Ergebnisse mit einem einheitlichen Raumbezug für die Übernahme in die Liegenschaftsbestandsdokumentation zu übernehmen. Die Bildung der Objekte erfolgt nach den Vorgaben des Katalogwerkes zum Liegenschaftsbestandsmodells (LgBestMod, BFR LBestand [4], Anhang A-1).

Die raumbezogenen Daten der Liegenschaftsbestandsdokumentation werden im Koordinatenreferenzsystem ETRS89/UTM abgebildet. Deshalb sind die geänderten Rahmenbedingungen des Koordinatenreferenzsystems bereits bei der Durchführung bzw. Datenaufbereitung von Objektvermessungen zu berücksichtigen. Dazu sind die gemessenen Strecken bereits vor der Koordinatenberechnung auf die Projektionsfläche zu reduzieren.

Abb. 2: Ablauf der Streckenkorrektur zur Berechnung von UTM-Koordinaten



Für die Berechnung von UTM-Koordinaten aus gemessenen Strecken auf dem Höhenniveau des Messgebiets ist ein zweistufiger Prozess (Abb. 2) durchzuführen, bei dem zunächst die gemessenen Strecken auf die Ellipsoidoberfläche des Referenzellipsoides GRS80 abgebildet und anschließend von der gekrümmten Ellipsoidoberfläche auf die planare Abbildungsfläche der UTM-Projektion transformiert werden.



Die Streckenkorrekturen sind im Zuge der Datenerfassung – Einstellung eines Maßstabsfaktors im Instrument – oder der Datenaufbereitung – softwaretechnische Anbringung von Maßstabsfaktoren – zu berücksichtigen.

Deshalb sind vornehmlich die Auftragnehmer von Vermessungstechnischen Leistungen auf die Durchführung der Streckenkorrekturen zu verpflichten. Dazu sind die im Kapitel 3 aufgeführten Reduktionsformeln zu verwenden.

2.2 Planungsbegleitende Vermessung

Das Leistungsbild der Planungsbegleitenden Vermessung wird in der HOAI 2013, Anhang 1, Nummer 1.4.4 [5] definiert. Es ist in vier Leistungsphasen unterteilt (Abb. 3).



Abb. 3: Leistungsphasen der Planungsbegleitenden Vermessung

In allen Leistungsphasen sind einheitlich zu verwendende Koordinatenreferenzsysteme zu berücksichtigen und ggf. müssen die zugehörigen raumbezogenen Daten vorab durch Transformation in ein einheitliches System überführt werden.

2.2.1 Grundlagenermittlung

Im Zuge der Grundlagenermittlung sind vermessungstechnische Unterlagen und Daten zu beschaffen. Dabei sollen die Daten, sofern es möglich ist, bereits eine Referenzierung im ETRS89/UTM aufweisen, damit diese ohne Transformation oder Umformung in die Liegenschaftsbestandsdokumentation übernommen werden können.

2.2.2 Geodätischer Raumbezug

Die Leistungsphase Geodätischer Raumbezug umfasst im Wesentlichen die Herstellung von Festpunkten mit Koordinaten in einem einheitlichen Bezugssystem. An die Festpunkte werden in den anschließenden Leistungsphasen Detailvermessungen angeschlossen.

Da das zu erstellende Festpunktnetz in aller Regel über die Planungsbegleitende Vermessung hinaus auch für die Bauvermessung und die Fortschreibung der Liegenschafts- bzw. Gebäudebestandsdokumentation zur Herstellung eines einheitlichen Raumbezugs genutzt wird, sind die Koordinaten der Lagefestpunkte im Bezugssystem ETRS89/UTM abzubilden.

Die Abbildungsverzerrungen im Bezugssystem ETRS8/UTM können Größenordnungen annehmen, welche die üblichen Bauleranzen weit überschreiten. Deshalb wird bei regional begrenzten Planungsgebieten (<10 km x 10 km) empfohlen, verzerrungsfreie lokale Koordinaten der Festpunkte auf der Höhe des mittleren Liegenschaftshorizonts zusätzlich zu bestimmen. Dadurch lassen sich eindeutige Transformationsparameter für bidirektionale Überführung von Datenbeständen ins lokale oder ins übergeordnete Bezugssystem festlegen.



2.2.3 Vermessungstechnische Grundlagen

Diese Leistungsphase umfasst im Wesentlichen die topographisch/morphologische Geländeaufnahme planungsrelevanter Objekte. In aller Regel werden dazu im Planungsbereich alle oberirdisch sichtbaren Objekte vermessungstechnisch erfasst und gemäß den Vorgaben des Auftraggebers aufbereitet. Bei Bedarf wird der oberirdische Bestand durch Vermessung bzw. Übernahme vorhandener Bestandsdaten unterirdischer Objekte, z. B. Ver- und Entsorgungsleitungen, ergänzt.

Grundsätzlich sind die Ergebnisse der Geländeaufnahme so aufzubereiten, dass diese zur Fortschreibung der Liegenschaftsbestandsdokumentation genutzt werden können. Deshalb ist ein Anschluss der Messungen zur Geländeaufnahme an ein Festpunktfeld vorzunehmen. Die Ergebnisse sind im Bezugssystem ETRS89/UTM darzustellen. Die Verfahrensweise ist wie bei der Bestandsvermessung (siehe 2.1) zu wählen.

Wird bei der Planung von Baumaßnahmen CAD-Software eingesetzt, welche den durch die UTM-Projektion bestehenden Maßstabsfaktor für das Planungsgebiet nicht berücksichtigt, werden Bestandsdaten mit Bezug auf ETRS89/UTM verzerrt dargestellt. Die Abweichungen variieren entsprechend der Lage des Planungsgebiets in der jeweiligen UTM-Zone zwischen einer Stauchung der Strecken um 4 cm / 100m in der Nähe des Mittelmeridians bis hin zu einer Dehnung um ca. 2 cm / 100m am Rand der UTM-Zone.

Tab. 1: Beispiel für Streckenänderungen durch UTM-Projektion

Ostwert (East)	Abstand zum Mittelmeridian	Maßstabsfaktor der UTM-Projektion	Strecke aus UTM-Koordinaten	Strecke in der Örtlichkeit
32 500 000,00	0,00	0,9996	100,00	99,96
			100,04	100,00
32 740 000,00	240 000,00	1,0002	100,00	100,02
			99,98	100,00

Die durch die UTM-Projektion hervorgerufenen Streckenänderungen überschreiten die für Baumaßnahmen üblichen Toleranzen. Deshalb sind die Streckenverzerrungen bei Planungs- und Baumaßnahmen zu berücksichtigen.



Abb. 4: Alternativen zur Wahl eines Koordinatenbezugsystems für Planungsbelegende Vermessungen

Genauso werden bei der Übertragung der Planungen in die Örtlichkeit auch Streckenmessungen in Datenbeständen mit ETRS89/UTM-Abbildung von der maßstäblichen Abbildungsverzerrung beeinflusst. Deshalb sind alle Beteiligten am Entwurfs- und Ausführungsprozess über den Maßstabsfaktor zu informieren und dieser muss bei der Planung bzw. Ausführung berücksichtigt werden. Jedoch beinhaltet diese Vorgehensweise ein hohes Fehlerpotenzial und kostenintensive Änderungen während der Bauphase können die Folge sein.



Für Planungen von Baumaßnahmen mit lokaler begrenzter Ausdehnung, Planungsgebiet kleiner als 10 km x 10 km, wird deshalb empfohlen, die Ergebnisse der Planungsbegleitenden Vermessungen sowohl im ETRS89/UTM als auch in einem lokalen, verzerrungsfreien Koordinatensystem abzubilden. Dazu können die lokalen Festpunkte gemäß 2.2.2 genutzt werden. Zur Überführung der Daten in die Liegenschaftsbestandsdokumentation sind zusätzlich Transformationsparameter vom lokalen Bezugssystem ins ETRS89/UTM zu bestimmen und der Transformationsansatz nachzuweisen.

2.2.4 Digitales Geländemodell

In einem Digitalen Geländemodell (DGM) wird ein Teil der Erdoberfläche dreidimensional in einem Computermodell abgebildet. Insbesondere bei der Planung von Baumaßnahmen werden digitale Geländemodelle dazu genutzt, die geplanten Objekte in Bezug zur Erdoberfläche höhenmäßig einzupassen.

Die Anwendungen der digitalen Geländemodelle setzen voraus, dass diese einen einheitlichen und nachvollziehbaren Raumbezug aufweisen. Für die Höhenangaben wird in aller Regel das Höhenreferenzsystem des Deutschen Haupthöhennetzes von 2016 (DHHN2016) [7] bundesweit einheitlich genutzt. Der Lagebezug der Digitalen Geländemodelle ist abhängig von Datenquelle bzw. dem Anwendungszweck.

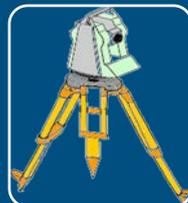
Die Vermessungsverwaltungen halten flächendeckend für die gesamte Staatsfläche der Bundesrepublik Deutschland Digitale Geländemodelle in den Gitterweiten 10 m, 25 m, 50 m, 250 m und 1000 m vor. Darüber hinaus bieten viele Länder DGM mit Gitterweiten von 1 m, 2 m, 5 m an. Die DGM der Vermessungsverwaltungen können insbesondere für Vorplanungen von Baumaßnahmen eingesetzt werden. Die Daten der DGM werden im Lagebezugssystem ETRS89/UTM abgegeben.

Abb. 5: Datenquellen von Digitalen Geländemodellen



DGM der Vermessungsverwaltungen

- in verschiedenen Auflösungsstufen erhältlich
- Lagebezugssystem ETRS89/UTM
- i. d. R. Anwendung für Vorplanungen



Vermessungstechnische Erfassung von DGM

- hohe geometrische Auflösung
- Lagebezugssystem abhängig vom gewählten System für Planungsaufgaben
- i. d. R. nur für Detailplanungen genutzt

Für Detailplanungen sind in aller Regel lokale DGM mit höherer geometrischer Auflösung als diejenigen der Vermessungsverwaltungen zu erfassen. Dabei ist, wie bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben (siehe 2.2.3), der Lagebezug gemäß der Vorgehensweise bei der Planung anzupassen.

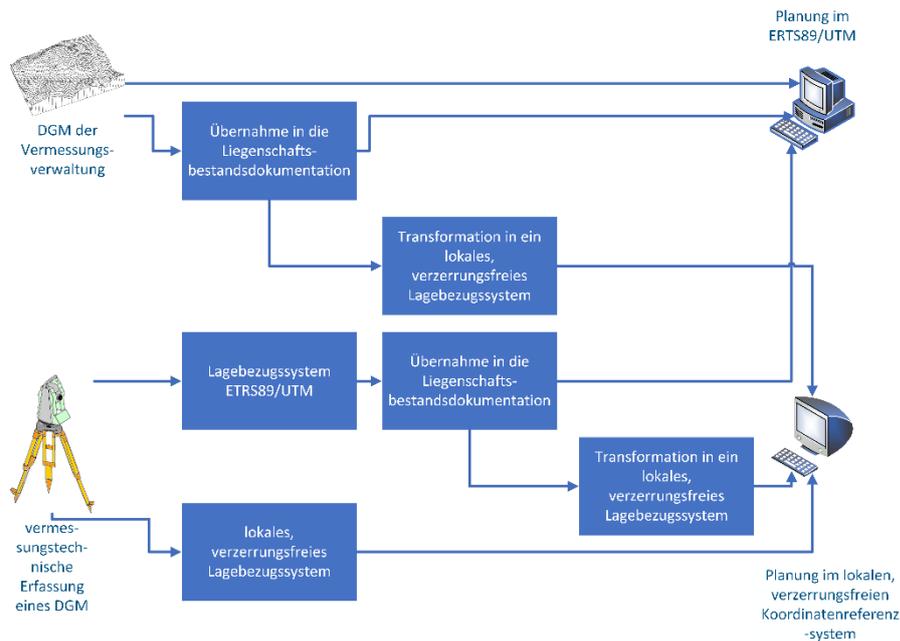


Abb. 6: Workflows der DGM-Einbindung in Planungsprozesse

2.3 Bauvermessung

Gemäß der HOAI [5] ist das Leistungsbild der Bauvermessung in fünf Leistungsphasen unterteilt und es umfasst im Wesentlichen die Vermessungsleistungen für den Bau und die anschließende Bestandsdokumentation von Gebäude, Ingenieurbauwerken und Verkehrsanlagen.



Abb. 7: Leistungsphasen der Bauvermessung

2.3.1 Baugeometrische Beratung

Zu den Grundleistungen der Baugeometrischen Beratung zählt u. a. die Festlegung eines verbindlichen Maß-, Bezugs- und Benennungssystems. Dabei ist mit allen am Projekt Beteiligten ein einheitliches Koordinatenreferenzsystem festzulegen.

Wie bereits bei der Planungsbegleitenden Vermessung (siehe 2.2) wird die Verwendung eines lokalen, verzerrungsfreien Lagebezugssystems empfohlen, da dadurch potenzielle Fehlerquellen eliminiert werden. Ferner kann das Verständnis für maßstäblich verzerrte Maße aufgrund der kartografischen Projektion bei anderen Fachdisziplinen nicht vorausgesetzt werden.



Es ist anzustreben, dass sowohl die Planungen als auch die Bauvermessung im selben lokalen Koordinatenreferenzsystem durchgeführt werden. Bei einem Wechsel des Vermessungsdienstleisters zwischen Planungsbegleitender Vermessung und Bauvermessung sind die lokalen Systeme, einschließlich der Transformationsparameter in das ETRS89/UTM, bereits bei der Auftragsvergabe bekannt zu machen.

2.3.2 Absteckungsunterlagen

Zur Einhaltung geplanter Maße eines Bauobjekts sind Absteckungsunterlagen auf lokale, verzerrungsfreie Lagebezugssysteme zu beziehen.



Wenn jedoch der Vermessungsdienstleister Absteckungen unter Nutzung von GNSS-Systemen durchführen will, sind die lokalen Daten vor der Berechnung der Absteckmaße ins ETRS89/UTM zu überführen.

2.3.3 Bauvorbereitende Vermessung

Zu den Grundleistungen der Bauvorbereitenden Vermessung zählen:

- Prüfen und Ergänzen des bestehenden Festpunktfeldes
- Zusammenstellen und Aufbereiten der Absteckungsdaten
- Abstecken: Übertragung der Hauptpunkte der Projektgeometrie und des Baufeldes in die Örtlichkeit
- Übergabe der Lage- und Höhenfestpunkte, der Hauptpunkte und der Absteckungsunterlagen an das Bauunternehmen.

Bei Verwendung eines lokalen, verzerrungsfreien Lagebezugssystems für Planung und Bauausführung ist zu beachten, dass für die bestehenden sowie neuen Festpunkte Koordinaten sowohl im ETRS89/UTM als auch im lokalen System, sowie zusätzlich die Transformationsparameter für den Bezugssystemübergang zwischen beiden Systemen bestimmt werden.

Die Absteckungsdaten sind grundsätzlich im lokalen Lagebezugssystem zu führen. Ebenso ist die Absteckung der Hauptpunkte im lokalen System bezogen auf die mittlere Geländehöhe des Projekts durchzuführen, damit Lageabweichungen unterhalb der üblichen Bautoleranzen erzielt werden.



Bei der Übergabe der Unterlagen an das Bauunternehmen ist explizit auf das verwendete Bezugssystem hinzuweisen und die Transformationsparameter zwischen dem lokalen System und dem ETRS89/UTM sind zu übergeben.

2.3.4 Bauausführungsvermessung

Wie bei der Bauvorbereitenden Vermessung (2.3.3) zählen bei der Bauausführungsvermessung zu den Grundleistungen

- das Prüfen und Ergänzen eines bestehenden Festpunktfeldes,
- Messungen zur Überprüfung und Sicherung von Festpunkten sowie
- die Baubegleitende Absteckung geometriestimmender Bauwerkspunkte.

Bei diesen sind die in 2.3.3 beschriebenen Grundsätze zu beachten.

Ferner zählen zu den Grundleistungen:

- Messungen zur Erfassung von Bewegungen und Deformationen des zu erstellenden Objekts
- Baubegleitende Eigenüberwachungsmessung und deren Dokumentation
- sowie die fortlaufende Bestandserfassung während der Bauausführung.



Sowohl die Deformationsmessungen als auch die Eigenüberwachungsmessungen werden in aller Regel in lokalen, verzerrungsfreien Bezugssystemen durchgeführt. Abweichende Regelungen sind vor der Auftragsvergabe an den Vermessungsdienstleister festzulegen.

Zielsetzung der Liegenschaftsbestandsdokumentation ist ein aktuelles Abbild der Liegenschaft im Liegenschaftsinformationssystem Außenanlagen (LISA) abzubilden. Deshalb sind die Ergebnisse Bestandserfassungen während der Bauphase so aufzubereiten, dass diese in die Liegenschaftsbestandsdokumentation übernommen werden können. Dementsprechend sind die Ergebnisse in das ETRS89/UTM zu überführen.

Bei Nutzung lokaler Lagebezugssysteme sind die Daten mithilfe der vorgegebenen Transformationsparameter nach ETRS89/UTM zu transformieren.



2.3.5 Vermessungstechnische Überwachung der Bauausführung

Die Vermessungstechnische Überwachung der Bauausführung umfasst im Wesentlichen die Kontrolle der neu gebauten Bauwerksgeometrie hinsichtlich Abweichungen zu den Planungen.

Damit Abweichungen sachgerecht festgestellt werden können, sind die Messungen in demselben Bezugssystem wie die Planungen durchzuführen.



2.4 Nachweise der Vermessungsverwaltungen

Die Vermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland stellen ihre Nachweise des Geodätischen Raumbezugs (Festpunktfelder), die Daten des Liegenschaftskatasters (ALKIS) und die Nachweise der Geotopographie (ATKIS) sukzessive auf das Koordinatenreferenzsystems ETRS89/UTM um. In den meisten Bundesländern ist die Umstellung bereits erfolgt bzw. steht kurz vor dem Abschluss.

Eine Transformation von Nachweisen der Vermessungsverwaltungen ist deshalb bei der Übernahme in die Liegenschaftsbestandsdokumentation als informelle Daten nur dann erforderlich, wenn diese noch in den „alten“ Landesbezugssystemen geführt werden. Hierzu ist die Handlungsanweisung zur Koordinatentransformation im LISA [8] zu beachten.



2.5 Nachweise anderer Institutionen

Die informelle Übernahme von Nachweisen anderer Institutionen umfasst u. a. raumbezogene Datenbestände von:

- Leistungsbetreibern,
- Straßen- und Wasserstraßenverwaltungen,
- Umweltämtern,
- u.v.a.m.

Diese Daten werden i. d. R. zur Unterstützung von Fachaufgaben auf der Grundlage der Liegenschaftsbestandsdokumentation verwendet. Damit die Sachverhalte der Nachweise anderer Institutionen mit der Liegenschaftsbestandsdokumentation verknüpft werden können, ist auf einheitliches Lagebezugssystem zu achten. Ggf. sind die Daten durch Transformation vor der Übernahme in das ETRS89/UTM zu überführen.

2.6 Fachaufgaben auf der Grundlage der Liegenschaftsbestandsdokumentation

Raumbezogene Fachaufgaben, soweit es sich nicht um die Planung von Baumaßnahmen mit sehr hohen Genauigkeitsansprüchen handelt, können in aller Regel direkt auf der Grundlage von Auszügen aus der Liegenschaftsbestandsdokumentation durchgeführt werden. Eine Transformation der Koordinaten in ein örtliches Koordinatensystem auf dem mittleren Höheniveau des Messgebietes ist im Regelfall nicht erforderlich.

Es ist jedoch zu beachten, dass direkt aus den Bestandsdaten ermittelte Strecken aufgrund der kartographischen Projektion verzerrt sind. Die Streckenverzerrungen können je nach Lage der Liegenschaft in Bezug zum Mittelmeridian der UTM-Zone Abweichungen von realen Strecken in mittlerer Höhe der Liegenschaft bis zu 6 cm / 100 m hervorrufen. Inwieweit die Streckenverzerrung für die jeweiligen Fachaufgaben signifikant sind, muss im Einzelfall entschieden werden. Ggf. ist eine Transformation der Daten für die Fachaufgabe in ein lokales, verzerrungsfreies Koordinatenbezugssystem vorzunehmen.

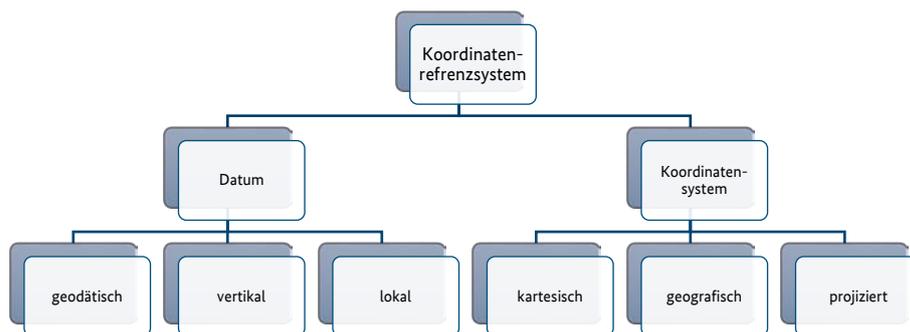
Flächenabweichungen aufgrund der kartographischen Projektion nehmen Größenordnungen kleiner als 0,1 % der Gesamtfläche ein. Deshalb können die Flächenabweichungen in aller Regel vernachlässigt werden.

3 Grundlagen und Anwendung des Koordinatenreferenzsystems ETRS89/UTM

3.1 Raumbezug

Der geodätische Raumbezug legt fest, wie ein Objekt in Bezug zum Erdkörper steht und wie Koordinaten für einzelne Punkte des Objekts zu bilden sind. Gemäß DIN ISO 19111 „Geographic Information - Spatial referencing by coordinates“ wird der Raumbezug durch Koordinatenreferenzsysteme (CRS = coordinate reference system) [10] definiert.

Abb. 8: Definition eines Koordinatenreferenzsystems gemäß DIN ISO 19111



Ein Koordinatenreferenzsystem besteht aus zwei Komponenten, dem „Datum“ – auch „geodätisches Datum“ genannt – und dem „Koordinatensystem“. Das Datum definiert den Bezug des Koordinatensystems zum Erdkörper. In modernen Koordinatenreferenzsystemen wird in aller Regel ein Bezug zum Mittelpunkt der Erde (Massenschwerpunkt) hergestellt. Höhenmessungen beziehen sich auf ein vertikales Datum. Insbesondere für Baumaßnahmen werden häufig lokale Bezugssysteme verwendet, da sich diese besser an die örtlichen Gegebenheiten anpassen als globale Bezugssysteme und einfacher zu interpretieren sind.

Das Koordinatensystem legt fest, wie die Positionen auf der Erdkugel bzw. in der Abbildungsebene der kartografischen Abbildung mathematisch eindeutig beschrieben werden können. Für Anwendungen der Liegenschaftsbestandsdokumentation als auch Planungs- und Bauaufgaben wird in aller Regel eine Trennung zwischen Lage- und Höhenbezugssystem vorgenommen, da sich diese auf unterschiedliche Bezugsflächen beziehen.

Im Folgenden wird näher auf die Zusammenhänge des Koordinatenreferenzsystems ETRS89/UTM eingegangen, da dieses die Grundlage für die Abbildung von Objekten auf Liegenschaften des Bundes in der Liegenschaftsbestandsdokumentation bildet.

3.2 Das Koordinatenreferenzsystem ETRS89

Das Lagereferenzsystem des Bundes ist das European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89). Das ETRS89 ist ein geozentrisches Bezugssystem, das auf dem weltumspannenden Internationalen Terrestrischen Referenzsystem (ITRS) basiert. Aufgrund der Plattentektonik und anderer globaler Einflüsse unterliegen die Koordinaten der erdfesten ITRS-Stationen einer ständigen Änderung. Alle Stationen des ITRS, die das ETRS89 definieren, liegen

auf der eurasischen Platte, die in sich als weitgehend stabil angesehen wird. Von diesen, also als gegenseitig fest anzunehmenden, Stationen ausgehend wurden durch umfangreiche Messungen in ganz Europa weitere Stationen mit ETRS89-Koordinaten bestimmt und bilden den Rahmen für das europaweit einheitliche Bezugssystem ETRS89.

Als Bezugsfläche für das ETRS89 wird das geozentrisch gelagerte Erdellipsoid des Geodätischen Referenzsystems 1980 (GRS80) verwendet, das geometrisch durch folgende Parameter festgelegt ist:

Parameter des GRS80-Erdellipsoids

Große Halbachse a : 6 378 137m und

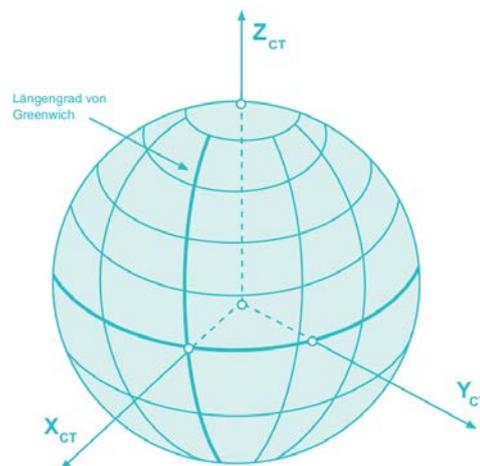
Abplattung f : 1:298,257 222 101

Die *Kleine Halbachse des Ellipsoids* b lässt sich daraus wie folgt berechnen

$$b = a * (1 - f) = 6356752,314 \text{ m}$$

Die geozentrische Lagerung des Ellipsoids unterscheidet sich hier von nahezu allen anderen herkömmlichen Landesvermessungen, bei denen die Ellipsoide jeweils über konkrete Punkte nur für bestimmte Bereiche bestanschließend zur Erdoberfläche gelagert sind.

Abb. 9: Dreidimensionales kartesisches geozentrisches Koordinatensystem (GEObasis.nrw)



Das ETRS89 definiert ein dreidimensionales, kartesisches Koordinatensystem mit Ursprung im Massenschwerpunkt der Erde (Geozentrum). Die Z-Achse ist die Erdachse, die X-Z-Ebene steht senkrecht auf der Äquatorebene und enthält die Sternwarte von Greenwich, ihre Schnittgerade mit der Äquatorebene ist die X-Achse; die Y-Achse ist durch 90°-Drehung der X-Achse gegen den Uhrzeigersinn definiert (Abb. 9).

Da die kartesischen, geozentrischen Koordinaten zum einen nur schwer geometrisch zu interpretieren und zum anderen für die Verarbeitung in Geoinformationssystemen nur bedingt geeignet sind, werden die Koordinaten durch eine kartografische Abbildung von der gekrümmten Ellipsoidoberfläche in eine planare Abbildungsebene abgebildet.

Gegenüber der bisher verwendeten Gauß-Krüger-Abbildung mit 3° breiten Meridianstreifen wird zukünftig die UTM-Abbildung für die Projektion der Koordinaten in die Ebene verwendet.

3.3 Die UTM-Abbildung

Die AdV² hat im Mai 1995 beschlossen, für die Verebnung der ETRS89-Koordinaten das Abbildungssystem der Universalen-Transversalen-Mercator-Projektion (UTM) mit 6° breiten Meridianstreifen einzuführen. Der Hintergrund für diese Festlegung war der Wunsch nach einer einheitlichen Abbildung in ganz Europa. Die UTM-Abbildung wird bereits seit den 50er Jahren in den Kartenwerken der NATO benutzt und ist somit in den meisten Ländern Westeuropas bekannt.

3.3.1 Grundlagen der UTM-Abbildung

Die UTM-Abbildung ist konform (winkeltreu) und vergleichbar mit der Gauß-Krüger-Abbildung. Wegen der doppelten Ausdehnung der 6° breiten Streifen gegenüber der bisher verwendeten Gauß-Krüger-Abbildung sind die Streckenverzerrungen bei der UTM-Abbildung am Grenzmeridian jedoch wesentlich größer. Zur Kompensation der vom Mittelmeridian aus nach Osten und Westen hin ständig wachsenden Streckenverzerrung wurde international einheitlich der UTM-Maßstabsfaktor

$$M_{UTM} = 0,9996$$

festgelegt.

UTM-Maßstabsfaktor

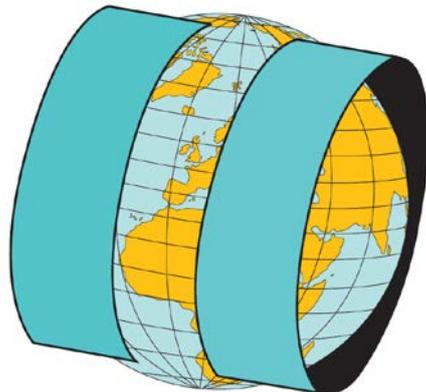
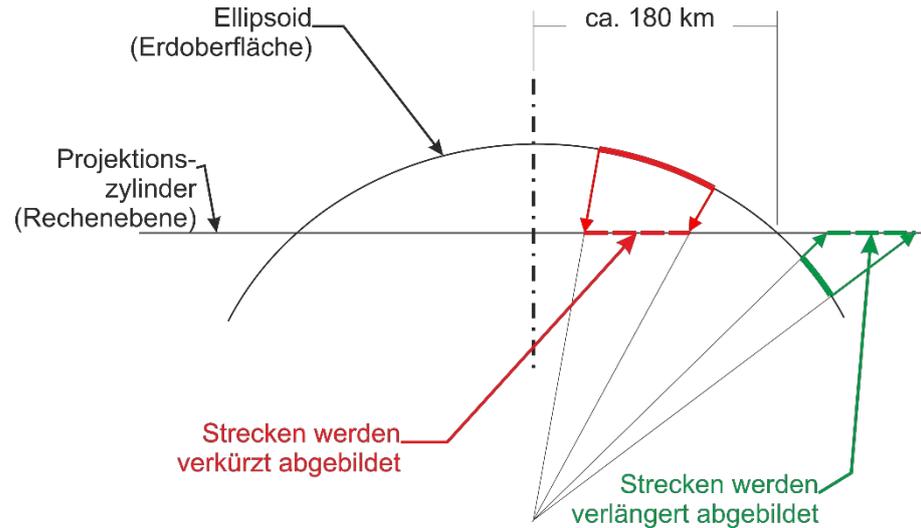


Abb. 10: Schnitzzylinder der UTM-Abbildung (GEObasis.nrw)

Bildlich lässt sich diese Maßstabsverkleinerung der UTM-Abbildung mit einem Projektionszylinder vergleichen, der die Erdkugel schneidet (Abb. 10). Eine am Mittelmeridian gemessene Strecke von 1 km wird durch den Maßstabsfaktor um 40 cm verkürzt abgebildet, weil die Streckenverzerrung aus der Projektion dort Null ist. Im Abstand von etwa 180 km vom Mittelmeridian gleichen sich Streckenverzerrung und Maßstabsfaktor aus. Wenn das Messgebiet mehr als 180 km vom Mittelmeridian entfernt ist, werden die gemessenen Strecken durch die Projektion verlängert (Abb. 11).

Abb. 11: Streckenverzerrung durch UTM-Projektion

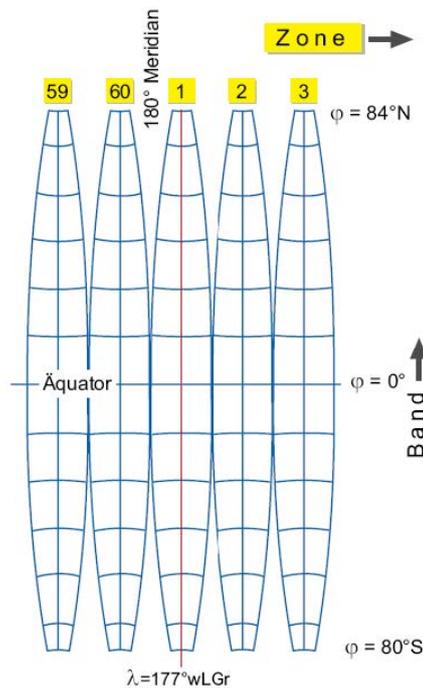
² Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland



3.3.2 Bildung von UTM-Koordinaten

Das System der UTM-Koordinaten umfasst 60 Meridianstreifensysteme (UTM-Zonen) mit einer Ausdehnung von jeweils sechs Längengraden. Die Zählung der Meridianstreifen beginnt als Zone 1 zwischen 180° (Datums-grenze) und 174° westlicher Länge von Greenwich (Abb. 12).

Abb. 12: UTM-Zoneneinteilung



Jede der 6°- Meridianzonen wird durch Breitenkreise in Abständen von $\varphi = 8^\circ$ in Breitenbänder unterteilt (Ausnahme nördlichstes Band $\varphi = 12^\circ$). Die Breitenbänder werden von Süden ($\varphi = 80^\circ\text{S}$) nach Norden ($\varphi = 84^\circ\text{N}$) mit Buchstaben C bis X bezeichnet. Die Buchstaben I und O werden ausgelassen. Daraus ergeben sich Bereiche von $6^\circ \times 8^\circ$, die Zonenfelder genannt werden. Die Bezeichnung erfolgt mit einer Zahl für die Zone und einem Buchstaben für das Breitenband (Abb. 13).

Die Landesfläche der Bundesrepublik Deutschland wird gemäß vorgenannter Zoneneinteilung in den UTM-Zonen 32 und 33 bzw. den UTM-Zonenfeldern 32U, 33U, 32T und 33T abgebildet. Der Meridian (Längengrad) 12° östlicher Länge bildet die Grenze zwischen den beiden UTM-Zonen (Abb. 13).

In der ebenen Abbildung der Karte werden die zweidimensionalen, rechtwinkligen Koordinaten mit Rechtswerten E (East) und Hochwerten N (North) angegeben. Den Bezug stellen der jeweilige Mittelmeridian und der Äquator dar.

Im rechtwinkligen UTM-Koordinatensystem entspricht die Abbildung des jeweiligen Mittelmeridians der senkrechten Achse. Um negative Rechtswerte zu vermeiden erhält jede senkrechte Achse den Rechtswert 500 000 m. Rechtswerte westlich des Mittelmeridians liegen dementsprechend unter E 500 000 m, Werte östlich des Mittelmeridians liegen über E 500 000 m. Zusätzlich werden den East-Koordinaten die Nummern der jeweiligen UTM-Zonen vorangestellt.

Der jeweilige Bezugspunkt für die Hochwerte ist der Schnitt der senkrechten Achse mit der Abbildung des Äquators. Für Hochwerte der Nordhalbkugel besitzt dieser Schnittpunkt den Wert 0 m, für Hochwerte der Südhalbkugel den Wert 10 Mio. m.

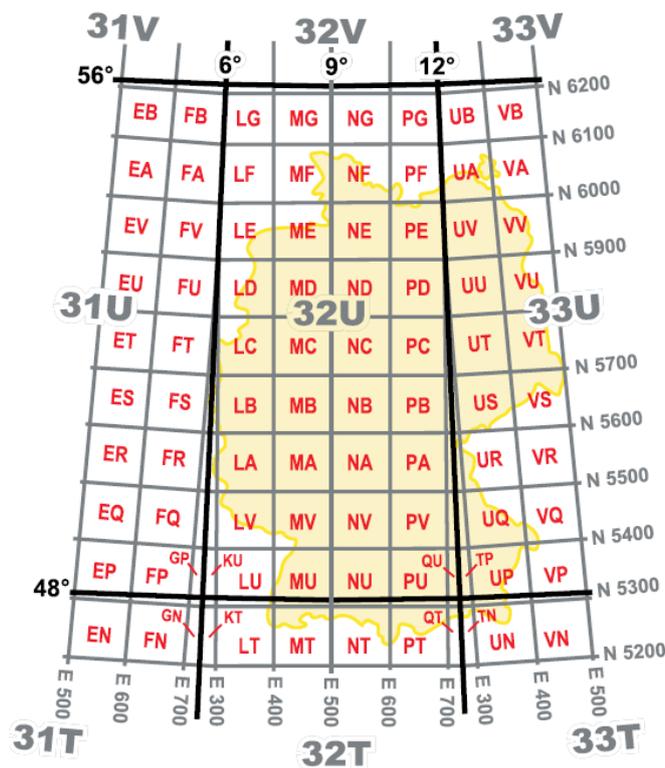


Abb. 13: UTM - System für Deutschland mit 100 km x 100 km Meldegitter

Jede der 60 Meridianzonen ist (unabhängig von den Zonenfeldern) mit einem Gitter von 100 km Maschenweite eingeteilt. Die Gitterlinien sind dabei parallel zum jeweiligen Mittelmeridianen, bzw. dem Äquator. Die Figuren an den Rändern der Zonen sind Teile eines 100 km x 100 km Gitterfeldes. Die Gitterfelder werden durch je zwei Buchstaben gekennzeichnet. Die Kombination setzt sich aus einem Buchstaben für den senkrechten 100 km-Abschnitt und aus einem Buchstaben für den waagrechten 100 km-Abschnitt zusammen. Die Buchstaben I und O werden nicht verwendet.

Durch Angabe des jeweiligen Zonenfeldes in Verbindung mit dem Gitterfeld und des entsprechenden Rechtswerts (E) und Hochwerts (N) – beide als Angabe zwischen 0 und 100 km – ist der Einsatz als universelles, internationales Meldegitter ermöglicht.

In der Anwendung der Liegenschaftsbestandsdokumentation werden die UTM-Koordinaten in aller Regel mit der Angabe der jeweiligen UTM-Zone dargestellt. Die Verwendung von UTM-Zonenfeldern oder dem internationalen Meldegitter ist derzeit innerhalb der Bauverwaltungen der Länder nicht vorgesehen. Sie werden jedoch durch die Bundeswehr und ihre Vermessungskräfte angewendet.

Ferner wird bei den Koordinaten des Hochwertes auf einen zusätzlichen Kennbuchstaben für die nördliche(N) bzw. südliche (S) Hemisphäre verzichtet. Das Europäische Terrestrische Referenzsystem (ETRS) ist lediglich für Bereiche des europäischen Kontinents definiert, der vollständig auf der nördlichen Hemisphäre liegt.

Ein Beispiel für die UTM-Koordinatenangabe für Anwendungen der Bauverwaltungen kann Abb. 14 entnommen werden.

Abb. 14: UTM-Koordinatenbeispiel, Reichstagskuppel, Berlin (Hintergrund: Geoportale Berlin / DOP20RGB „dl-de/by-2-0“)



Die Spitze der Reichstagskuppel in Berlin wird in der UTM-Zone 33 abgebildet (1. und 2. Vorkommastelle der East-Koordinate). Da die 3. bis 8. Vorkommastelle der East-Koordinate einen Wert kleiner als 500.000 m ergeben, liegt die Kuppel ca. 110 km westlich des Mittelmeridians (15° östlicher Länge). Aus der North-Koordinate lässt sich ableiten, dass der Reichstag ca. 5800 km vom Äquator entfernt ist.

3.4 Streckenkorrekturen

3.4.1 Höhenreduktion für gemessene Strecken

Die auf der Geländeoberfläche gemessenen Horizontalstrecken sind zunächst auf die Ellipsoidoberfläche des GRS80-Ellipsoids zu projizieren (Abb. 15).

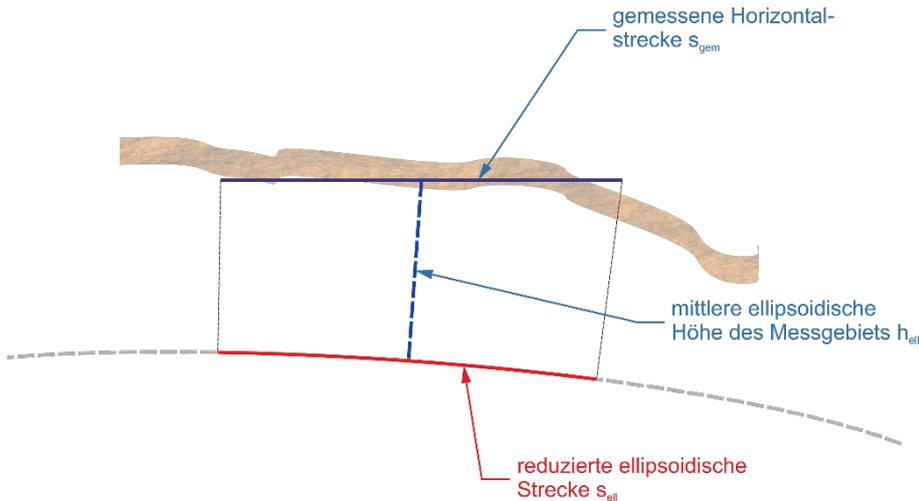


Abb. 15: Höhenreduktion für gemessene Horizontalstrecken

Die Höhenreduktion ist gemäß nachfolgender Formel durchzuführen:

$$S_{ell} = S_{gem} * \frac{R_m}{R_m + h_{ell}} \approx S_{gem} * \left(1 - \frac{h_{ell}}{R_m}\right)$$

Höhenreduktion gemessener Horizontalstrecken auf das Bezugsellipsoid

mit

S_{ell}	horizontale Strecke auf dem Ellipsoid
S_{gem}	horizontale Strecke in der Höhe des Messungsgebietes
h_{ell}	mittlere Höhe des Messgebietes über dem Ellipsoid im km
R_m	mittlerer Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel

In die Reduktion gemessener Strecken auf das Ellipsoid sind die mittlere ellipsoidische Höhe des Messgebietes und der mittlere Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel einzuführen. Für praktische Anwendungen soll zunächst die Frage geklärt werden, mit welcher Genauigkeit die vorgenannten Werte zu bestimmen sind. Abschließend werden die Auswirkungen der Höhenreduktion auf die gemessenen Strecken dargestellt.

3.4.1.1 Genauigkeitsanforderungen an den Krümmungshalbmesser der Gauß'schen Schmiegunskugel

Der mittlere Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel R_m variiert mit der mittleren Geographischen Breite des Messgebietes. In aller Regel wird durch die Vermessungsverwaltungen der Länder für das gesamte Landesgebiet ein einheitliches R_m angegeben.

Der mittlere Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegungskugel lässt sich gemäß nachfolgender Formel berechnen:

Mittlere Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegungskugel

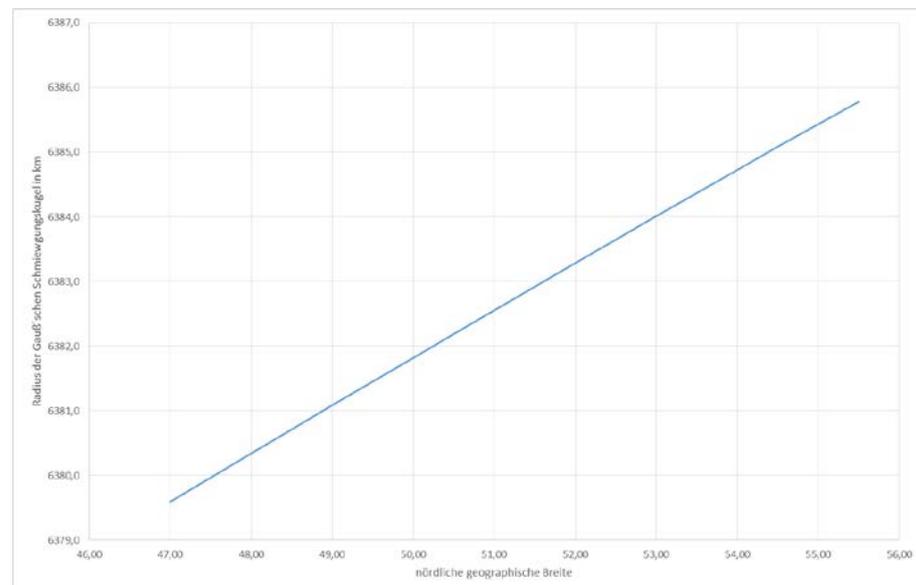
$$R_m = \sqrt{M_{GRS80}(B) * N_{GRS80}(B)} = \frac{b}{1 - e^2 * \sin^2 B}$$

mit

R_m	mittlerer Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegungskugel
$M_{GRS80}(B)$	Meridiankrümmungsradius des GRS80-Ellipsoids in der Geographischen Breite B
$N_{GRS80}(B)$	Normalkrümmungsradius des GRS80-Ellipsoids in der Geographischen Breite B
e	erste numerische Exzentrizität
B	Geographische Breite

Das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland erstreckt sich von Süden nach Norden näherungsweise von 47° nördlicher Breite bis 55,5° nördlicher Breite. Dementsprechend variiert der Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegungskugel von 6379,6 km bis 6385,8 km (Abb. 16).

Abb. 16: Variation des Radius der Gauß'schen Schmiegungskugel auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland



Diese Variation des Krümmungsradius ruft auf eine gemessene Strecke von 1 km in 2000 m Höhe eine Veränderung der höhenreduzierten Strecke von 0,3 mm hervor. Deshalb kann mit ausreichender Genauigkeit für Anwendungen der Liegenschaftsbestandsdokumentation ein mittlerer Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegungskugel von

Bundesweiter Mittelwert des Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegungskugel

$R_m = 6382 \text{ km}$

bundesweit verwendet werden.

In den landesspezifischen Vorgaben für Messungen im Liegenschaftskataster kann der Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel von diesem mittleren Wert für die Bundesrepublik Deutschland leicht abweichen (± 3 km). Da die dadurch bedingten Abweichungen weit unterhalb der Genauigkeitsanforderungen der Liegenschaftsbestandsdokumentation liegen, können auch die abweichenden Vorgaben des Liegenschaftskatasters für den mittleren Radius der Gauß'schen Schmiegunskugel ohne Einschränkungen genutzt werden.



3.4.1.2 Genauigkeitsanforderungen an die mittleren ellipsoidischen Höhen

Für die Streckenreduktion ist die mittlere ellipsoidische Höhe des Messgebietes h_{ell} anzugeben. Die ellipsoidische Höhe h_{ell} gibt den senkrechten Abstand eines Punktes auf der Erdoberfläche zum Referenzellipsoid an, welches für die kartographische Abbildung verwendet wird. Beim Koordinatenreferenzsystem ETRS89_UTM wird das GRS80-Ellipsoid genutzt.

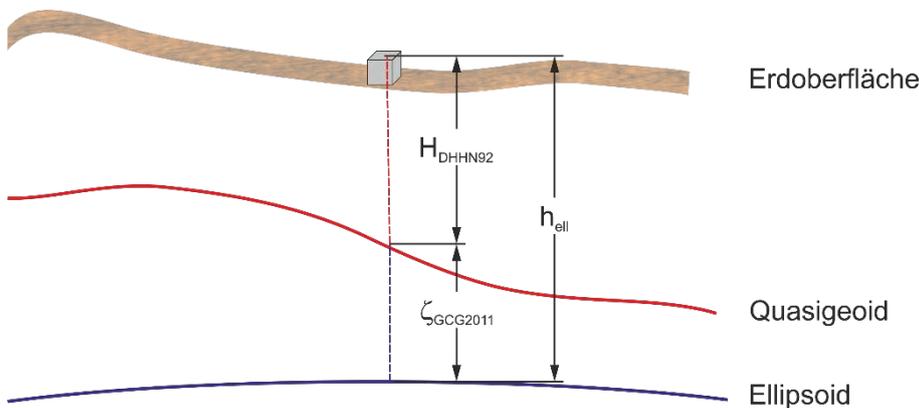


Abb. 17: Zusammenhang zwischen den Höhen Bezugssystemen

Die ellipsoidische Höhe kann entweder direkt aus GNSS-Messungen abgeleitet werden oder sie wird aus den physikalischen Höhen im Bezugssystem des Deutschen Haupthöhennetzes von 2016 (DHHN2016) berechnet, welches in der Regel auch für die Höhenangaben in der Liegenschaftsbestandsdokumentation genutzt wird. Dazu wird die mittlere Quasigeoidundulation ζ_{GCG2016} auf die NHN-Höhen H_{DHHN2016} aufaddiert.

$$h_{\text{ell}} = H_{\text{DHHN2016}} + \zeta_{\text{GCG2016}}$$

Ellipsoidische Höhe

mit

h_{ell}	Ellipsoidische Höhe
H_{DHHN2016}	Normalhöhe im Bezugssystem des Deutschen Haupthöhennetzes 2016
ζ_{GCG2016}	Geoidundulation des German Combined Geoid 2016 (GCG2016)

Die Höhenangaben der Liegenschaftsbestandsdokumentation beziehen sich auf das Höhen Bezugssystem DHHN2016, so dass eine mittlere Geländehöhe H_{DHHN2016} aus deren Daten abgeleitet werden kann.

Berechnung der mittleren NHN-Höhe des Messgebiets

$$H_{DHHN2016} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n H_{DHHN2016,i}$$

mit

$H_{DHHN2016}$ mittlere NHN-Höhe des Messgebiets

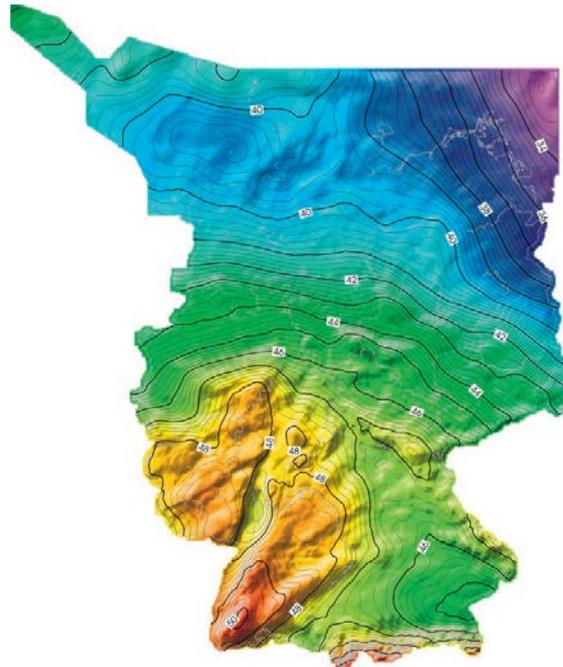
$H_{DHHN2016,i}$ NHN-Höhen einzelner Punkte im Messgebiet

n Anzahl der Messpunkte

Zur Bestimmung der mittleren Quasigeoidundulation $\zeta_{GCG2016}$ ist das German Combined Geoid 2016 (GCG2016) zu verwenden, welches bundesweit einheitlich den Höhenumrechnungen durch die Vermessungsverwaltungen zugrunde gelegt wird. Daten sowie Interpolationsprogramme für das GCG2016 können von Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg-bund.de) bezogen werden.

Bei GNSS-Messungen mit Nutzung des SAPOS-Referenzdienstes der Vermessungsverwaltungen können Geoidinformationen aus den RTK-Korrekturdaten im RTCM 3.1 Format entnommen werden.

Abb. 18: Verlauf des Quasigeoids GCG2011 für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland (www.bkg-bund.de)



Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland variieren die Geoidundulationen des GCG2016 von 34m in der Ostsee bis 50m im Schwarzwald und den Alpen.



Eine Abweichung der Geoidundulation vom wahren Wert in der Größenordnung von 25 m ruft lediglich eine Streckenänderung von -4 mm bei 1 km Streckenlänge hervor. Deshalb geben die Vermessungsverwaltungen in aller Regel für die Höhenreduktion von Strecken im Liegenschaftskataster mittlere Geoidundulationen für die gesamte Landesfläche vor, mit denen die Höhenreduktionen mit Subzentimeter-Genauigkeit durchgeführt werden können. Für Anwendungen der Liegenschaftsbestandsdokumentation können die landesweiten Vorgaben einer mittleren Geoidundulation genutzt werden.

3.4.1.3 Auswirkungen der Höhenreduktion auf gemessene Strecken

Die Höhenreduktion auf das Bezugsellipsoid wirkt sich für die gesamte Fläche der Bundesrepublik Deutschland als Streckenverkürzung aus (Tab 2).

Ellipsoidische Höhe in m	Streckenmaßstab der Höhenreduktion	Streckenänderung einer 100m-Strecke in m
50	0,99999	-0,001
100	0,99998	-0,002
250	0,99996	-0,004
500	0,99992	-0,008
1000	0,99984	-0,016
1500	0,99976	-0,024
2000	0,99969	-0,031

Tab 2: Einfluss der Höhenreduktion auf gemessene Strecken

Bis zu einer mittleren ellipsoidischen Höhe von 250 m liegt der Betrag die Höhenreduktion unterhalb der üblicherweise geforderten Genauigkeiten der Liegenschaftsbestandsdokumentation und der Bautoleranzen. Deshalb kann die Höhenreduktion bis zu einer mittleren Höhe von 250 m ohne Einschränkung der Anwendbarkeit der Daten in aller Regel vernachlässigt werden.



3.4.2 Streckenkorrektur wegen Projektionsverzerrung

Nachdem die gemessenen Horizontalstrecken auf das Ellipsoid reduziert wurden, sind diese in einem zweiten Schritt von der gekrümmten Ellipsoidoberfläche auf die planare Abbildungsfläche der UTM-Projektion zu korrigieren.

$$S_{UTM} = S_{ell} * m_{UTM} * \left(1 + \frac{(E_m - 500km)^2}{2R_m^2} \right)$$

Streckenkorrektur wegen Projektionsverzerrung

mit

- S_{UTM} horizontale Strecke auf dem UTM-Abbildungszylinder
- S_{ell} horizontale Strecke auf dem Ellipsoid
- m_{UTM} UTM-Maßstabsfaktor = 0,9996
- E_m mittlerer Ostwert des Messungsgebietes ohne Zonenkennziffer in km
- R_m mittlerer Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel in km

Der mittlere Ostwert E_m berechnet sich aus den sechs Vorkommastellen der East-Koordinate dividiert durch 1000.

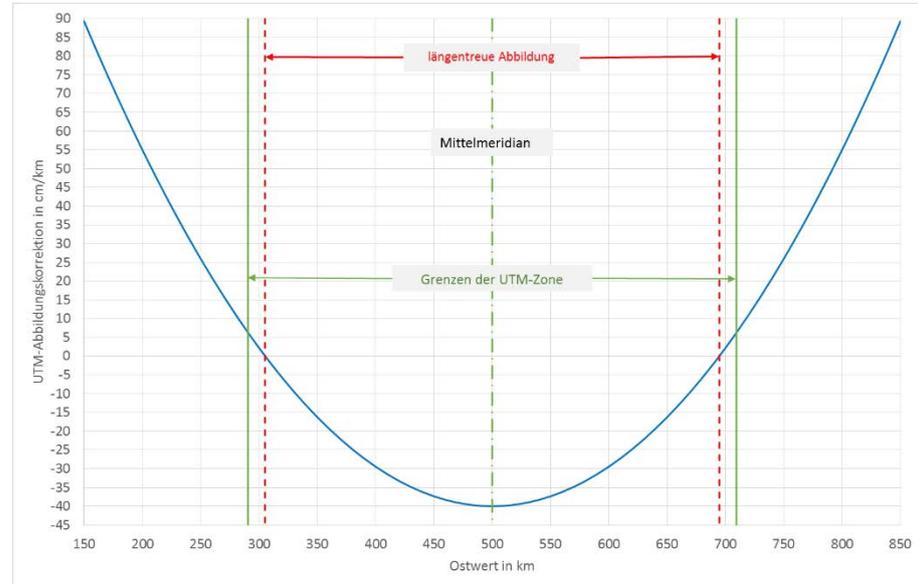
$$\text{EAST: } 32\ 625\ 125,479\ \text{m} \rightarrow E_m = 625,125\ 479\ \text{km}$$



Die Genauigkeit des mittleren Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel spielt wie bei der Höhenreduktion (siehe 3.4.1.1) nur eine untergeordnete Rolle. Deshalb kann für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auch bei der Projektionskorrektur ein Mittelwert von $R_m=6382\ \text{km}$ angenommen werden.

Da der Projektionszylinder der UTM-Projektion um den Maßstabsfaktor $m_{UTM}=0,9996$ verkleinert ist, wird der Mittelmeridian der UTM-Zone um 40 cm/km gestaucht. Der wesentliche Einflussfaktor auf die Streckenkorrektur ist der mittlere Abstand des Messgebiets vom Mittelmeridian bzw. der mittlere Ostwert. Die Korrektur wirkt sich symmetrisch zum Mittelmeridian aus.

Abb. 19: UTM-Streckenkorrektur wegen Projektionsverzerrung



Tab. 3: Auswirkungen der UTM-Projektionskorrektur auf Strecken

Abstand vom Mittelmeridian [km]	Maßstabsfaktor der Projektionskorrektur	Auswirkung der Projektionskorrektur [cm/km]
0	0,999600	-40,0
50	0,999626	-37,4
100	0,999706	-29,4
150	0,999837	-16,3
200	1,000022	2,2
250	1,000260	26,0

In einem Abstand vom Mittelmeridian von ca. 195 km werden die Strecken längentreu abgebildet und die Projektionskorrektur wird zu null. An den Grenzen der UTM-Zonen, welche bei einer mittlere Geographischen Breite von 51° ca. 210 km vom Mittelmeridian entfernt sind, werden die Strecken durch die Projektionskorrektur um ca. 6,6 cm/km gedehnt.

3.4.3 Zusammengefasste Streckenkorrektur

Da sich sowohl die Höhenreduktion auf das Abbildungsellipsoid als auch die Projektionskorrektur als Maßstabsfaktor auf die gemessenen Strecken auswirken, können beide Korrekturen zusammengefasst werden.

$$S_{UTM} = S_{gem} * m_{UTM} * \left(1 - \frac{h_{ell}}{R_m} + \frac{(E_m - 500km)^2}{2R_m^2} \right)$$

Zusammengefasste Streckenkorrektion

mit

- S_{UTM} horizontale Strecke auf dem UTM-Abbildungszylinder
- S_{gem} gemessene Horizontalstrecke auf Gelände Höhe
- m_{UTM} UTM-Maßstabsfaktor = 0,9996
- h_{ell} Ellipsoidische Höhe im km
- E_m mittlerer Ostwert ohne UTM-Kennziffer im km
- R_m mittlerer Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegungskugel in km

3.4.4 Abbildung der Nachweise der Vermessungsverwaltungen in UTM-Zonen

Entsprechend den Festlegungen in der Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) [9], besteht die Notwendigkeit pro Datenbank eine Festlegung zur Führung des Grundrisses in genau einer UTM-Zone zu treffen. Die Bundesländer, durch deren Landesfläche der Grenzmeridian der Zonen 32 und 33 verläuft, bilden in der Regel die gesamte Landesfläche einheitlich in einer UTM-Zone ab. Lediglich im Freistaat Bayern werden die Geobasisdaten in zwei UTM-Zonen (32 und 33) abgebildet.

Die Abbildung der Landesfläche in einer UTM-Zone hat zur Folge, dass die Projektionsverzerrungen für die Teile der Landesfläche, die über die eigentliche Grenze der UTM-Zone hinausgehen, sehr stark anwachsen. Am Übergang zwischen den UTM-Zonen werden Strecken um ca. 0,6 cm/100 m gedehnt. In den Überlappungsbereichen können die Streckenverzerrungen jedoch auf bis zu 6 cm/100 m anwachsen. Diese ist vor allem bei der Planung und Durchführung von Baumaßnahmen zu berücksichtigen.

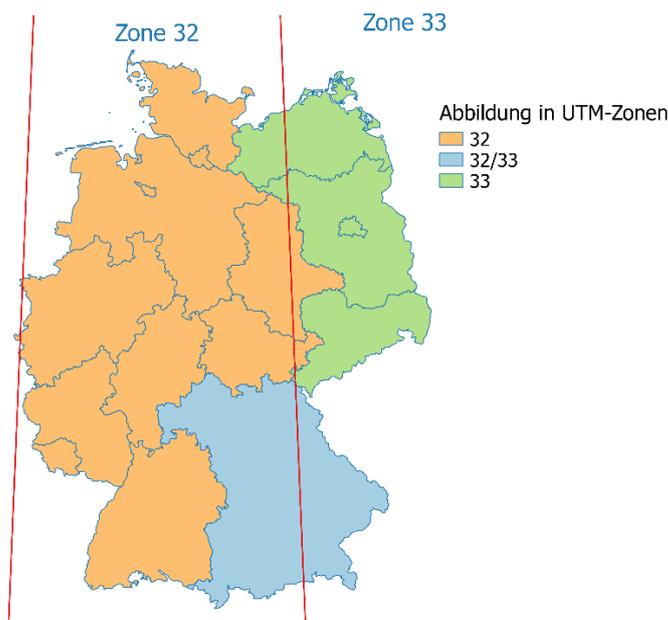


Abb. 20: UTM-Zonen für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

Die Festlegungen der einheitlichen UTM-Zonen für die Nachweise der Vermessungsverwaltungen können Tab. 4 entnommen werden.

Tab. 4: Länderspezifische Festlegungen der UTM-Zonen für Geobasisdaten

Bundesland	UTM-Zone
Baden-Württemberg	32
Bayern	32 und 33
Berlin	33
Brandenburg	33
Bremen	32
Hamburg	32
Hessen	32
Mecklenburg-Vorpommern	33
Niedersachsen	32
Nordrhein-Westfalen	32
Rheinland-Pfalz	32
Saarland	32
Sachsen	33
Sachsen-Anhalt	32
Schleswig-Holstein	32
Thüringen	32



Da sich der Raumbezug der Liegenschaftsbestandsdokumentation an den Vorgaben der Vermessungsverwaltungen orientiert, sollten die landespezifischen Regelungen auch für die Dokumentation der Bundesliegenschaften übernommen werden. Dadurch kann sichergestellt werden, dass Nachweise der Vermessungsverwaltungen für raumbezogene Aufgaben auf der Grundlage der Liegenschaftsbestandsdokumentation nahtlos integriert werden können.

3.5 Flächenkorrekturen

Wie die Strecken sind auch die Flächen von Objekten aufgrund der UTM-Abbildung zu korrigieren. Auch dazu ist eine Höhenreduktion von der mittleren Höhe des Messgebietes auf das Ellipsoid und anschließend eine Projektionskorrektur vorzunehmen.

3.5.1 Höhenreduktion von Flächen auf das GRS80-Ellipsoid

Die auf der mittleren Höhe des Messgebietes bestimmten Flächen sind auf die Oberfläche des GRS80-Bezugsellipsoids zu reduzieren.

$$F_{ell} = F_{gem} * m_h^2 = F_{gem} * \left(\frac{R_m}{R_m + h_{ell}} \right)^2 \approx F_{gem} * \left(1 - \frac{h_{ell}}{R_m} \right)^2$$

mit

F_{ell} horizontale Fläche auf Höhenniveau des GRS80-Ellipsoids

F_{gem} horizontale Fläche auf Höhenniveau des Messgebietes

m_h lokaler Höhenmaßstab

h_{ell} Höhe des Messgebietes über dem GRS80-Ellipsoid

R_m mittlerer Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel

Die Höhenreduktion der Flächen von der mittleren Geländehöhe auf das Abbildungsellipsoid wirkt sich maßstäblich auf die Flächen aus. Da die gesamte Landesfläche der Bundesrepublik oberhalb des Abbildungsellipsoids

Flächenkorrektur von der mittleren Geländehöhe auf die Ellipsoidoberfläche

verläuft, werden durch die Höhenkorrektion die Flächen verkleinert auf das Ellipsoid abgebildet.

h_{ell}	m_h	$F_{red} [m^2]$	$\Delta F [m^2]$	$\Delta F/F_{red}$
50	0,99998433	9999,84	-0,16	0,00%
100	0,99996866	9999,69	-0,31	0,00%
150	0,99995299	9999,53	-0,47	0,00%
200	0,99993732	9999,37	-0,63	-0,01%
250	0,99992166	9999,22	-0,78	-0,01%
300	0,99990599	9999,06	-0,94	-0,01%
350	0,99989032	9998,90	-1,10	-0,01%
400	0,99987465	9998,75	-1,25	-0,01%
450	0,99985898	9998,59	-1,41	-0,01%
500	0,99984332	9998,43	-1,57	-0,02%

Tab. 5: Auswirkung der Höhenreduktion auf Flächen

Die Auswirkungen der Höhenreduktion für Flächen sind verhältnismäßig gering. Bei einer mittleren Ellipsoidischen Höhe von 500 m beträgt die Flächenverkleinerung ca. 0,2 Promille. Selbst bei 1500 m Höhe übersteigt die Flächenverkleinerung nicht die Größenordnung von 0,5 Promille. Deshalb kann für praktische Anwendungen der Liegenschaftsbestandsdokumentation die Höhenreduktion von Flächen in aller Regel vernachlässigt werden.



3.5.2 Flächenkorrektur wegen Projektionsverzerrungen

Die gemäß 3.5.1 auf die Ellipsoidoberfläche reduzierten Flächen sind in einem zweiten Schritt wegen der Projektionsverzerrungen durch die UTM-Abbildung zu korrigieren.

$$F_{UTM} = F_{ell} * M_{UTM}^2 = F_{ell} * m_{UTM}^2 * \left(1 + \frac{(E_m - 500km)^2}{2R_m^2} \right)^2$$

Flächenkorrektur wegen Projektionsverzerrungen

mit

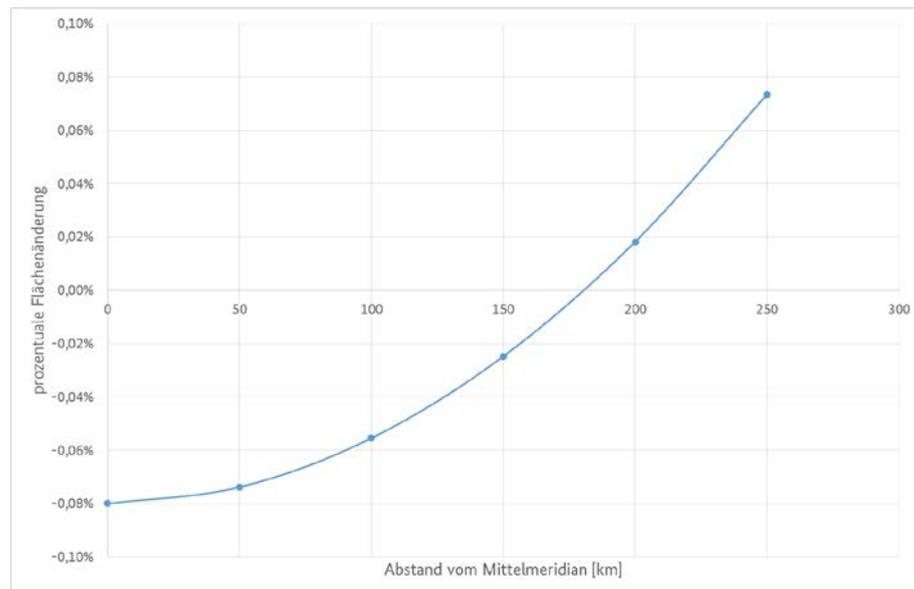
- F_{UTM} Fläche auf der UTM-Abbildungsebene
- F_{ell} Fläche auf dem GRS80-Referenzellipsoid
- M_{UTM} lokaler Maßstabsfaktor für UTM-Flächenkorrektur
- m_{UTM} Maßstabsfaktor der UTM-Projektion = 0,9996
- E_m mittlerer Ostwert ohne UTM-Kennziffer
- R_m mittlerer Krümmungsradius der Gauß'schen Schmiegunskugel

Die Projektionskorrektur der Flächen wirkt sich maßstäblich auf die ellipsoidischen Flächen aus. In Abhängigkeit von der mittleren Entfernung des Messgebiets vom Mittelmeridian der UTM-Zone werden die Flächen verkleinert bzw. vergrößert. Bei einem Abstand von ca. 190 km vom Mittelmeridian bleibt die Flächengröße durch die Projektionskorrektur erhalten.

Tab. 6: Auswirkungen der Projektionskorrektur auf eine 10000 m²-Fläche

Abstand vom Mittelmeridian [km]	M_{UTM}	F_{UTM} [m ²]	ΔF [m ²]	$\Delta F/F_{UTM}$
0	0,9992002	9992,0016	-8,0	-0,08%
50	0,9992615	9992,61492	-7,4	-0,07%
100	0,9994455	9994,45498	-5,5	-0,06%
150	0,9997522	9997,52214	-2,5	-0,02%
200	1,0001817	10001,8169	1,8	0,02%
250	1,0007340	10007,3402	7,3	0,07%

Abb. 21: Prozentuale Flächenänderung aufgrund der UTM-Projektionskorrektur



Wie auch die Höhenkorrektur wirkt sich die UTM-Projektionskorrektur auf Flächen nur gering aus. Im Bereich einer UTM-Zone bewirkt die UTM-Projektionskorrektur Flächenänderungen kleiner als ± 1 Promille. Deshalb kann die Projektionskorrektur der Flächen für praktische Anwendungen in aller Regel vernachlässigt werden.

4 Glossar

Begriff	Erläuterung
ADV	<p>Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland</p> <p>Die AdV koordiniert das amtliche deutsche Vermessungswesen. Auf Grund der Zuständigkeit der deutschen Bundesländer für das nationale amtliche Vermessungswesen im Kontext mit der föderalen Staatsstruktur definieren Landesgesetze die hier zu erfüllenden Aufgaben.</p> <p>Neben den für das amtliche Vermessungswesen zuständigen Fachverwaltungen der Länder wirken die Bundesministerien des Innern, der Verteidigung sowie für Verkehr und digitale Infrastruktur in der AdV zusammen.</p>
ETRS89	<p>Das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 (ETRS89) ist ein dreidimensionales geodätisches Bezugssystem. Es wurde von der Europäischen Subkommission der IAG (EUREF) definiert als fest verbunden mit dem stabilen Teil der eurasischen Kontinentalplatte und als identisch mit dem ITRS zur Epoche 1989.0.</p>
GCG2016	<p>German Combined Geoid 2016</p> <p>Quasigeoidberechnung für die Bundesrepublik Deutschland in der Realisierung des Jahres 2016.</p>
GNSS	<p>Global Navigation Satellite System</p> <p>Oberbegriff für die Satellitennavigationssysteme, welche u. a. auch für Vermessungen mit geodätischer Genauigkeit genutzt werden können, z. B. GPS, GLONAS, GALILEO.</p>
GRS80	<p>Geodätisches Referenzsystem 1980 (GRS 80, engl. Geodetic Reference System 1980)</p> <p>ein Erdmodell, das die wichtigsten Parameter der Erdfigur, der Erdrotation und des Schwerefeldes umfasst.</p> <p>Das GRS 80 wurde 1979 auf der Generalversammlung der IUGG, des internationalen Dachverbandes der Geodäsie und Geophysik, beschlossen. Diese liegt dem ETRS89 zu Grunde.</p>
ITRS	<p>Die Abkürzung ITRS steht für IERS Terrestrial Reference System bzw. (vereinfacht) für International Terrestrial Reference System</p> <p>Das ITRS ist das international vereinbarte, erdfeste, weltweite Bezugssystem von terrestrischen kartesischen Koordinaten, die den ITRF bilden.</p>
SAPOS®	<p>SAPOS® ist ein Gemeinschaftsprojekt der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) und basiert auf einem flächendeckenden Netz von Referenzstationen. Die permanent gemessenen Signale der Globalen Satellitennavigationssysteme (GNSS)</p>

Begriff	Erläuterung
	werden zentral ausgewertet und als Korrekturdaten mittels digitaler Datenübertragung bereitgestellt.
UTM	Universale Transversale Mercatorprojektion Kartenprojektion zur Abbildung der auf das Abbildungsellipsoid bezogenen Koordinaten in die Kartenebene.

5 Literatur

- [1] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung. *Baufachliche Richtlinien Vermessung - Grundlagen für Vermessungsleistungen auf Liegenschaften des Bundes*. BFR Verm, 4. Auflage, September 2018.
- [2] Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. *Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland*. Rili-RB-AdV Version 3.0, 16. Mai 2017.
- [3] RICHTLINIE 2007/2/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft. INSPIRE. In: *Amtsblatt der Europäischen Union*, 14. März 2007, L108/1–L108/14.
- [4] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung. *Baufachliche Richtlinien Liegenschaftsbestandsdokumentation - Erfassung und Nutzung von Bestandsdaten zu Außenanlagen auf Liegenschaften des Bundes*. BFR LBestand, 1. Auflage, September 2018.
- [5] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI). HOAI. In: *Bundesgesetzblatt Teil 1*, 10. Juli 2013, S. 2276.
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesministerium der Verteidigung. *Baufachliche Richtlinien Gebäudebestandsdokumentation*. BFR GBestand, Juni 2012.
- [7] Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. *Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland*, 25. April 2014.
- [8] Bundesministerium der Verteidigung. *Handlungsanweisung zur Koordinatentransformation im LISA*. Bonn, 2. September 2005.
- [9] Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens*. GeoInfoDok, 2008.
- [10] Badstübner, D. *ETRS89/UTM bei der Planung und Errichtung von Verkehrswegen und Ingenieurbauvorhaben*. Berlin, 31. März 2009.
- [11] Der Senator für Umwelt, B.u.V.F.H.B. *UTM-Abbildung. Information und Handlungsempfehlung*. Bremen, 11. Juni 2015.
- [12] Deutscher Markscheider-Verein (DMV). *Empfehlungen zur Einführung des amtlichen Lagebezugssystems ETRS89/UTM im Bergbau*. Herne, 20. Mai 2015.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN ISO 19111:2007-10 Geoinformation - Koordinatenreferenzsysteme (ISO 19111 :2007)*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [14] Freistaat Thüringen, L.f.V.u.G. *Technisches Regelwerk zur Eignungsfeststellung der eingesetzten Datenverarbeitungsprogramme zu Auswertung von Liegenschaftsvermessungen*. Erfurt, 13. Dezember 2011.
- [15] Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Bayern. *CRS-Transformation Bayern* [online]. Verfügbar unter: https://sapos.bayern.de/coord_tm.php
- [16] Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGLN). *Formelsammlung unter Berücksichtigung des amtlichen Bezugssystems ETRS89 mit UTM - Abbildung*. Hannover, 1. Juli 2012.

- [17] Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern, A.f.G.V.-u.K. *Konzept zur Überführung der Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters in das Lagebezugssystem ETRS89 mit UTM-Abbildung in Mecklenburg-Vorpommern*. Schwerin, 5. August 2011.
- [18] Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften. *Umstellung der Koordinatenbezugssysteme*. TOP 4. Hannover, 05.2017. Anwendertreffen der Leitstellen Vermessung.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
Alt-Moabit 140
10557 Berlin

Bundesministerium der Verteidigung
Fontainengraben 150
53123 Bonn

Bezugsquelle/Ansprechpartner

Geschäftsstelle des Bund-/Länderarbeitskreises Vermessung beim
Landesamt GeoInformation Bremen
Lloydstraße 4
28217 Bremen
www.bfrvermessung.de
info@bfrvermessung.de
Tel +49 (0)421 361-2752

Gestaltung

Geschäftsstelle des Bund-/Länderarbeitskreises Vermessung, Bremen

Text

Geschäftsstelle des Bund-/Länderarbeitskreises Vermessung, Bremen
in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Fachthemen

Bildnachweis

Geschäftsstelle des Bund-/Länderarbeitskreises Vermessung, Bremen

Versionsverlauf

Versionsnummer	Änderungen
1.0	
1.1	<ul style="list-style-type: none">Berücksichtigung der neuen Richtlinienstruktur für Vermessungsleistungen und LiegenschaftsbestandsdokumentationAnpassung des Layouts an den Styleguide der Bundesregierung

