
Bezugssysteme für GNSS

Fachautoren: Barbara Görres, Universität Bonn
Michael Mayer, Karlsruher Institut für Technologie
Axel Nothnagel, Universität Bonn
Bernhard Heck, Karlsruher Institut für Technologie

weitere Beteiligte: DVW-Arbeitskreise:
- Messmethoden und Systeme (AK 3)
- Experimentelle Angewandte und Theoretische Geodäsie (AK 7)
- Ingenieurgeodäsie (AK 4)

Beschlussfassung: Beschlossen vom DVW-Arbeitskreis 3 am 12.10.2012
Verabschiedet vom Präsidium des DVW am 12.10.2012

**Dokumentenstatus
verabschiedet**

Warum wurde das DVW-Merkblatt „Bezugssysteme für GNSS“ verfasst?

Die satellitengestützte Vermessung – insbesondere basierend auf Globalen Satellitennavigationssystemen (GNSS, engl. Global Navigation Satellite Systems) wie dem amerikanischen GPS (Global Positioning System) oder dem russischen GLONASS – hat sich als grundlegendes geodätisches Messverfahren nachhaltig etabliert. Der Einsatz von GNSS ermöglicht Positionsbestimmungen einfach und wirtschaftlich durchzuführen. Zukunftssicherheit wird durch weitere im Aufbau befindliche GNSS (z. B. GALILEO, Compass) sowie regionale Erweiterungen sichergestellt.

Dieses Merkblatt will zum Verständnis der dieser Positionierungstechnik zugrunde liegenden geodätischen Bezugssysteme beitragen und für theoretische Grundlagen sensibilisieren. Der Fokus wird dabei auf den aktuellen Stand dreidimensionaler GNSS-orientierter Bezugssysteme gelegt. Dieses Merkblatt versteht sich als rahmengebend und behandelt deshalb Aspekte, die deutschlandweit uneingeschränkte Gültigkeit besitzen, kleinskaligere Bereiche (z. B. Bundesländer) werden bewusst ausgeklammert. Ebenso verbleiben Aspekte der Überführung von GNSS-basierten Informationen in amtliche Lage- und Höhennetze unbehandelt. Aufbauend auf diesem Merkblatt soll ein Forum geschaffen werden, das es ermöglicht, diese interessanten und aktuellen Aspekte zu thematisieren.

Welche Fragen werden in diesem Merkblatt beantwortet?

In Tab. 1 sind die in diesem Merkblatt behandelten Thematiken in Form einer Gliederung aufgeführt.

Tab. 1: Gliederung des Merkblatts

Behandelter Aspekt	Seite
Wozu werden Bezugssysteme benötigt?	2
Was sind Terrestrische Referenzsysteme?	3
Was sind Terrestrische Referenzrahmen?	3
Was ist der International Terrestrial Reference Frame ITRF?	3
Ändern sich die Koordinaten von Punkten, wenn neue ITRF-Realisierungen veröffentlicht werden?	4
Welche Ansprüche werden an TRF-Stationen gestellt?	5
Welchen Einfluss haben geodynamische Ereignisse auf ITRF-Koordinaten?	5
Gibt es IGS-Realisierungen des ITRF?	5
Welche GNSS-spezifischen globalen Bezugssysteme gibt es?	6
Was ist das WGS84?	6
Was ist das PZ-90?	6
In welchem Bezugssystem werden Satellitenpositionen angegeben?	7
Warum und wie werden globale TRF verdichtet?	7
Was ist das ETRS?	7
Was ist das ETRF?	7
Was ist das EPN?	8
Was ist das GREF?	8
Wie wird in Deutschland ein einheitlicher Raumbezug sichergestellt?	8
Welche Referenzstationsnetze gibt es – neben SAPOS® – in Deutschland?	8
Wie werden aus 3D kartesischen Koordinaten Gebrauchskoordinaten erhalten?	9
Was regelt die DIN EN ISO 19111?	9
Welche weiterführende Literatur gibt es?	9

Wofür werden Bezugssysteme benötigt?

Bezugssysteme werden zur eindeutigen Beschreibung von Ereignissen in Raum und Zeit benötigt. Um Positionen von Punkten zu bestimmen und zueinander in Beziehung zu bringen, werden Koordinaten verwendet, die in einem festgelegten Bezugssystem eindeutig definiert werden. Hierzu werden Bezugssysteme theoretisch definiert und praktisch konsistent und großräumig realisiert. Der traditionelle Weg zur Realisierung eines Bezugssystems sah prinzipiell ebenso wie heute eine Arbeit vom „Großen ins Kleine“ vor, jedoch musste zur Realisierung eines übergeordneten Bezugssystems der ersten Ordnung mit klassischen Messverfahren der Weg vom „Kleinen ins

Große“ beschriftet und Netze vergrößert werden. Die Gültigkeit der Netze endete zudem in der Regel an Landesgrenzen. Heute kann basierend auf großräumigen und konsistenten Bezugssystemen mit satellitengeodätischen Methoden durchgängig dem Arbeitsprinzip vom „Großen ins Kleine“ folgend gearbeitet werden. Ausgehend von großräumigen (z. B. ETRS89) oder globalen (z. B. ITRS) Systemen werden durch Verdichtung mit GNSS-Messungen weitere Systeme für regionale oder kleinräumige Anwendungen der Vermessungspraxis geschaffen, die die Bezugssysteme der klassischen Landesvermessung nach und nach ersetzen.

Was sind Terrestrische Referenzsysteme?

Zur Festlegung von Referenzsystemen werden Modellvorstellungen unter Verwendung von z. B. Konstanten, mathematischen und physikalischen Konventionen sowie Parametern zur Beschreibung geometrischer und physikalischer Größen definiert.

Das ITRS (International Terrestrial Reference System) wurde 1991 bei der Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) in Wien und zeitgleich mit Übernahme durch die International Association of Geodesy (IAG) als grundlegendes konventionelles globales Referenzsystem der Geodäsie verabschiedet.

Sein Ursprung fällt mit dem Massenmittelpunkt der Erde zusammen. Die Z-Achse ist identisch mit der mittleren Rotationsachse der Erde von 1900 bis 1905; sie durchstößt die Erdoberfläche im Conventional Terrestrial Pole. Die X-Achse ist durch den Schnittpunkt des mittleren Meridians von Greenwich mit dem mittleren Äquator von 1900 bis 1905 definiert, so dass das Referenzsystem mit der Erde rotiert. Die Y-Achse vervollständigt ein Rechtssystem. Sollte Bedarf für eine Umrechnung geozentrisch kartesischer in ellipsoidische Koordinaten vorliegen, wird das GRS80-Ellipsoid genutzt (PETIT UND LUZUM 2010).

Grundlegend für die Festlegung von erdfesten Referenzsystemen sind raum- bzw. himmelsfeste Referenzsysteme, die auf stabile extraterrestrische Ziele (z. B. Quasare) bezogen sind. Zeitliche Änderungen von erdfesten Systemen können nur beschrieben werden, wenn diese formal mit raumfesten Referenzsystemen in Verbindung gebracht werden. Das Bindeglied hierbei stellen die Parameter der Erdrotation dar. Mittels hochpräziser Weltraumtechniken (z. B. Very Long Baseline Interferometry, VLBI) werden in der geodätischen Praxis vom IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service, <http://www.iers.org/>) aktuelle Transformationsparameter ermittelt und veröffentlicht. Details zu raumfesten Referenzsystemen sind in HECK (1995) und MAYER (2001) zu finden.

Was sind Terrestrische Referenzrahmen?

Unter einem terrestrischen Referenzrahmen (TRF, engl. Terrestrial Reference Frame) wird die Realisierung des jeweils zugehörigen „Systems“ verstanden. Ursprung, Orientierung der Achsen, Maßstab – das geodätische Datum – werden physikalisch durch einen Satz von vermarkten Punkten auf der Erdoberfläche materialisiert und mathematisch-numerisch durch die zugehörigen zeitabhängigen Koordinaten realisiert.

Was ist der International Terrestrial Reference Frame ITRF?

Einen hohen Bekanntheitsgrad haben die Realisierungen des ITRS erlangt, die unter dem Namen ITRFyyyy (International Terrestrial Reference Frame, dt. internationaler terrestrischer Referenzrahmen) in mehr oder weniger regelmäßiger Folge vom IERS ITRS Product Center am Institut Geographique National (Paris) sowie vom DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, München) berechnet und als IERS-Produkt veröffentlicht werden (IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service).

Zu den beitragenden Beobachtungsverfahren gehören Laserentfernungsmessungen zu Satelliten (Satellite Laser Ranging, SLR), Radiointerferometrie mit Radioteleskopen (VLBI) sowie

Dopplerbeobachtungen des französischen DORIS-Systems (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated on Satellites) und zivil-geodätische Messungen mit GNSS.

Die Bezeichnung des jeweiligen ITRF trägt den Beobachtungsdaten Rechnung, die in die Berechnung eingeflossen sind. Beim ITRF2008 bedeutet dies also die Einbeziehung sämtlicher vorliegender Beobachtungsdaten bis Ende 2008 (Bezeichnungsjahr). Der ITRF2008 ist die aktuelle Realisierung (Stand: Juni 2012) des ITRS (ALTAMIMI ET AL. 2011). Die Genauigkeit der geschätzten Koordinaten wird mit besser als 15 mm, die der Geschwindigkeiten mit besser als 3 mm/Jahr angegeben.

Insbesondere aufgrund der Bewegung der Lithosphärenplatten kann auf der Grundlage materieller Punkte auf der Erde kein globaler Referenzrahmen existieren, bezüglich dessen alle Referenzpunkte in Ruhe sind. Daher bestehen die punktbezogenen Datensätze des ITRF aus geozentrischen kartesischen Koordinaten und linearen Geschwindigkeiten sowie der zwingenden Angabe einer Referenzepoche; für das ITRF2008 ist dies der 1.1.2005. Mit diesen Informationen kann für jeden Zeitpunkt die aktuell gültige dreidimensionale Punktkoordinate bzgl. des ITRF2008 berechnet werden. Die Referenzepoche ist nicht zu verwechseln mit dem oben genannten Bezeichnungsjahr.

Alle ITRF-Lösungen werden im Internet unter <http://itrf.ensg.ign.fr/> veröffentlicht. Tab. 2 gibt einen Überblick über die Charakteristika der verschiedenen ITRF-Realisierungen.

Tab. 2: Charakteristika von ITRF-Realisierungen (Görres 2010)

	Bezugsdatum	Stationen	VLBI	SLR	GPS/ GNSS	DORIS	Stationsbewegungen
ITRF88	1.1.1988	120	X	X	-	-	Modell
ITRF89		113	X	X	-	-	
ITRF90		120	X	X	-	-	
ITRF91		131	X	X	X	-	
ITRF92	1.1.1993	155	X	X	X	-	Aus geodätischen Weltraumbeobachtungen geschätzt
ITRF93		160	X	X	X	-	
ITRF94		209	X	X	X	X	
ITRF96	1.1.1997	290	X	X	X	X	
ITRF97		309	X	X	X	X	
ITRF2000		800	X	X	X	X	
ITRF2005	1.1.2000	608	X	X	X	X	
ITRF2008	1.1.2005	934	103	87	560	66	

Ändern sich die Koordinaten von Punkten, wenn neue ITRF-Realisierungen veröffentlicht werden?

Um einerseits die Unterschiede in den ITRF-Realisierungen zu dokumentieren und andererseits die rechentechnische Vorgehensweise der Berechnung von ITRF-Koordinaten zu erläutern, wird eine GNSS-Station der Fundamentalstation Wettzell (14201M010, WETTZELL, GPS WTZR) betrachtet. In Tab. 3 sind die ITRF-Beschreibungen (Koordinaten, Geschwindigkeiten, zugehörige Genauigkeiten) bezogen auf unterschiedliche ITRF-Realisierungen (ITRF94, ITRF2008) dargestellt.

Tab. 3: ITRF-Beschreibung der Station GPS WTZR im ITRF94 und ITRF2008 in der jeweiligen Referenzepoche

	Koordinaten [m] zugehörige Standardabweichungen			Geschwindigkeiten [m/Jahr] zugehörige Standardabweichungen		
	X	Y	Z	X	Y	Z
ITRF94 Referenzepoche 1.1.1993	4075580,763 0,006	931853,599 0,007	4801568,010 0,006	-0,0169 0,0015	+0,0173 0,0017	+0,0065 0,0016
ITRF2008 Referenzepoche 1.1.2005	4075580,553 0,001	931853,797 0,001	4801568,136 0,001	-0,0160 0,0001	+0,0171 0,0000	+0,0101 0,0001

In Tab. 4 sind die ITRF-Koordinaten dieser GNSS-Station bezogen auf den 30. Juni 2011 aufgelistet. Die Berechnung wird für die Z-Koordinate der ITRF94-Variante exemplarisch ausführlich mit

4801568,01 0 m + 0,0065 m/Jahr · (2011,496 – 1993,000)

dargelegt. Die ITRF2008-Koordinaten ergeben sich analog. Der 30. Juni entspricht DOY181, woraus sich mittels $181/365=0,496$ ergibt. Das Akronym DOY (engl. day of year) verweist auf den Tag des Jahres. Auf der Internetseite http://itrf.ensg.ign.fr/site_info_and_select/solutions_extraction.php wird Unterstützung bei der korrekten Berechnung von ITRF-Koordinaten angeboten. Ebenso werden vom IERS (http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php) Parameter zur Transformation (14 Parameter Transformation) zwischen verschiedenen ITRF-Realisierungen vorgehalten. Werden bei der Verarbeitung von GNSS-Daten Produkte z. B. des IGS (International GNSS Service) verwendet, so ist auf konsistente Verwendung des Referenzrahmens zu achten, um Auswirkungen von Unterschieden in den Realisierungen vorzubeugen. Diese Unterschiede können z. B. in der eingehenden Datenbasis oder der Modellierung und in der Folge auch in den geschätzten Punktkoordinaten selbst bestehen.

Tab. 4: ITRF-Koordinaten der Station GPS WTZR umgerechnet auf den 30.6.2011

	Koordinaten [m]			Koordinatendifferenzen [cm]		
	X	Y	Z	Z	Y	Z
ITRF94 Epoche 30.06.2011	4075580,450	931853,919	4801568,130	0,1	1,1	-7,2
ITRF2008 Epoche 30.06.2011	4075580,449	931853,908	4801568,202			

Welche Ansprüche werden an TRF-Stationen gestellt?

Zur Sicherstellung von qualitativ hochwertigen Ergebnissen gibt es strenge Richtlinien für die Errichtung und den Betrieb von Stationen, die zur Realisierung von TRF beitragen. Beispielhaft seien hier die GNSS-bezogenen Richtlinien des IGS (International GNSS Service) genannt, die unter <http://igsb.jpl.nasa.gov/network/guidelines/guidelines.html> verfügbar sind. Insbesondere wird thematisiert, welche Ausrüstung zu verwenden ist und welche Beobachtungen zu erfassen sind. Weiterhin sind geologische und logistische Gesichtspunkte bei der Wahl der Örtlichkeit und der Monumentierung der Beobachtungsstation zu beachten.

Welchen Einfluss haben geodynamische Ereignisse auf ITRF-Koordinaten?

Die Erde ist zeitvariablen Einflüssen unterlegen, die Veränderungen der Erdkruste (z. B. Plattenbewegungen, Erdbeben, ozeanische und atmosphärische Auflasten) bedingen. ITRF-Realisierungen tragen diesen Veränderungen Rechnung; beispielsweise werden neben dreidimensionalen-Koordinaten zeitlich konstante Änderungsraten dieser Koordinaten vorgehalten (siehe Tab. 3). Stimmt die Bewegung von auf der Erdoberfläche gelegenen Punkten nicht mit dieser Modellbildung überein, resultieren daraus Modellfehler, die z. B. in regelmäßigen neuen ITRF-Realisierungen Berücksichtigung finden.

Treten aufgrund von tektonischen (Groß-)Ereignissen (z. B. Erdbeben) Diskontinuitäten im zeitlichen Verlauf des Bewegungsverhaltens einzelner Punkte auf, so wird dies erst in neuen ITRF-Realisierungen berücksichtigt. Neben geodynamischen Ereignissen sind signifikante Änderungen in den Auswertestrategien und im Beobachtungsmaterial Hauptgründe für neue ITRF-Realisierungen.

Gibt es IGS-Realisierungen des ITRF?

Bevor TRFs als Zusammenschluss aller beitragenden Sensoren erzeugt werden, erfolgt für jeden Sensor (z. B. GNSS) basierend auf der Grundgesamtheit aller Beobachtungen eine eigenständige Auswertung. Jede Sensorlösung realisiert somit ein TRF. Der IGS (International GNSS Service) koordiniert den GNSS-Beitrag zum ITRF, siehe RAY ET AL. (2004) und ALTAMINI UND COLLILIEUX (2010).

Gleichzeitig ist – insbesondere bei Verwendung von IGS-Produkten (z. B. IGS Final Orbits) –

innerhalb des Sensors GNSS Konsistenz sicherzustellen. Hierzu trägt die Bereitstellung von ITRF-Realisierungen durch den IGS bei. Die ITRF2008-Realisierung des IGS besteht aus den Koordinaten der IGS-Trackingstationen und wird mit IGS08 bezeichnet. Es stellt die aktuelle (Stand: Juni 2012) Basis der IGS-Produkte dar. Je nach Anwendungsszenario können Transformationen zwischen ITRF2008 und IGS08 notwendig werden. Im Oktober 2012 wird diese Realisierung in die IGS08-Realisierung überführt.

Welche GNSS-spezifischen globalen Bezugssysteme gibt es?

Bei absoluter Punktbestimmung in Echtzeit ist im Rahmen von GNSS-Auswertungen von besonderer Bedeutung, in welchem Bezugssystem die hierarchisch eingeführten Satellitenbahninformationen abgestrahlt werden und in Echtzeit zur Verfügung stehen, da die Koordinaten an der Erdoberfläche direkt im Referenzsystem der Satellitenbahninformation erhalten werden. Das Referenzsystem für GPS ist das WGS84. Das Referenzsystem des russischen Navigationssystems GLONASS wird als PE-90 (Parameters of the Earth 1990) oder PZ-90 (Parametry Zemli 1990) bezeichnet. Der Name des Bezugssystems des europäischen GALILEO-Systems lautet GTRF (Galileo Terrestrial Reference). Es ist als weitere Realisierung des ITRS nach den Vorgaben der ITRF-Realisierungen vorgesehen, um mit diesen konsistent zu sein.

Was ist das WGS84?

Die ursprünglich rein militärisch und durch Navigationsanwendungen motivierte Definition des WGS84 (NIMA 2000) wurde in Anlehnung an das ITRS mehrfach überarbeitet, so dass die WGS84-Systemdefinition derjenigen des ITRS immer ähnlicher wurde. Der Ursprung des WGS84 befindet sich per Definition im Geozentrum, die Achsrichtungen sind an die ITRS-Definition angepasst. Im Gegensatz zum kartesisch definierten ITRS sind in der WGS84-Definition die Parameter eines Rotationsellipsoids als Rechenfläche enthalten.

Die ursprüngliche Realisierung des WGS84 basierte auf Dopplermessungen zum U.S. Navy Navigation Satellite System (DOPPLER Transit) und den daraus mit Metergenauigkeit berechneten Stationskoordinaten zu den fünf ursprünglichen GPS-Monitorstationen. Alle weiteren Realisierungen (siehe Tab. 5) wurden dem stetig verbesserten Kenntnisstand des IERS und den verschiedenen ITRF-Realisierungen angepasst. Zur Unterscheidung der Bezeichnung der jeweiligen Realisierungen wird gültigkeitsbezogen die GPS-Woche (durchlaufende Wochenzählung, Start: Jahresbeginn 1980) mitgeführt. Das WGS84(G730) orientierte sich durch hierarchische Einbeziehung von Stationen des IGS am ITRF91 (resultierende Genauigkeiten: 0,1 m). Das WGS84(G873) wurde an das ITRF94 angepasst, wobei das Netz der GPS-Monitorstationen immer weiter ausgebaut wurde. Seit GPS-Woche 1150 wird das an das ITRF2000 angepasste WGS84(G1150) als Grundlage für die Bestimmung der vorhergesagten Broadcast-Bahnen verwendet. Im WGS84(G1150) sind erstmals mitberechnete Geschwindigkeitskomponenten für die einzelnen Koordinaten enthalten.

Da diese Bahndaten eine Genauigkeit von 1-3 m haben, ist eine Bestimmung von Koordinaten im WGS84 nur mit Metergenauigkeit möglich.

Tab. 5: Gültigkeitszeiträume von WGS84-Realisierungen (GÖRRES 2010)

Bezeichnung	WGS72	WGS84	WGS84(G730)	WGS84(G873)	WGS84(G1150)
In Gebrauch	bis Ende 1986	seit 01.01.1987	seit 29.06.1994	seit 29.09.1996	seit 21.01.2002

Was ist das PZ-90?

Das TRS des russischen GLONASS-Systems wird mit PZ-90 abgekürzt und ist aus dem sowjetischen geodätischen System 1990 (SGS 90) hervorgegangen, das gut mit dem WGS84 übereinstimmt. Übergänge und Transformationen zwischen WGS84 und PZ-90 sind in ROßBACH (2001) und HABRICH (2000) thematisiert. Am 20. Sept. 2007 erfolgte die Umstellung auf das verbesserte PZ-90.02. Es orientiert sich am ITRF2000 und ist durch drei Translationsparameter mit

diesem verknüpft. Beide Systeme stimmen im Bereich eines halben Meters nach Angaben der ESA (www.navipedia.net) überein.

In welchem Bezugssystem werden Satellitenpositionen angegeben?

Um Positionen von GNSS-Satelliten auf ihrer Bahn um die Erde bestimmen und beschreiben zu können, werden Bezugssysteme benötigt. Aktuell besteht für jedes GNSS ein unabhängiges Kontrollsegment, das Nutzer in Echtzeit über das Satellitensignal mit dieser grundlegenden Information versorgt. Für GPS stellt das WGS84 hierfür das Bezugssystem dar.

Außerdem stehen GNSS-Nutzern Produkte (z. B. finale hochpräzise Orbits) des IGS (<http://igsb.jpl.nasa.gov/>) oder von IGS-Analysezentren (z. B. CODE, GFZ; link: <http://http://igs.org/organization/centers.html#ac>) kostenfrei zur Verfügung, um die Qualität der GNSS-Lösung – gegenüber der Navigationsnachricht – zu verbessern. Die IGS-Orbit-Information wird im SP3-Format (http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/data/format/sp3_docu.txt) in der IGS-Realisierung des ITRF angegeben.

Da die hochgenauen finalen Orbits des IGS mit einem zeitlichen Verzug von ca. 12-18 Tagen zur Verfügung stehen, werden zusätzlich Rapid- und Ultra-Rapid-Produkte (Bahn teilweise prädiert) angeboten, die in Echtzeit über das Internet verfügbar sind. Für Details sei auf die Homepage des IGS (<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>) verwiesen.

Warum und wie werden globale TRF verdichtet?

Nach dem geodätischen Prinzip „Vom Großen ins Kleine“ werden großräumige Referenzrahmen regional verdichtet. Dies wird notwendig, um eine ausreichende Menge an materialisierten Punkten zur Verfügung zu haben und lokal bzw. regional ausgeführte geodätische Arbeiten in einen globalen Bezugsrahmen einbetten zu können. Aktuell werden hierfür insbesondere Daten von permanent betriebenen GNSS-Stationen verwendet (z. B. IGS, EPN, SAPOS®).

Was ist das ETRS?

Das Europäische Datum ETRS89 ist europaweit definiert und ist das bundesweit einheitliche Bezugssystem für Geobasisinformationen der Landesvermessung und des Liegenschaftskatasters und wurde direkt aus einem globalen System (ITRF89) abgeleitet. Diese Verdichtung wird für Europa durch die IAG-Sub-Kommission 1.3a Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe (EUREF, <http://iag.engn.ign.fr/index.php?id=41>) bearbeitet. Erstmals ergibt sich basierend auf GNSS-Beobachtungen in der Vermessungsgeschichte die Möglichkeit, die bisher stets auf nationaler Ebene definierten Referenzsysteme durch ein europaweit einheitliches Bezugssystem abzulösen.

ITRF-Realisierungen haben für praktische Anwendungen im regionalen Rahmen den entscheidenden Nachteil, dass ihre Koordinaten aufgrund der Plattentektonik und anderer globaler und regionaler Einflüsse ständigen Änderungen unterliegen. In Mitteleuropa betragen die Geschwindigkeiten gegenüber dem globalen Bezugsrahmen ITRF ca. 25 mm/Jahr in Nordostrichtung. Ständig wechselnde Koordinatenwerte eigentlich fester Punkte sind aber für den praktischen geodätischen Gebrauch ungeeignet.

Anlässlich der EUREF-Sitzung in Florenz 1990 wurde beschlossen, ein vom globalen Referenzsystem ITRS ausgehendes, regionales Referenzsystem für Europa zu definieren, in dem die Zahlenwerte der Koordinaten der europäischen Stationen möglichst unverändert bleiben sollten. Das ETRS89 (European Terrestrial Reference System) wurde durch „Einfrieren“ der Koordinaten der auf dem europäischen Teil der eurasischen Platte liegenden Stationen des ITRF89 zur Epoche 1.1.1989 definiert, was einem Ausschalten der europäischen Kontinentaldrift entspricht.

Was ist das ETRF?

Die erste Realisierung des ETRS89 war das ETRF89. Mit der Bezeichnung wird zum Ausdruck

gebracht, dass die europäischen Stationen des ITRS als Anschlusspunkte dienen und die Koordinaten der Epoche 1989.0 als Referenzeпоche gewählt wurden. Praktisch bedeutet dies, dass Koordinaten der europäischen SLR- und VLBI-Stationen aus dem ITRF89 ausgewählt und für den Zeitpunkt 1.1.1989 berechnet wurden.

Das Punktnetz wurde in den Folgejahren durch jeweils mehrtägige sogenannte EUREF-Kampagnen verdichtet (z. B. EUREF-D/NL93, ADAM ET AL. 2000), die eine Transformation zwischen nationalen Netzen und dem ETRF ermöglichen. Die westeuropäischen Staaten lagen hierbei im Vordergrund, bis die politische Gesamtsituation auch die Ausweitung auf osteuropäische Staaten erlaubte. Die Anzahl der GNSS-Permanentstationen wurde fortwährend erhöht und das ETRS89 wird heute durch das EUREF Permanent Network (EPN) realisiert.

Sporadisch werden von EUREF neue Referenzrahmen ETRF_{yyyy} veröffentlicht. Seit 2008 gilt das ETRF2000, für das die Koordinaten und Geschwindigkeiten des ITRF2005 in das ETRS89 transformiert wurden.

Was ist das EPN?

Heute wird das ETRS89 durch das EUREF Permanent Network (EPN) realisiert. Hierbei handelt es sich um ein wissenschaftlich motiviertes Punktnetz aus ca. 250 GNSS-Permanentstationen (GPS, GLONASS), deren Genauigkeit mit 1 cm in jeder Beobachtungsepoche angegeben wird (class A-Stationen, link: <http://www.epncb.oma.be>). Das EPN versteht sich als Verdichtung des globalen IGS-Netzwerks und ist die Basis für neue ETRS-Realisierungen.

Was ist das GREF?

Durch die im Rahmen von GREF (Integriertes Geodätisches Referenznetz Deutschlands,) ausgeführten permanenten GNSS-Messungen wird ein einheitliches dreidimensionales Referenzsystem realisiert, das die Verdichtung und Einbindung in übergeordnete Referenzrahmen (z. B. ITRF) garantiert. Neben GNSS-Beobachtungen werden an den ca. 30 GREF-Stationen ergänzende Daten (z. B. Grundwasser-, Pegel- oder Schwermessungen) erhoben.

Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie wertet regelmäßig SAPOS[®]- und GREF-Daten gemeinsam aus, wodurch deutschlandweit ein hochgenaues und einheitliches Referenzsystem vorgehalten wird. Teilweise sind GREF-Stationen in das EPN und das IGS-Netz eingebettet.

Details zu GREF sind auf der Homepage des BKG unter dem Link http://www.bkg.bund.de/geodIS/GREF/DE/01Home/homepage__node.html__nnn=true zu finden.

Wie wird in Deutschland ein einheitlicher Raumbezug sichergestellt?

Der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS[®]) stellt im staatlichen Gewährleistungsauftrag einen gesetzlich legitimierten firmenunabhängigen, aktuellen und präzisen Raumbezug im europaweit einheitlichen Bezugssystem ETRS89 her (ADV UND BDVI 2011).

Welche Referenzstationsnetze gibt es – neben SAPOS[®] – in Deutschland?

Im Zuge der kontinuierlichen Verdichtung von permanent betriebenen GNSS-Netzen werden aktuell in Deutschland neben SAPOS[®] weitere – insbesondere auf das Bereitstellen von Korrekturdaten in Echtzeit fokussierende – kommerziell genutzte Netzwerke betrieben. Sie werden im Folgenden in alphabetischer Reihung aufgelistet:

- ascos (Link: <http://www.ascos.de/>)
ascos ist ein deutschlandweit betriebener Satelliten-Referenzdienst, der Korrekturdaten für die GNSS-Positionierungen zur Verfügung stellt. Seit dem 1.3.2008 wird ascos von der AXIO-NET GmbH, Hannover, betrieben.
- SmartNet Germany (Link: http://www.leica-geosystems.de/de/SmartNet-Germany_91642.htm)
Leica Geosystems Deutschland bietet seit April 2011 bundesweit Referenzdaten für GNSS-

Positionierungsanwendungen an.

- **Trimble® VRS Now™** (Link: <https://vrsnowstore.trimble.com/default.aspx?region=DE>)
Dieser Dienst erlaubt seit 2008 den Zugang zu GNSS-Netzwerk-Korrekturen für ganz Deutschland, die aus eigenen Permanentstationen abgeleitet werden.

Was regelt die DIN EN ISO 19111?

Die DIN EN ISO 19111 (Geoinformation – Raumbezug durch Koordinaten) gibt im Kontext des Koordinatenaustauschs und der Koordinatenbeschreibung Hilfestellung. Sie verwendet den Begriff Koordinatenreferenzsystem (CRS, engl. Coordinate Reference System). Ein CRS ist zeitlich unveränderlich, an den Erdkörper angeheftet und umfasst ein geodätisches Bezugs- und ein Koordinatensystem. Das geodätische Bezugssystem (geodätisches Datum) wird als physikalischer Bestandteil des CRS aufgefasst. Das Koordinatensystem entspricht der mathematischen Beschreibung des CRS. Die ISO 19111 unterscheidet somit – entgegen der Vorgehensweise dieses Merkblatts – nicht wissenschaftlich streng zwischen Referenzsystem und -rahmen.

Wie werden aus 3D kartesischen Koordinaten Gebrauchskordinaten erhalten?

Kartesische Koordinaten sind i.d.R. schwierig geometrisch zu interpretieren. Deshalb werden Positionen bezogen auf 2-achsige Rotationsellipsoide (z. B. GRS80, WGS84) mit der großen (äquatorialen) Halbachse a und der kleinen (polaren) Halbachse b angegeben (Lagerung: Mittelpunkt im Ursprung des Referenzsystems; Orientierung: Symmetrieachse ist Z-Achse des Referenzsystems). Die Koordinaten setzen sich aus geographischer Breite φ und geographischer Länge λ sowie der ellipsoidischen Höhe h , die von der Ellipsoidoberfläche entlang der Ellipsoidnormalen gemessen wird, zusammen. Der Zusammenhang zwischen kartesischen und ellipsoidischen Koordinaten ist mit den Gleichungen

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ (N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ ((1-e^2) \cdot N+h) \cdot \sin \varphi \end{pmatrix} \quad N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

gegeben. Die Herleitung ist z. B. in HOFMANN-WELLENHOF ET AL. (1994) zu finden.

Durch eindeutige Abbildungsvorschriften können aus den Flächenparametern φ und λ Gebrauchskordinaten (z. B. UTM- oder Gauß-Krüger-Koordinaten) erhalten werden, siehe hierzu HECK (2003).

Die ellipsoidische Höhe h ist eine rein geometrische Größe. Die Überführung von h in Gebrauchshöhen ist nicht trivial und ohne Zusatzinformation (z. B. Geoidundulation) nicht möglich. Weiterführende Informationen hierzu und zum Datumswechsel (z. B. WGS84 nach DHDN/Bessel) sind z. B. ILLNER (2007) zu entnehmen.

Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen hat die Homogenisierung der Lagebezugssysteme in Deutschland mit dem Ziel einer effizienten Geodatennutzung in den Jahren 1991 und 1995 angestoßen und beschlossen. Sowohl die Praxis als auch viele Literaturstellen (z. B. KREITLOW ET AL. 2010; JAHN UND STEGELMANN 2007) zeigen die Heterogenität der in Deutschland bestehenden Bezugssysteme und Abbildungsvorschriften auf. Deshalb wird in diesem Merkblatt hierauf nicht eingegangen.

Welche weiterführende Literatur gibt es?

Es gibt eine Vielzahl von Publikationen, die sich der in diesem Merkblatt behandelten Thematik annehmen. In den einzelnen Unterabschnitten dieses Merkblatts finden sich einzelne weiterführende Literaturhinweise. Empfehlenswerte deutschsprachige und aktuelle Publikationen sind ergänzend im Folgenden aufgeführt.

- GÖRRES B (2010): *Vom Globalen Bezugssystem bis zur Umsetzung für die Praxis*. In: SCHEIDER A, SCHWIEGER V (Hrsg.): *GNSS 2010 – Vermessung und Navigation im 21. Jahrhundert*. DVW-Schriftenreihe Bd. 63, S. 39-57, Wißner-Verlag, Augsburg.

- NOTHNAGEL A, ANGERMANN D, BÖRGER K, DIETRICH R, DREWES H, GÖRRES B, HUGENTOBLER U, IHDE J, MÜLLER J, OBERST J, PÄTZOLD M, RICHTER B, ROTHACHER M, SCHREIBER U, SCHUH H, SOFFEL M (2010): *Space-Time Reference Systems for Monitoring Global Change and for Precise Navigation*. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 44, Frankfurt am Main.
- GÖRRES B, NOTHNAGEL A (2012): *Übergeordnete geodätische Koordinaten in Deutschland heute Teil 1: Globale Koordinatensysteme und ihre Realisierungen*. AVN 119: 3/2012, S. 104-112.
- GÖRRES B, NOTHNAGEL A (2012): *Übergeordnete geodätische Koordinaten in Deutschland heute Teil 2: Bezugssysteme für Europa*. AVN 119: 7/2012, S. 259-267.

Literatur

- ADAM J, DUNKLEY P, VAN DER MAREL H, AUGATH W, GUBLER E, SCHLUTER W, BOUCHER C, GURTNER W, BRUYNINX C, HORNIK H (2000): *The European reference system coming of age*. In: Schwarz KP (Hrsg.): *Geodesy beyond 2000: the challenges of the first decade*. IAG General Assembly, Birmingham, 19.-30. Juli 1999, International Association of Geodesy Symposia Vol. 121, S. 47-54, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- ALTAMIMI Z, COLLILIEUX X, MÉTIVIER L (2011): *ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame*. Journal of Geodesy 85: 8/2011, S. 457-473. DOI: 10.1007/s00190-011-0444-4.
- ALTAMIMI Z, COLLILIEUX X (2010): *IGS contribution to the ITRF*. Journal of Geodesy 83: 3-4, S. 375-383, DOI: 10.1007/s00190-008-0294-x.
- ADV UND BDVI (2011): *Gemeinsames Positionspapier zum Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS®)*. Vermessung Brandesburg, 2011/1, S. 61-62.
- DIN (2007): *DIN EN ISO 19111:2007-10 (E) - Geographic information - Spatial referencing by coordinates (ISO 19111:2007)*.
- GÖRRES B (2010): *Vom Globalen Bezugssystem bis zur Umsetzung für die Praxis*. In: SCHEIDER A, SCHWIEGER V (Hrsg.): *GNSS 2010 – Vermessung und Navigation im 21. Jahrhundert*. DVW-Schriftenreihe Bd. 63, S. 39-57, Wißner-Verlag, Augsburg.
- HABRICH H (2000): *Geodetic Applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and of GLONASS/GPS Combinations*. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 15, Frankfurt a M.
- HECK B (2003): *Rechenverfahren und Auswertemodelle der Landesvermessung – Klassische und moderne Methoden*. 3., neu bearbeitete Auflage, H. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- HECK B (1995): *Grundlagen der erd- und himmelfesten Referenzsysteme*. In: HECK B, ILLNER M (Hrsg.): *GPS-Leistungsbilanz '94*. Schriftenreihe des DVW, Nr. 18, S. 138-153. Verlag K. Wittwer, Stuttgart.
- HOFFMANN-WELLENHOF B, KIENAST G, LICHTENEGGER H (1994): *GPS in der Praxis*. Springer-Verlag, Wien, New York.
- ILLNER M (2007): *Möglichkeiten des GPS-Einsatzes und der GPS-Weiterverarbeitung*. In: DERENBACH H, ILLNER M, SCHMITT G, VETTER M, VIELSACK S (Hrsg.): *Beiträge zum Fortbildungsseminar „Ausgleichsrechnung – Theorie und aktuelle Anwendungen aus der Vermessungspraxis“ am 5. Oktober 2006*. Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik der Universität Karlsruhe (TH), Universitätsverlag 2007/4, S. 61-77.
- JAHN C-H, STEGELMANN V (2007): *Einführung des Bezugssystems ETRS89 und der UTM-Abbildung beim Umstieg auf AFIS, ALKIS und ATKIS*. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 57: 1+2/2007, S. 26-35.
- KREITLOW S, BRETTSCHEIDER A, JAHN C-H, FELDMANN-WESTENDORFF U (2010): *ETRS89/UTM – Der Bezugssystemwechsel und die Auswirkungen auf die Geodatennutzung*. Kartographische Nachrichten 60: 4/2010, S. 179-188.
- MAYER M (2001): *Bezugssysteme in der Satellitenvermessung*. In: HUEP W (Hrsg.): *Beiträge zum 52. DVW-Seminar GPS-Trends und Realtime-Anwendungen am 5. und 6. Juni 2000 an der FH Stuttgart, Hochschule für Technik*. DVW-Schriftenreihe, Band 41, S. 47-69, Verlag K. Wittwer, Stuttgart.
- NIMA (2000): *World Geodetic System 1984*. NIMA Technical Report 8350.2, 3rd Edition, Amendment 1; NIMA Stock No. DMATR83502WGS84; National Imagery and Mapping Agency, Department of Defense, Bethesda, Maryland, USA.
- PETIT G, LUZUM B (Hrsg.) (2010): *IERS Conventions (2010)*. IERS Technical Note 36. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main.
- RAY J, DONG D, ALTAMIMI Z (2004): *IGS reference frames: status and future improvements*. GPS Solutions 8: 4, S. 251-266. doi:10.1007/s10291-004-0110-x.

ROßBACH U (2001): *Positioning and Navigation using the Russian Satellite System GLONASS*.
Schriftenreihe, Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr
München, Heft 70.

Impressum

Herausgeber

DVW - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V.

Geschäftsstelle

D-79235 Vogtsburg-Oberrotweil

Telefon: +49 7662/949287

Fax: +49 7662 / 949288

E-Mail: christiane.salbach@dvw.de