

Positionsbestimmung und GPS

Das Geoid eine Annäherung der Erdgestalt

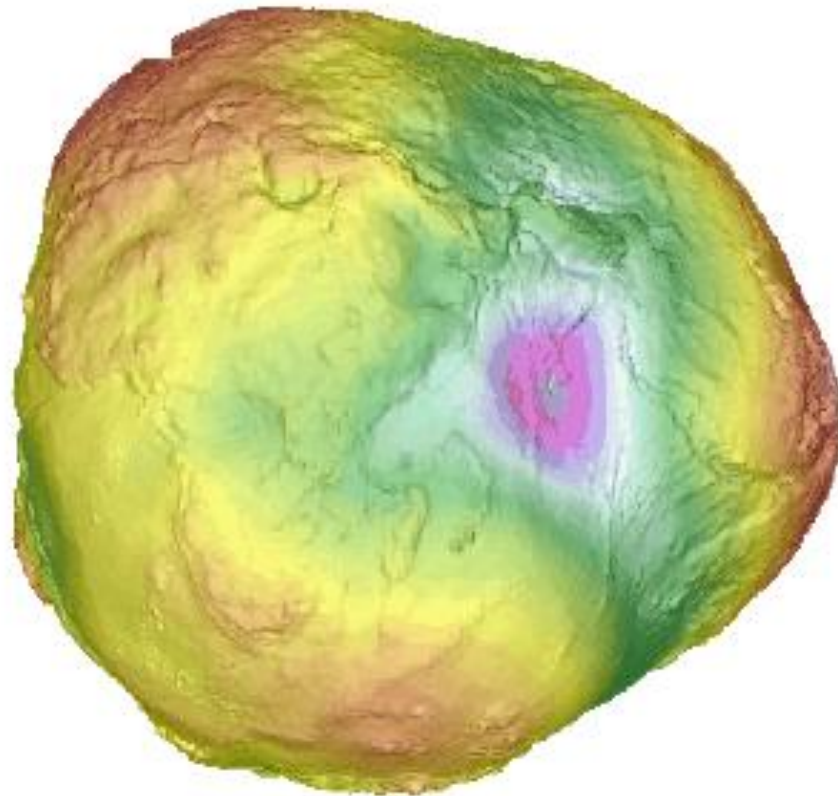
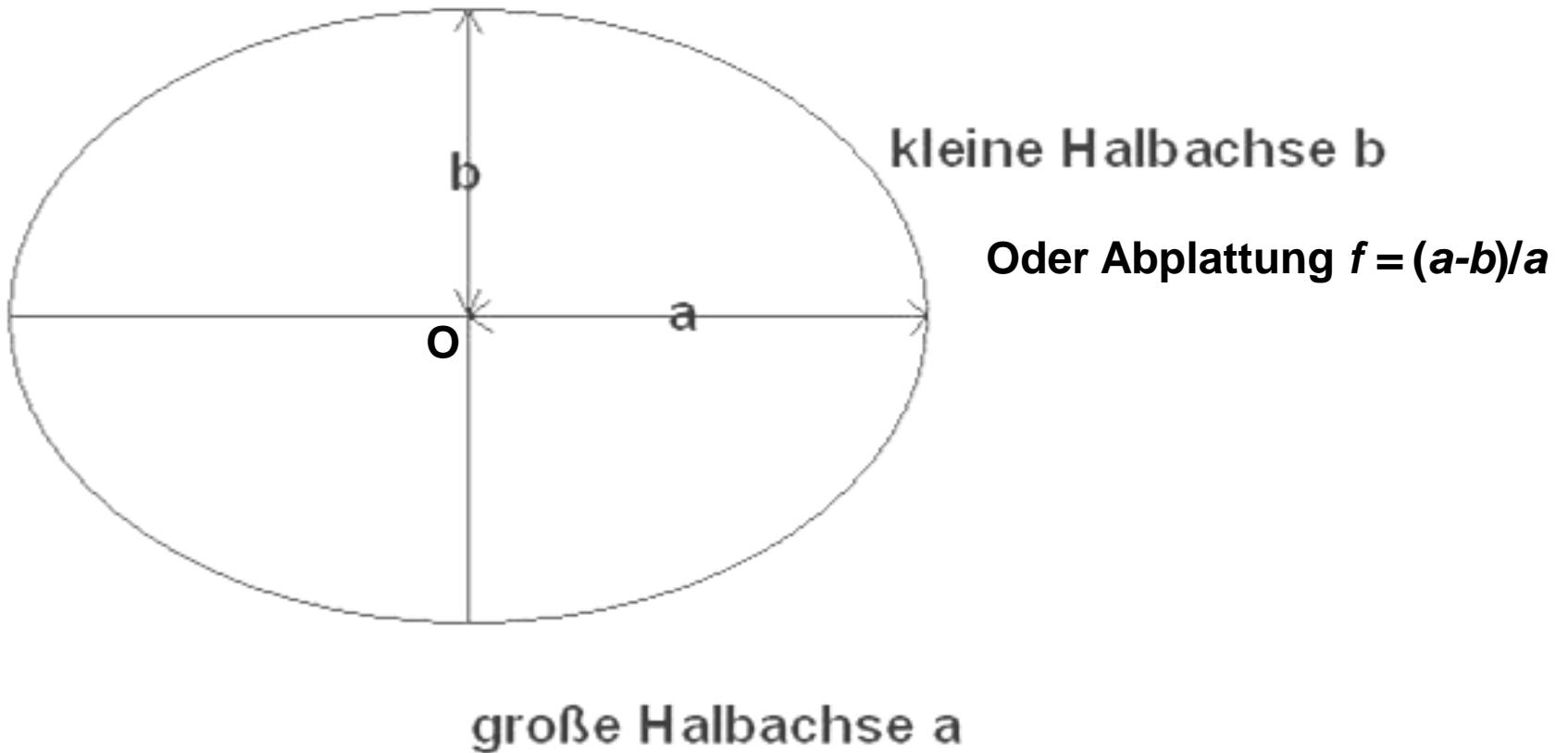


Bild 2 Geoid (stark überhöht) als optimale Annäherung an die Erdgestalt (Qu. Geoforschungszentrum Potsdam)

Ellipsoidparameter

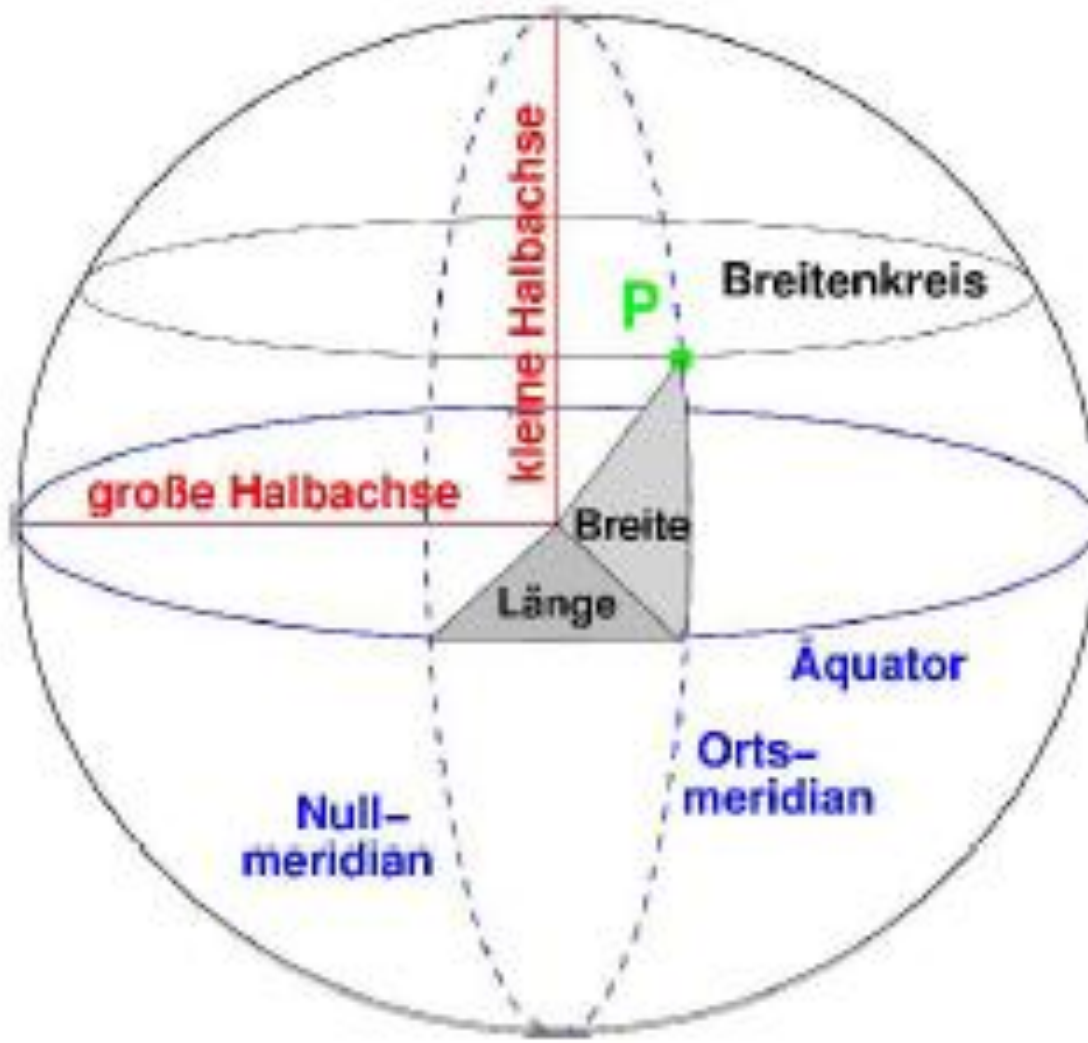


Bezugsellipsoide - Beispiele

Ellipsoid (Jahr)	a (m) (große Halbachse)	1 : f (Abplattung)
Delambre (1810)	6 376 985	1 : 308,6465
Schmidt (1829)	6 376 958	1 : 297,479
Bessel (1841)	6 377 397	1 : 299,1528
Clarke (1880)	6 378 249	1 : 293,466
Hayford (1909) (= Intern. Ellipsoid 1924)	6 378 388	1 : 297,0
Krassowski (1940)	6 378 245	1 : 298,3
WGS 72	6 378 135	1 : 298,26
GRS 80	6 378 137	1 : 298,257222101
WGS 84	6 378 137	1 : 298,257223563

Ellipsoidische Koordinaten

Länge (●), Breite (ϵ)



Einheiten: Grad

z.B.:

N 50°55.974′

E 013°20.648′

Geodätisches Datum

- Das Datum beschreibt, wie eine bestimmte Ellipsoide verschoben, rotiert und skaliert wird, um einen bestimmten Punkt (Zentralpunkt wie z.B: Postdam, Pulkowo,...) der Erdoberfläche anzuschließen
- Ein selber Punkt an der Erdoberfläche wird in 2 unterschiedlichen Datum verschiedene geographische Koordinaten (Länge, Breite) aufweisen
- Ein vollständiges Datum enthält 9 Parameter:
 - 3 Verschiebungsparameter
 - 3 Drehungsparameter
 - 2 Ellipsoidparameter (a , f)
 - 1 Skalierungsfaktor

Datum

- Für das Kartendatum WGS 84 wird das Ellipsoid WGS 84 unverändert übernommen, der Mittelpunkt des Ellipsoids und der Mittelpunkt des Koordinatensystems liegen im Schwerpunkt der Erde. Für andere Kartendatums jedoch wird zuweilen das Ellipsoids gegenüber dem Erdschwerpunkt verschoben
- Das heißt, dass selbst mit **gleichem Ellipsoid** zuweilen **unterschiedliche Koordinaten** herauskommen können, die vom darzustellenden Gebieta bhängig sind
- So basieren beispielsweise sowohl das deutsche wie auch das schweizer Koordinatensystem auf dem Bessel 1841-Ellipsoid, das schweizer CH-1903 Kartendatum unterscheidet sich jedoch vom Potsdam-Datum durch eine Verschiebung des Koordintenursprungs

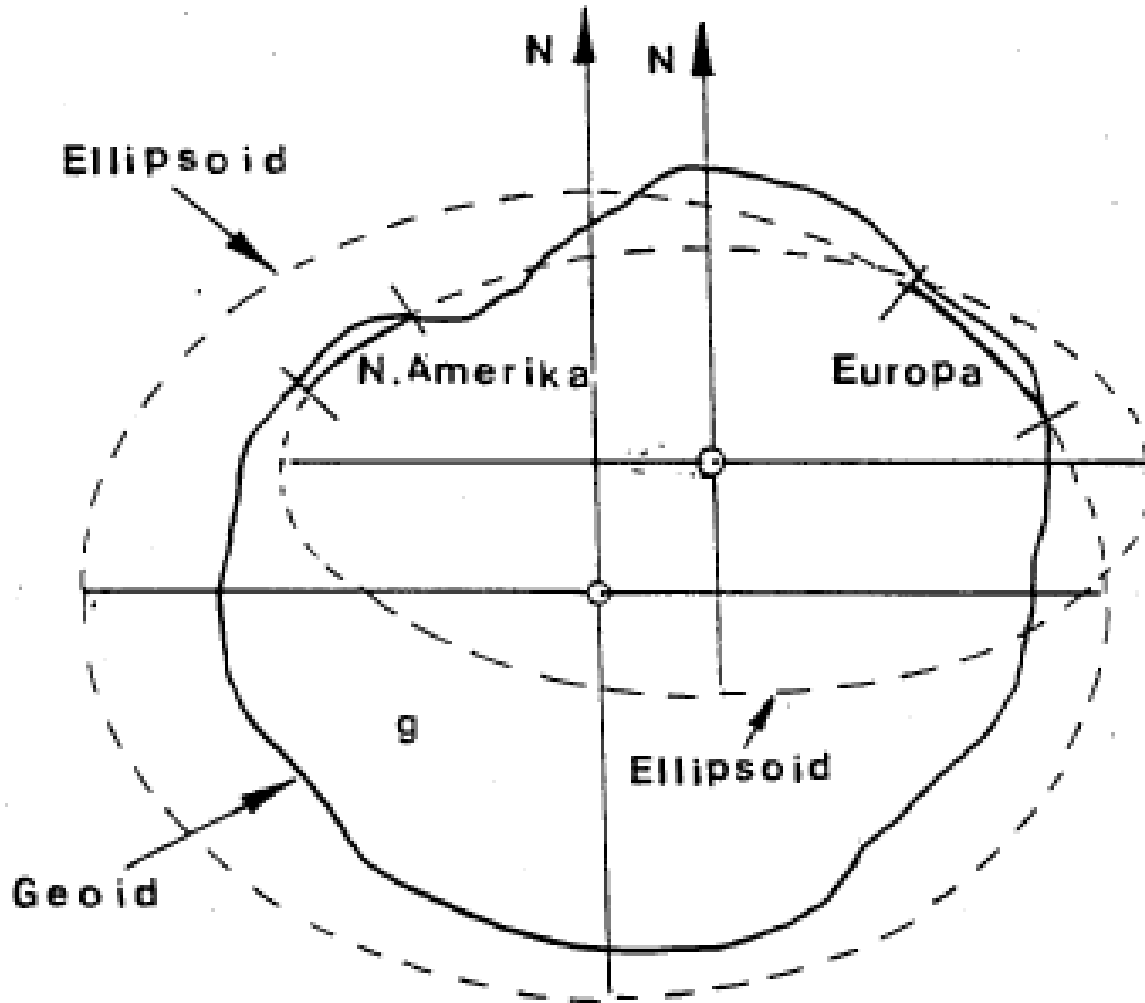
Datum

- Beispiele für die Verschiebungen von Ellipsoide für verschiedene Kartenbezugssysteme :

Kartenbezugssystem	Ellipsoid	X	Y	Z	Einsatzgebiet
WGS 84	WGS 84	0	0	0	weltweit
Massawa	Bessel 1841	639	405	60	Äthiopien
European 1950	International 1924	-112	-77	-145	Tunesien
European 1950	International 1924	-84	-107	-120	Portugal, Spanien

Lokal bestandschließende Ellipsoide

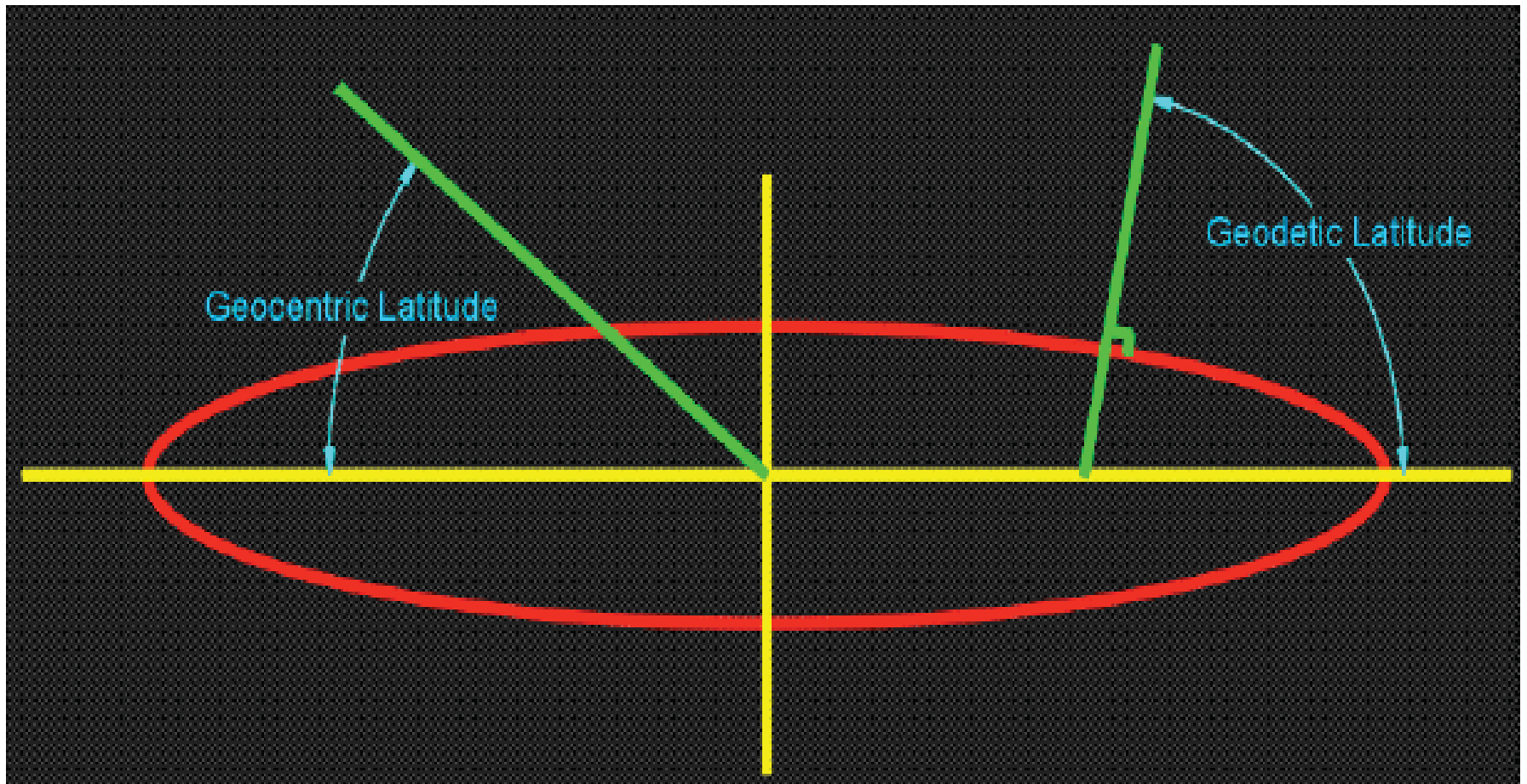
Näherung die Gestalt der Erde durch Rotationsellipsoide.
Unterschiedliche Ellipsoide passen in unterschiedlichen
Gebieten der Erde



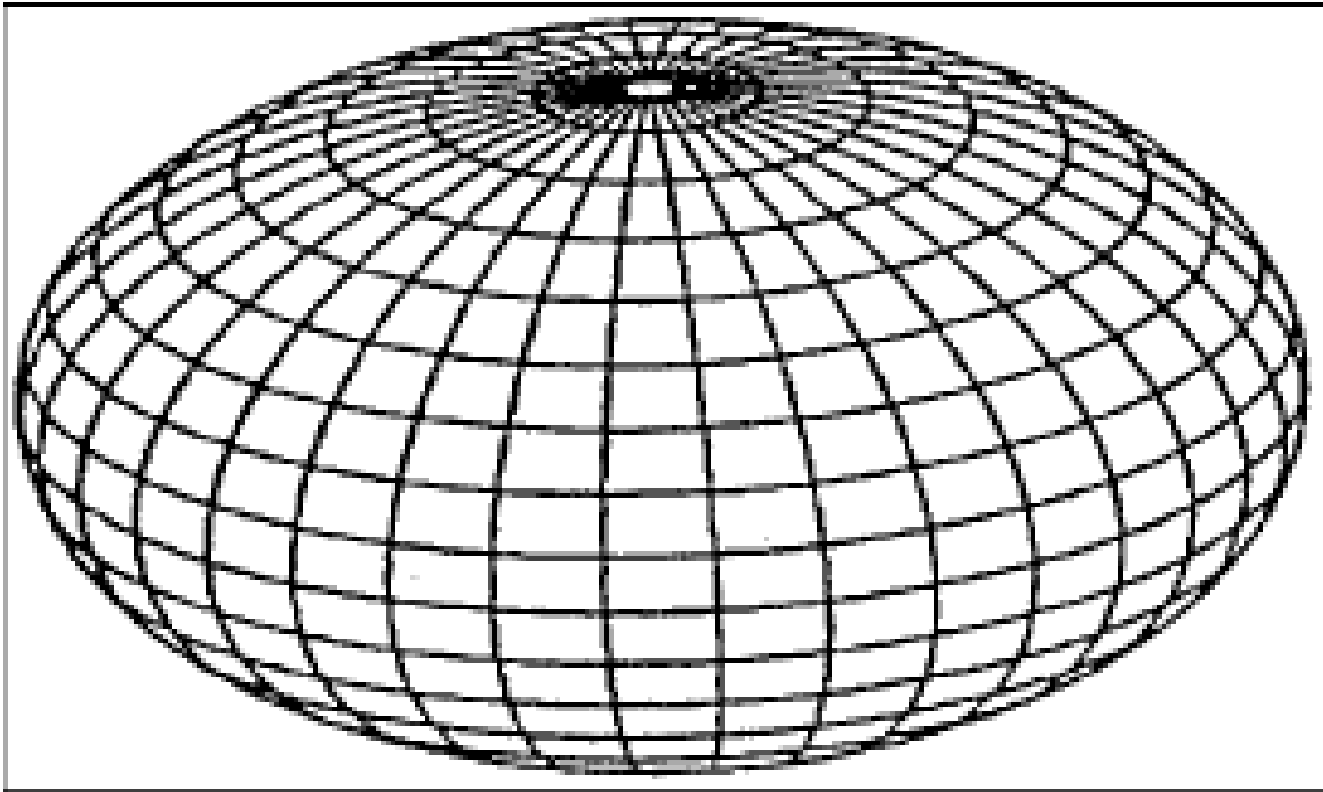
Umwandlung des Bezugssystems

- Sollen Positionsangaben zwischen verschiedenen Kartenbezugssystemen umgerechnet werden ist nicht nur die Verschiebung des Ellipsoids zu berücksichtigen sondern zudem noch die unterschiedlichen Radien der Ellipsoide wenn die Bezugssystem auf unterschiedlichen Referenzellipsoiden beruhen

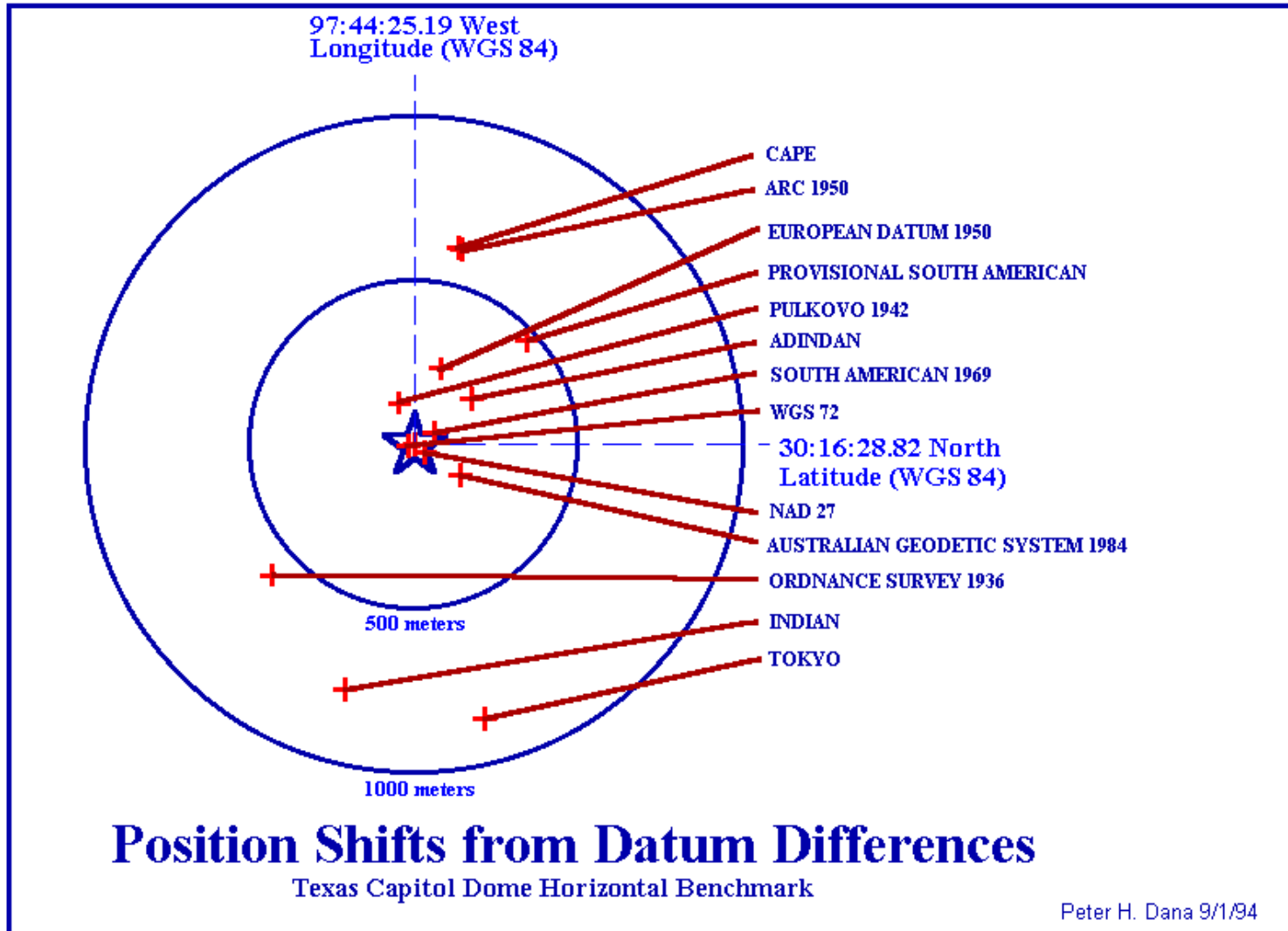
Unterschiede zwischen geodätischen und geozentrischen Länge



Rotationsellipsoide mit geodätischem Netz



Koordinatenunterschiede zwischen den Datum

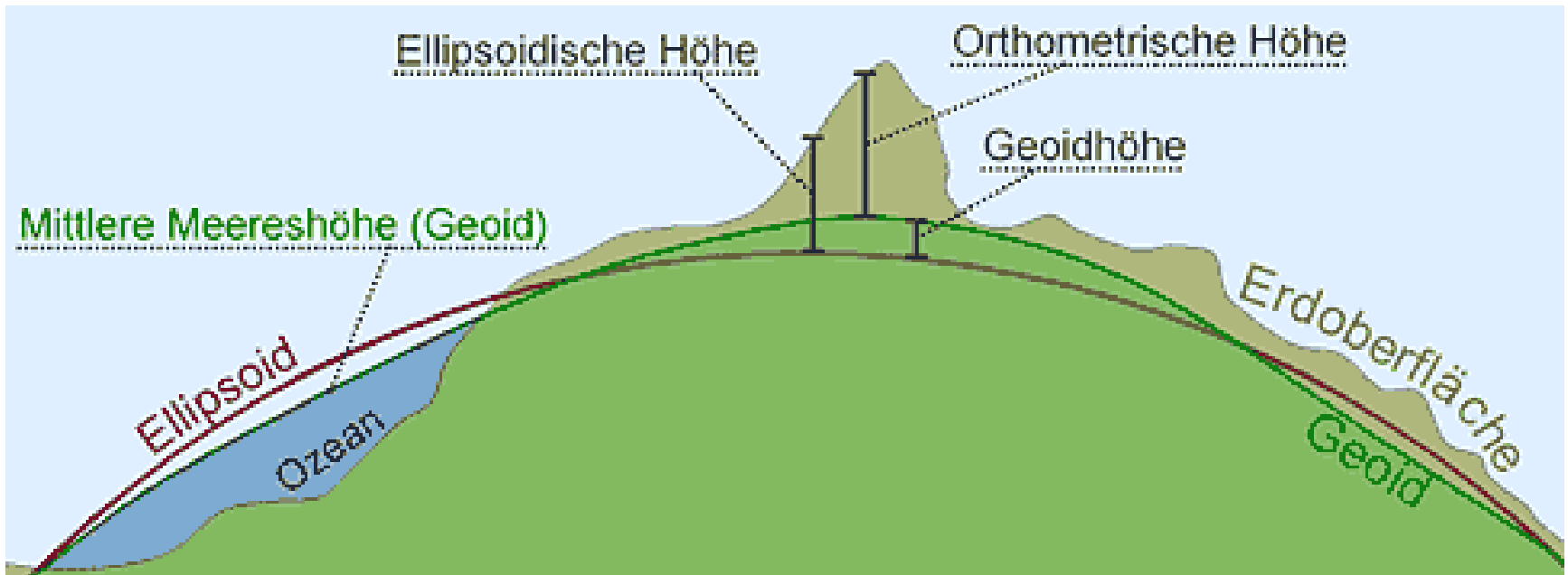


Höhensystem

- Die Höhe kann nach verschiedenen Bezugsflächen gemessen werden
- Die Ellipsoidhöhe (h) ist die Höhe senkrecht oberhalb der Bezugsellipsoide, die die Erdoberfläche annähert
- Die orthometrische Höhe (H) ist die Höhe oberhalb dem Geoid, derer Oberfläche auf der Erdeschwerkraft beruht und durch den durchschnittlichen Meerspiegel (MSL) geschätzt werden kann
- Der Abstand zwischen den 2 Höhen ist die Geoidhöhe (N)

Höhensystem

Unterschiede zwischen Ellipsoid, Geoid (Mittlere Meereshöhe) und der tatsächlichen Erdoberfläche



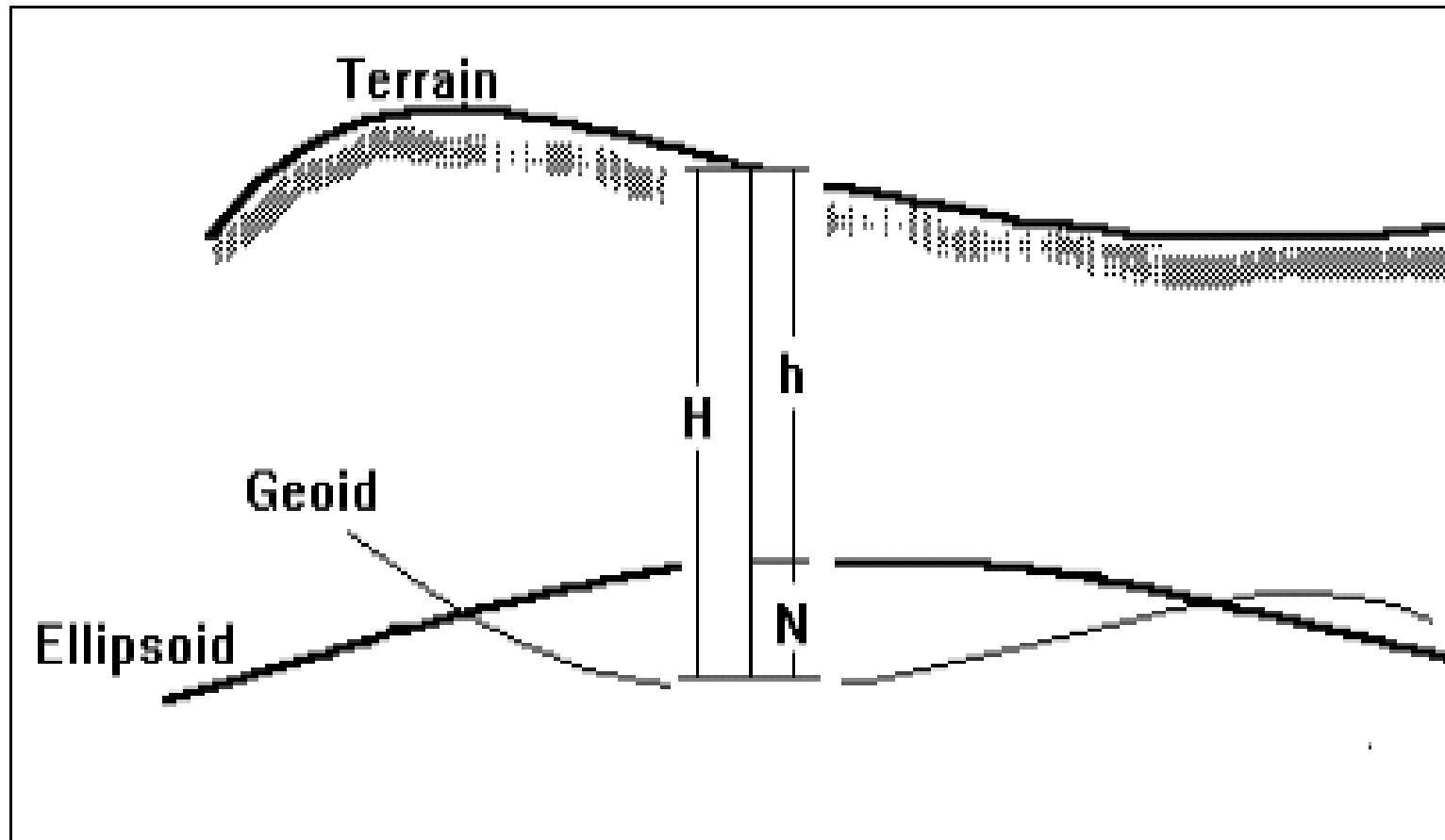
GPS und Höhenangaben

Geoidhöhe	Abstand des Geoids vom geodätischen Ellipsoid, außerhalb des Ellipsoids positiv.
Ellipsoidische Höhe	Der Abstand eines Punktes vom Bezugsellipsoid, gemessen längs der Ellipsoidnormalen.
Orthometrische Höhe	Der Abstand eines Punktes über dem Geoid gemessen längs der gekrümmten Lotlinie durch den Punkt (Höhe über dem mittleren Meeresniveau) an der Erdoberfläche. Außerhalb des Geoids liegende Höhen sind positiv.

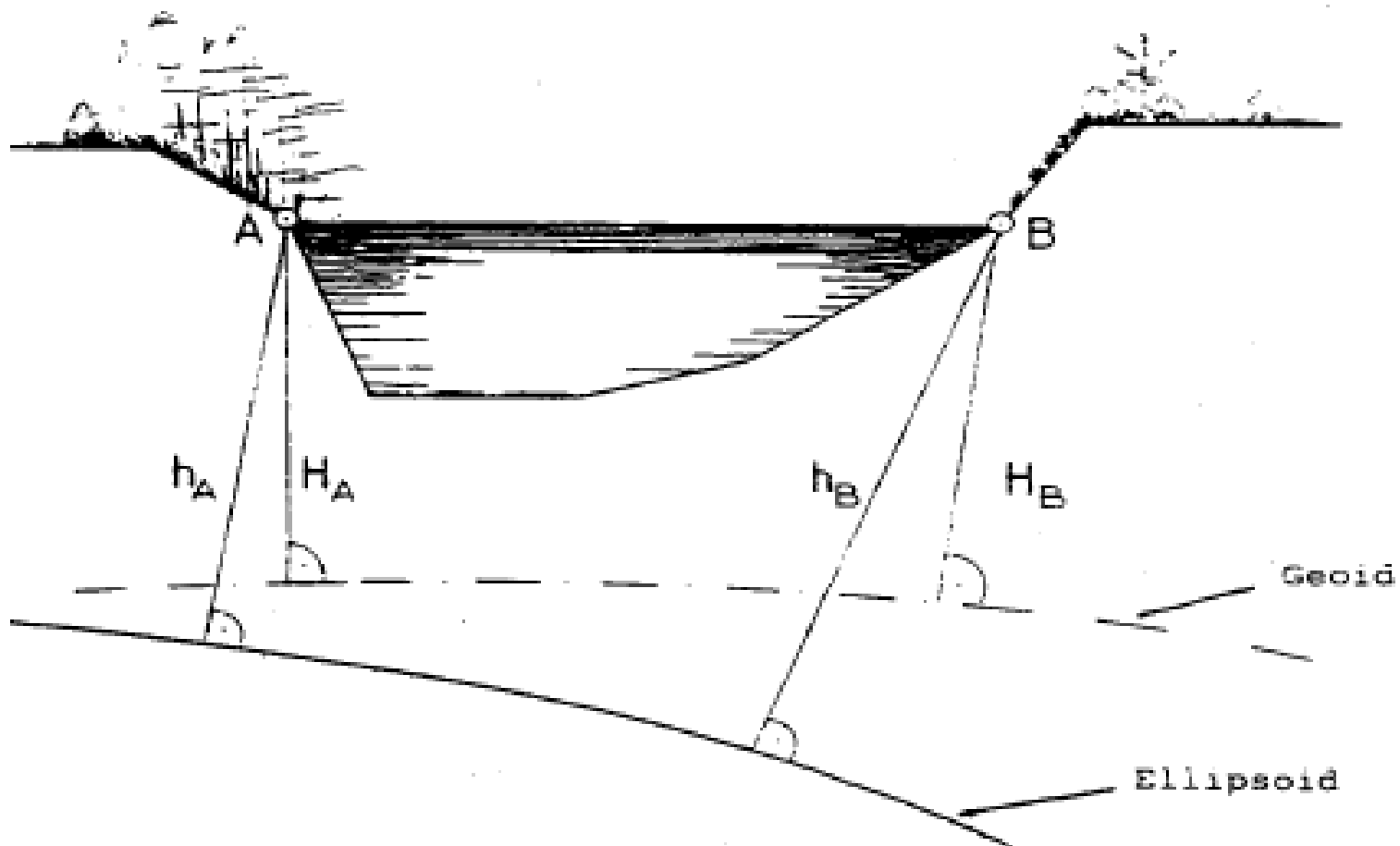
Höhe und GPS-Messungen

- GPS-Geräte bestimmen zunächst die Höhe über dem Ellipsoid (Ellipsoidische Höhe: h)
- Diese Ellipsoidhöhe steht nicht in Einklang mit der Geoidhöhe bzw. mittleren Meereshöhe (# orthometrische Höhe: H)
- Die Umwandlung erfordert ein auf ein Geoid basiertes Höhenmodell
- Der Unterschied zwischen h und H ist Geoidhöhe (N) benannt

Verschiedene Bezugshöhe



Unterschiede zwischen ellipsoidischen Höhen und Geoidhöhen

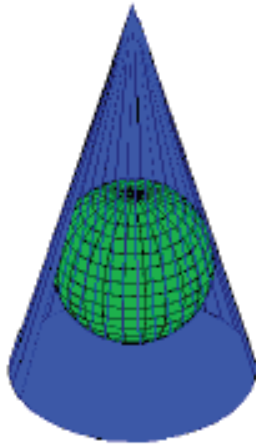


Schätzung der Geoidhöhe auf der Grundlage der GPS- Ellipsoidische Höhe

- GPS-Geräte bestimmen die Höhe über dem Ellipsoid
- Mit Hilfe von Geoidinformationen, die im Gerät gespeichert sind, wird für die aktuelle Position das Geoid interpoliert und dann die Höhe bezogen auf das Geoid berechnet und angezeigt
- Aus dieser Interpolation des Geoids ergeben sich leichte Unterschiede zum tatsächlichen Geoid, die aber nicht ins Gewicht fallen, da die Höhenmessung mittels Handheld-GPS-Geräten sowieso nicht so exakt durchführbar ist
- Diese ist um etwa einen Faktor 1,5 weniger gut als die horizontalen Messungen der Position. **GPS Geräte zeigen also die Höhe über einem theoretischen Meeresspiegel für den jeweiligen Ort an**, der wiederum auf dem Meer sehr gut mit dem tatsächlichen Meeresspiegel übereinstimmen sollte.

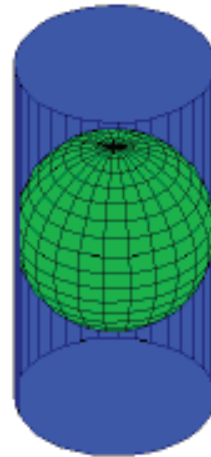
Projektionen

Peter H. Dana 92094



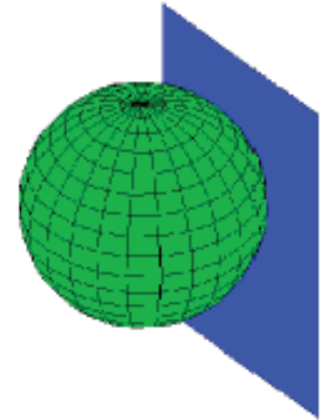
Conical Projection Surface

Peter H. Dana 92094



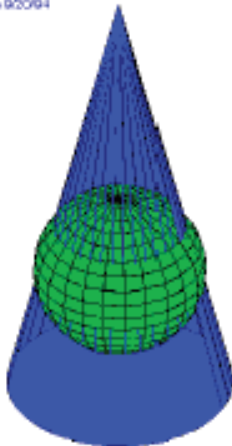
Cylindrical Projection Surface

Peter H. Dana 92094



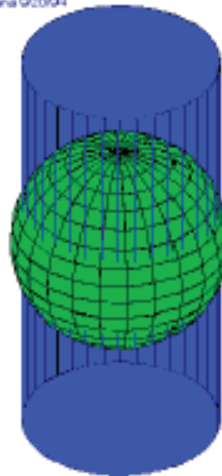
Planar Projection Surface

Peter H. Dana 92094



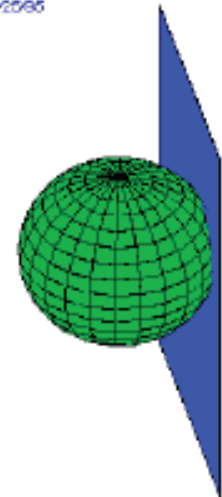
Secant Conic Projection

Peter H. Dana 92094



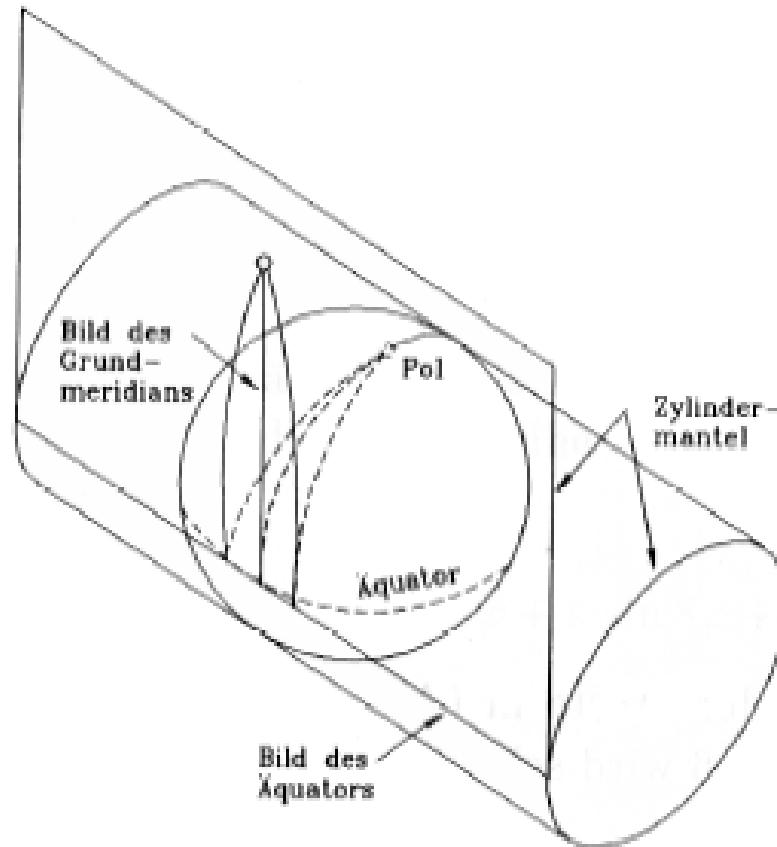
Secant Cylindrical Projection

Peter H. Dana 42565



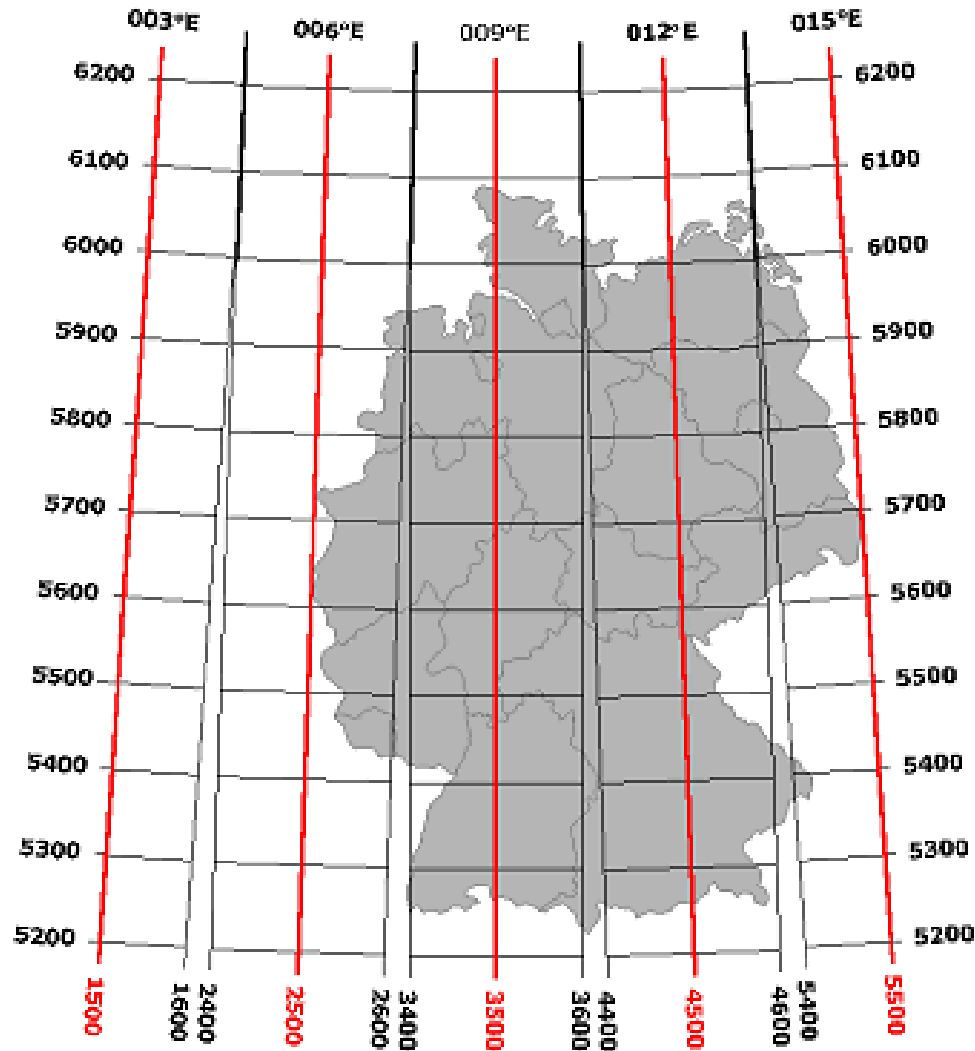
Secant Planar Projection

Gauß-Krüger-Projektion => kartesische Koordinaten (X,Y)

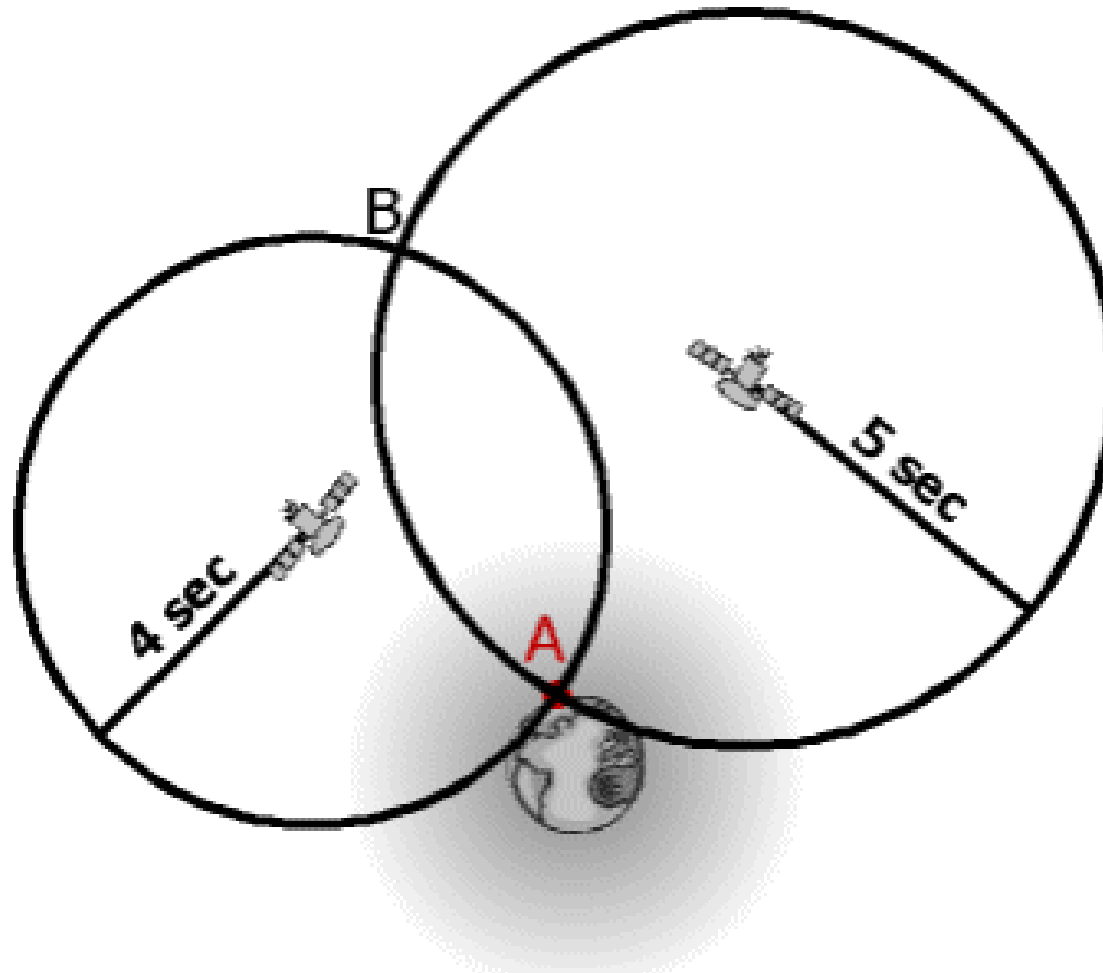


Geometrische Darstellung des Prinzips der Gauss-Krüger-Abbildung

Gauß-Krüger Projektion Koordinaten



GPS und Positionsbestimmung



Hinweis: In der Realität ist die Laufzeit der Signale vom Satelliten zur Erdoberfläche bei einer Lichtgeschwindigkeit von $299\,792\,458,0$ m/s etwa 0,07 Sekunden

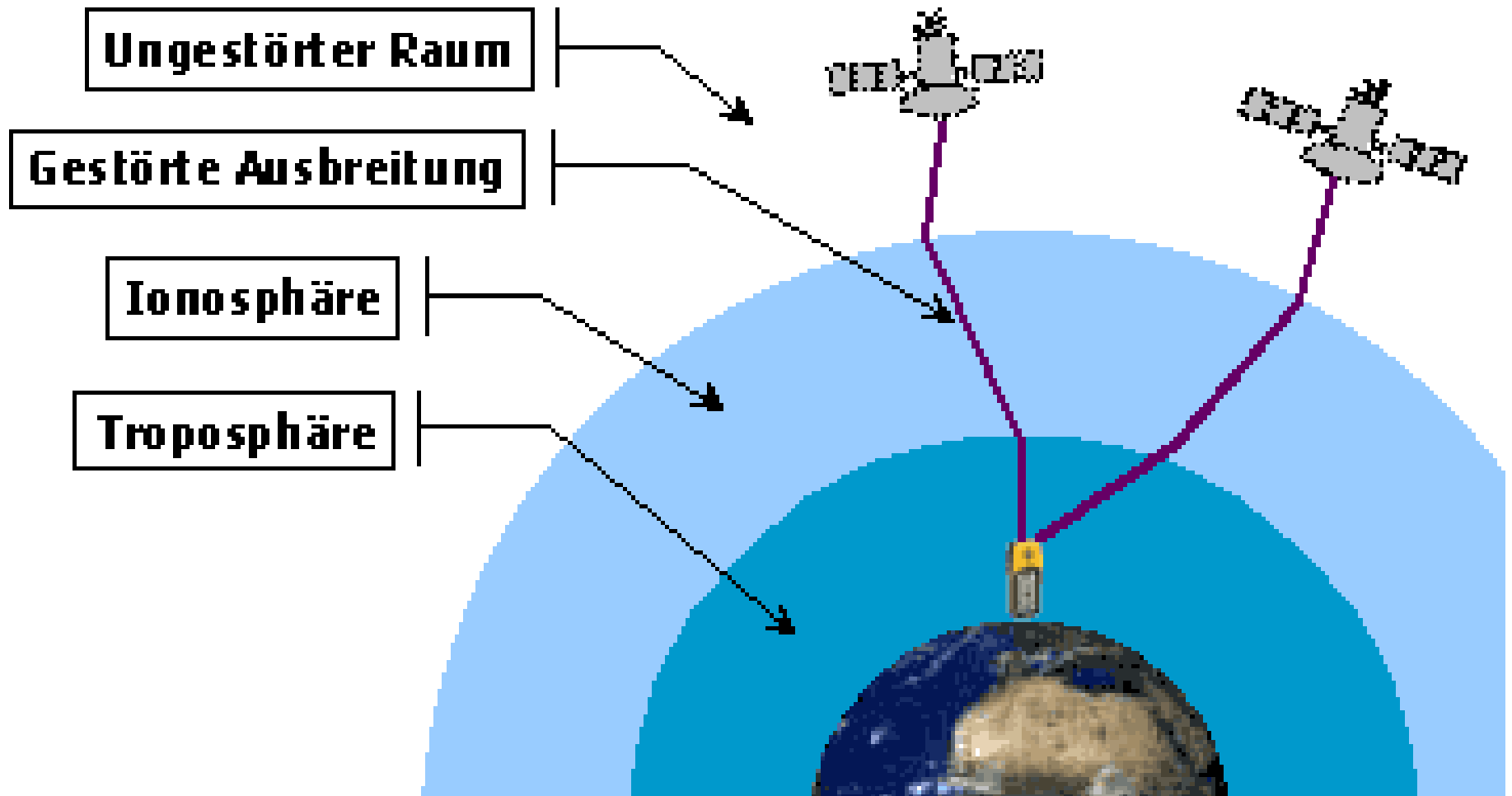
Fehlerquellen

- Satellitenumlaufbahnen
- Atmosphärische Effekte
- Mehrwegeeffekt
- Satellitengeometrie (Konstellation)
- Uhrenungenauigkeit der Satelliten
- Rundungsfehler des Empfänger

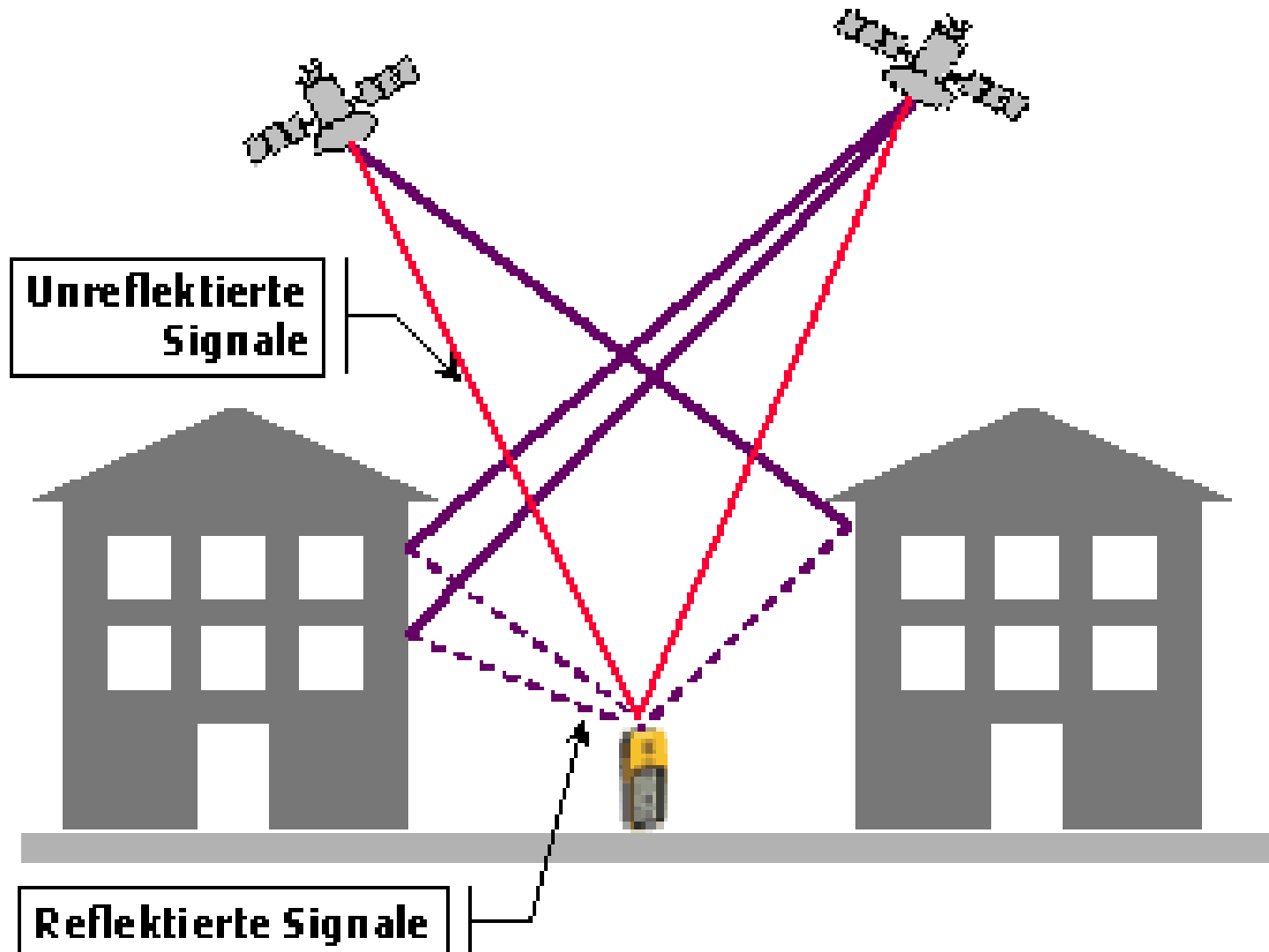
Satellitenumlaufbahnen

- Obwohl die GPS Satelliten sich in sehr präzisen Umlaufbahnen befinden kommt es zu leichten **Schwankungen durch Gravitationskräfte**
- Die exakten Bahndaten werden jedoch regelmäßig kontrolliert und auch korrigiert und in den **Ephemeridendaten** zu den Empfängern gesandt
- Dadurch bleibt der für die Positionsbestimmung resultierende Fehler mit ca. **2 Metern** sehr gering

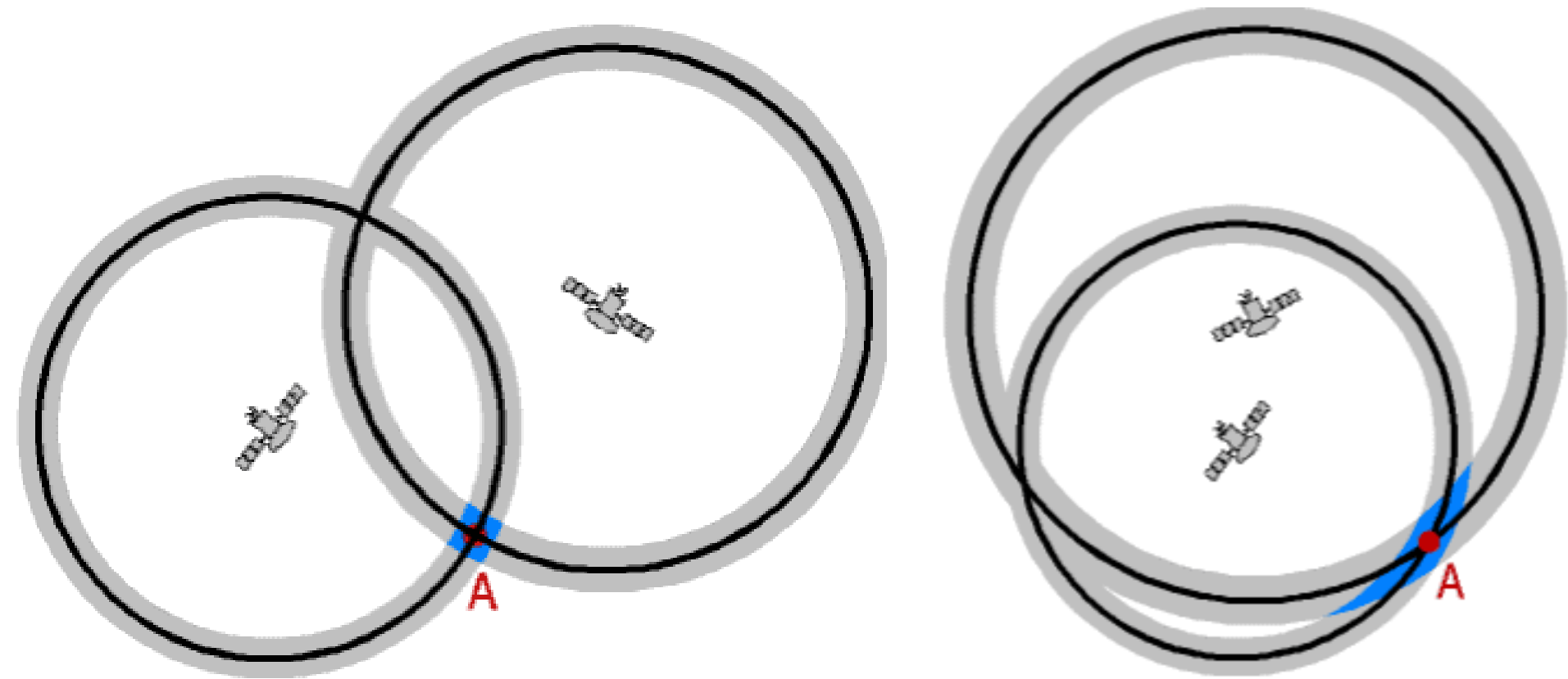
Atmosphärische Effekte



Mehrwegeeffekt (Reflektion der Satellitensignale)



Satellitengeometrie (Konstellation)

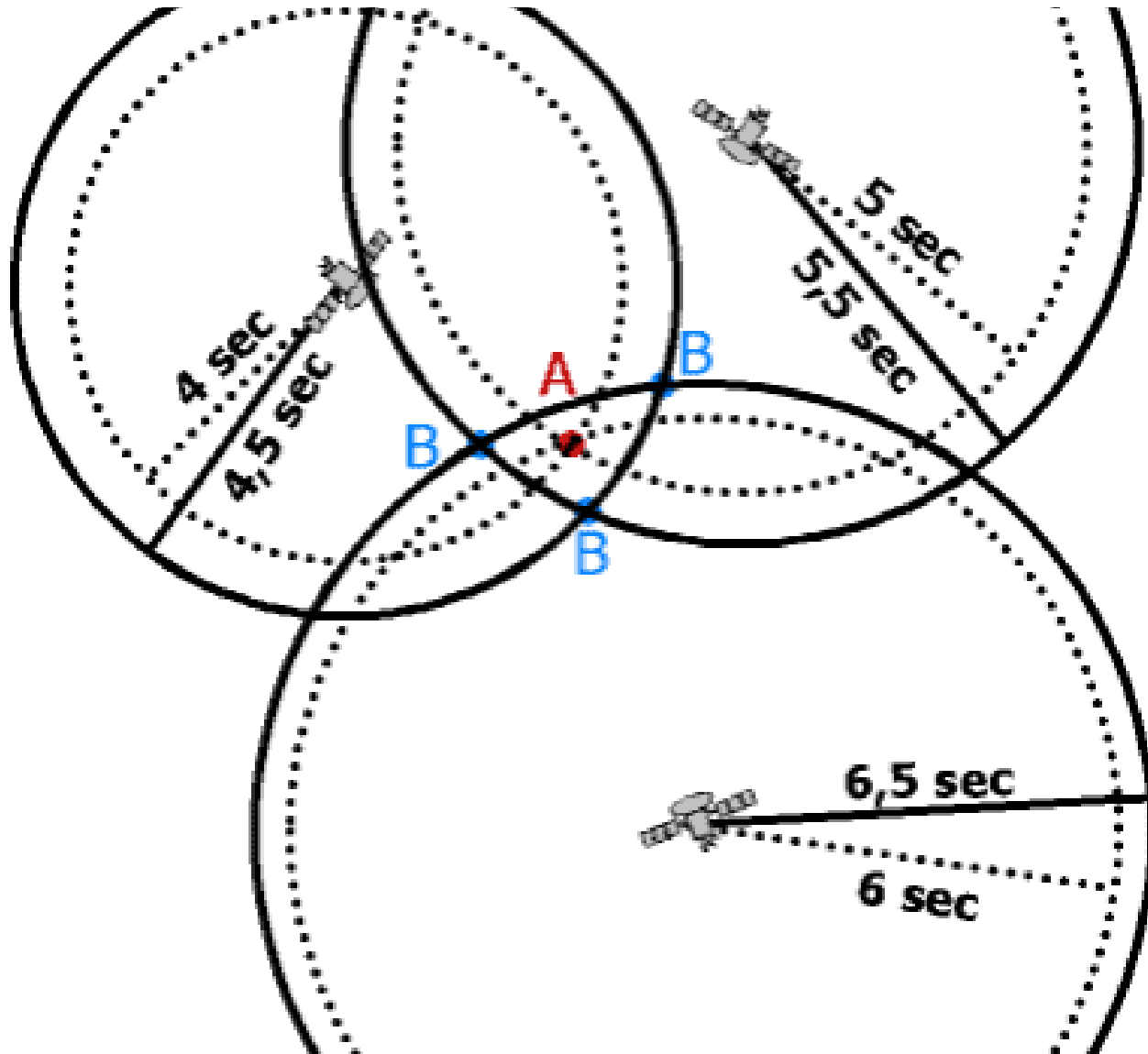


Befinden sich die beiden Satelliten eher mehr hintereinander, so ergibt die Schnittfläche der möglichen Positionen (ungenauere Laufzeit) an denen man sich befindet eine wesentlich größere und in die Länge gezogene Fläche. Als Folge davon ist die Positionsbestimmung weniger genau

Uhrenungenauigkeit der Satelliten und Rundungsfehler des Empfänger

- Die verbleibende Uhrenungenauigkeit der Satelliten macht einen Fehler von ca. 2 Metern aus
- Die verbleibende Ungenauigkeit der Empfänger-Uhr ist eine weitere Fehlerquelle (trotz der Synchronisierung der Uhr während der Positionsbestimmung auf die Zeit der Satelliten)
- Rundungs- und "Rechenfehler" der Empfänger bewirken etwa 1 Meter Ungenauigkeit.

2D Positionsbestimmung mit 3 Satelliten und Korrektur des Uhrenfehlers



Fehlerbilanz des GPS-Systems

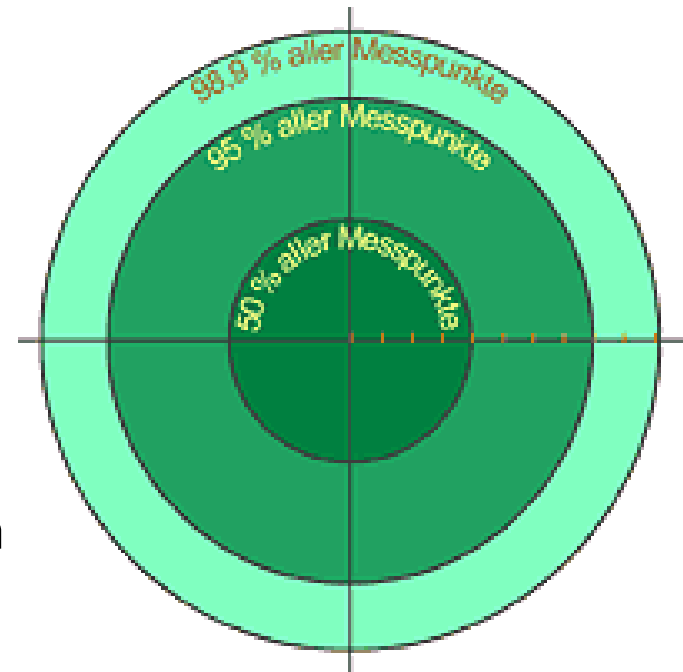
Störungen durch die Ionosphäre	± 5 Meter
Schwankungen der Satellitenumlaufbahnen	± 2.5 Meter
Uhrenfehler der Satelliten	± 2 Meter
Mehrwegeeffekte	± 1 Meter
Störungen durch die Troposphäre	± 0.5 Meter
Rechnungs- und Rundungsfehler	± 1 Meter

Differenzielles GPS (DGPS)

- Mit Hilfe eines DGPS können zivile Empfänger Genauigkeiten von 5 bis 1m erreichen
- Dafür wird ein zweiter stationärer GPS Empfänger, derer Position sehr genau bekannt ist, zur Korrektur der Messung des ersten eingesetzt
- Dazu strahlt dieser DGPS ein Korrektursignal aus, das von einem mit dem GPS Empfänger verbundenen Langwellenempfänger ausgewertet wird

Garmin's Genauigkeitsangabe

- Was bedeutet nun eigentlich, wenn der Garmin-GPS beispielsweise anzeigt: **Genauigkeit: 4 m.**
- Die Genauigkeitsanzeige ist darauf zurückzuführen, dass sich 50 % aller Messungen in einem Kreis mit dem angegebenen Radius befinden, also hier 4 m
- Das bedeutet aber auch, dass die Hälfte der Messpunkte außerhalb dieses Radius sind. Es ist aber weiterhin so, dass sich 95 % aller Messpunkte innerhalb eines Kreises mit dem doppelten angegebenen Radius befinden
- Die bestimmte Position ist dann also praktisch immer auf etwa schlimmstenfalls 10 m genau



Übersicht über die zu erwartende Genauigkeit

Genauigkeit des ursprünglichen GPS-Systems mit aktivierter SA	± 100 Meter
Typische Positionsgenauigkeit ohne SA	± 15 Meter
Typische Differential-GPS (DGPS)-Genauigkeit	$\pm 3 - 5$ Meter
Typische Genauigkeit mit aktiviertem WAAS/EGNOS	$\pm 1 - 3$ Meter

Koordinatentransformation

- <http://home.t-online.de/home/Bernd.Scherer/koord-e.htm>

ess <http://home.t-online.de/home/Bernd.Scherer/koord.htm> Links

Geodätische Koordinatentransformationen

[Hauptseite JavaScript](#)
[Erläuterungen](#)

konforme Koordinaten	geografische Koordinaten	geozentrische Koordinaten	transformierte geozentrische Koordinaten
E <input type="text" value="500000.000"/> m	B <input type="text" value="0.000000000"/> °	X <input type="text" value="0.000"/> m	X' <input type="text" value="0.000"/> m
N <input type="text" value="0.000"/> m	L <input type="text" value="0.000000000"/> °	Y <input type="text" value="0.000"/> m	Y' <input type="text" value="0.000"/> m
h <input type="text" value="0.000"/> m	h <input type="text" value="0.000"/> m	Z <input type="text" value="0.000"/> m	Z' <input type="text" value="0.000"/> m
Systemdefinition	Umrechnung [° ' "]	Krümmungsradien	Transf. parameter
<input type="checkbox"/> L_0 verwenden	<input checked="" type="checkbox"/> Eingabe in [° ' "]	Quer- N [m]	Shifts [m], Rotationen [°]
L_0 <input type="text" value="0.000000000"/> °	B <input type="text" value="0"/> ° <input type="text" value="0"/> ' <input type="text" value="0.0000"/> "	Meridian- M [m]	<input type="checkbox"/> Eingabe ignorieren
m_0 <input type="text" value="1.000000"/> °	L <input type="text" value="0"/> ° <input type="text" value="0"/> ' <input type="text" value="0.0000"/> "	Parameter V	<input type="text" value="0.000"/> m <input type="text" value="0.00"/> °
	Breiten: <input type="text" value="N"/> Längen: <input type="text" value="E"/>	N <input type="text" value=""/> m	<input type="text" value="0.000"/> m <input type="text" value="0.00"/> °
		M <input type="text" value=""/> m	<input type="text" value="0.000"/> m <input type="text" value="0.00"/> °
		V <input type="text" value=""/> m	<input type="text" value="0.000"/> m <input type="text" value="0.00"/> °