



Co-funded by  
the European Union

# MODUL 06

AUSBILDUNGSPROGRAMM

# GEOLOCATION



Dirección General de Formación  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,  
HACIENDA Y EMPLEO



Bildungszentren des  
Baugewerbes e.V.





Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Ziele des moduls .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Modellierung des erdglobus .....</b>	<b>7</b>
2.1 Der ELLIPSOID: Modellierung der Erde durch eine perfekte geometrische Oberfläche.....	7
2.2 Internationales Referenz-Ellipsoid: WGS84.....	8
2.3 Geografischer Norden und magnetischer Norden.....	9
<b>3. Positionierung auf dem ellipsoid.....</b>	<b>11</b>
3.1 Geografische Koordinaten: Längengrad, Breitengrad, ellipsoidische Höhe, international.....	11
Beispiele für die Koordinaten europäischer Partner (von W nach E).....	12
3.2 Lokale Annäherung an die Sphäre .....	13
3.3 Geodätisches Datum .....	14
3.4 Kartesische Koordinaten: ITRS89 (Welt) und ETRS89 (Europa).....	15
<b>4. Positionspunkte auf einer karte, ein plan .....</b>	<b>17</b>
4.1 Doppelprojektion für eine Karte.....	17
Die zylindrischen Projektionen.....	18
Die konischen Vorsprünge.....	19
Die azimutalen Projektionen.....	19
4.2 Projektion und geodätisches System.....	20
4.3 Die Mercator-Projektion .....	21
4.4 Die Projektion und das System UTM: universal transverse mercator.....	22
UTM-Projektion: transversaler Mercator.....	22
UTM-Koordinatensystem.....	23
4.5 Lambert's conical projection: in Frankreich, Belgien, Texas.....	28
Lambert-Projektion auf einen Kegel.....	28
Entfernungsverzerrung in der Lambert-Projektion.....	29
Konvergenz der Meridiane in der Lambert-Darstellung.....	30
Geodätisches System RGF93, Projektion Lambert 93. Code EPSG:2154.....	31
Abstandsverzerrung in Lambert 93 .....	32
Konische konforme 9-Zonen-Projektion Codes EPSG:3942 (Zone 1/CC42) à EPSG:3949 (Zone 8/CC49).....	34
Entfernungsverzerrung in Lambert 9 Zonen.....	37

4.6 Geodätische Bezugspunkte .....	38
<b>5. Höhenmessungen: der geoid .....</b>	<b>39</b>
5.1 Das terrestrische Geoid: Unterschied zum Ellipsoid.....	39
5.2 Das Geoid: Bestimmung der Höhenlage eines Punktes.....	41
5.3 Gesetzliches Altimetriesystem .....	42
<b>6. Gnss-satellitennavigationssystem .....</b>	<b>43</b>
6.1 Tatsächliche Systeme.....	43
6.2 Berechnung der Position.....	45
3D-Multilateration: Schnittpunkt von 3D-Kugeln.....	45
Positionierung: ausschließlich auf dem Ellipsoid WGS84.....	46
6.3 Native metrische GNSS-Genauigkeit, GDOP-Konzept.....	47
Sofortige Genauigkeit.....	47
GDOP: Geometrische Verdünnung der Präzision .....	48
Veränderung während des Tages :.....	49
Kp-Index.....	50
6.4 Zentimetergenauigkeit im PPP-Messmodus.....	51
6.5 Mit einem Differenzialsystem erzielte zentimetrische Messgenauigkeit.....	52
Methode: Verknüpfung von zwei GNSS-Antennen .....	52
RTK: Echtzeitkorrekturen über Internet und Abonnement.....	53
6.6 Lokale Störungen der Genauigkeit eines GNSS.....	55
6.7 Rechtssysteme und GNSS.....	57
<b>7. Geolokalisierungsziele vor Ort .....</b>	<b>58</b>
7.1 Prinzip (siehe auch Modul "Photogrammetrie") .....	58
7.2 Arten von Zielen .....	59
7.3 Vermessung der Ziele.....	60

## **DRONES4VET Erasmus+ Projektteilnehmer und Autoren**

### **CMQE HEREC Occitanie France Team:**

Régis Lequeux – Dozent, Bauingenieur, Lycée Dhuoda, Nîmes – Koordinator der 10  
Module  
Nicolas Privat – Dozent, Bauingenieur, Lycée Dhuoda, Nîmes  
Eric Remola – Dozent, Lycée Dhuoda, Nîmes  
Nicolas Vassart – Dozent, Ph.D., Lycée Dhuoda, Nîmes  
Valerie Poplin – CMQE HEREC Geschäftsführer

### **MTU Irland Team:**

Sean Carroll CEng MEng BEng (Hons) MIEI Dozent und Forscher  
Michal Otreba Inz, MScEng, PhD, Dozent und Forscher, beide Koordinatoren des  
Einstufungs- und Nachbereitungssitzungen für Pädagogen

### **FH Kufstein Tirol. Österreich**

Emanuel Stocker, Hochschullehrer für Facility- und Immobilienmanagement  
Sarah Plank, F&E Controllerin

### **CRN Paracuellos-Team (Dirección General de Formación. Comunidad de Madrid). Spanien**

José Manuel García del Cid Summers, Direktor  
Daniel Sanz, Direktor der Dron-Arena  
Santos Vera, Techniker  
Jorge Gómez Sal, Leiter der Technischen Einheit  
Fernando Gutierrez Justo, Erasmus-Koordinator – Projektantragsteller

### **BZB Düsseldorf. Deutschland:**

Frank Bertelmann-Angenendt, Projektleiter  
Markus Schilaski, Projektleiter

### **DEX. Spanien**

Ainhoa Perez  
Ignacio Gomez Arguelles  
Diego Diaz Mori  
Yvan Corbat  
Erasmus-Management

# 1. Ziele des moduls

Dieses Modul ermöglicht es Ihnen, die Koordinatensysteme zu verstehen, die zur Lokalisierung von Punkten auf der Erde verwendet werden. Es erklärt, wie eine Karte in einem Projektionssystem erstellt wird. Es ermöglicht Ihnen, terrestrische Beobachtungen zu geolokalisieren.

Um Informationen auf der Erdoberfläche zu lokalisieren, ist es notwendig, ein Positionierungs- und Kartierungssystem zu verwenden. Hierfür sind Begriffe aus der Geodäsie erforderlich, wie z. B.

- die Definition eines geodätischen Bezugsrahmens (Ellipsoid, Ursprungsmeridian)
- die Wahl eines Projektions- und Koordinatensystems (geografisch oder planar)
- die Wahl eines Höhenreferenzsystems (Geoid).

Das Modul erklärt auch, wie ein globales Satellitennavigationssystem ("GPS") funktioniert und wie man eine zentimetrische Genauigkeit erhält.

Am Ende erfahren Sie, wie Sie Ziele auf dem Feld positionieren, um Ihre Drohnenaufnahmen zu geolokalisieren.

## 2. Modellierung des erdglobus

### 2.1 Der ELLIPSOID: Modellierung der Erde durch eine perfekte geometrische Oberfläche

Vom Weltraum aus gesehen hat die Erde die Form einer Kugel, aber in Wirklichkeit ist sie durch die Zentrifugalkraft, die durch ihre Drehung um die Polachse entsteht, leicht verformt. Das topografische Modell der Erde kommt (bis auf wenige Meter außerhalb des Reliefs) einem bekannten mathematischen Volumen nahe: dem Rotationsellipsoid (Drehung einer Ellipse um die Achse der Pole (die Nebenachse)).

- Durchschnittlicher Radius von: 6 367 km
- Setzung an den Polen: -11 km gegenüber der Kugel
- Ausbuchtung am Äquator: +11 km im Vergleich zur Kugel

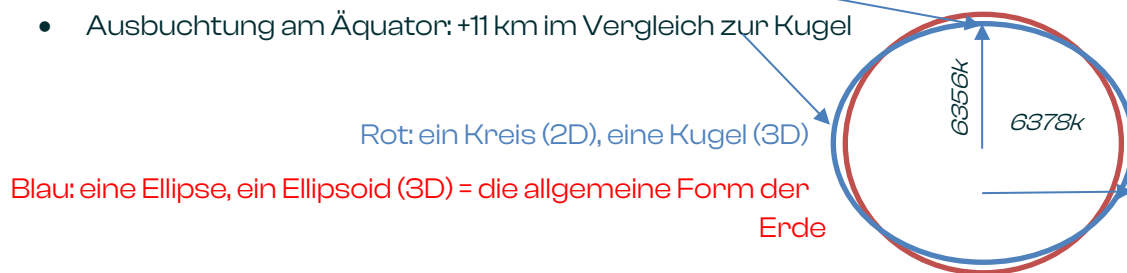


Abbildung 2-1 WGS84-Ellipsoid

Größenordnung für ein Ellipsoid der Erdumdrehung:

- $a = 6\,378\,137\text{ m}$  = Äquatorialradius der Erde
- $b = 6\,356\,752\text{ m}$  = Polarradius der Erde
- Äquatorialer Umfang = 40 074 km
- Länge einer Meridianellipse = 40 007 km (integrale Berechnung)

**Zur Erstellung der Topografie projizieren wir die Konturen der zu kartierenden Elemente auf das Ellipsoid.**



## 2.2 Internationales Referenz-Ellipsoid: WGS84

WGS 84 (Weltgeodätisches System 1984); das internationale Referenzsystem ist das geodätische System, das von Wissenschaftlern als das Ellipsoid IAG GRS 80 (mit 0,1 mm Modifikation) und das Geoid (siehe unten) EGM96 definiert wurde. Es ist heute unverzichtbar geworden, da es als Referenz für das Satellitenortungssystem GPS und alle anderen Systeme (europäisches Galileo, russisches Glonass, chinesisches Beidou, japanisches KZSS und indisches) dient. Es hat sich schnell zur universellen Referenz für die Kartografie (zu Wasser und zu Land) entwickelt.

Die lokalen Ellipsoide, die im Allgemeinen für jedes Land festgelegt werden, verschwinden in der Regel zugunsten von WGS84. Sie stammen aus der Zeit, als sich die Wissenschaftler weltweit noch nicht einig waren. Einige Länder haben sie beibehalten, und sie können von WGS84 so weit abweichen, dass die Koordinaten verfälscht werden. So sind zum Beispiel die alten französischen Karten von vor 1999, die auf dem Ellipsoid von Clarke 1880 basieren, nicht "GPS-kompatibel".

- Es ist daher immer zu prüfen, ob das Projektionsellipsoid WGS84 (oder IAG GRS80) ist. Jedes andere Referenzellipsoid würde einen Positionierungsfehler verursachen.



## 2.3 Geografischer Norden und magnetischer Norden

**Geografischer Norden = Rotationsachse der Erde = Meridianbindung = WAHRER Norden = Norden der Karten**

**DIES IST DER EINZIGE NORDEN, DEN WIR IN DER TOPOGRAFIE VERWENDEN**

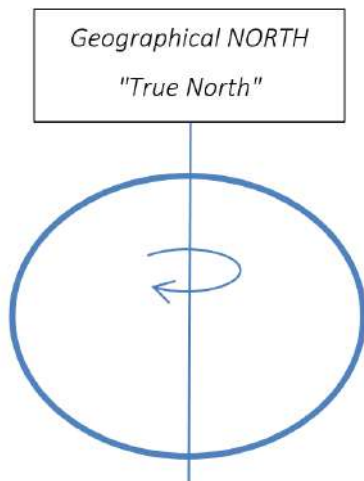


Abbildung 2-2 Drehachse = geografischer Norden

Für Informationen:

*Magnetischer Norden = Punkt, an dem das Erdmagnetfeld in die Erde "eintritt"; die Feldlinien treffen aufeinander. Er liegt in der Nähe des geografischen Nordens, ist aber nicht deckungsgleich und variabel, so dass er nicht als Referenz verwendet werden kann.*

*Der Kompass zeigt den magnetischen Norden an, diese Richtung unterscheidet sich vom geografischen Norden durch die Deklination: Winkel zwischen der auf einem Kompass angezeigten Nordrichtung und der "wahren" Nordrichtung, der geografischen.*

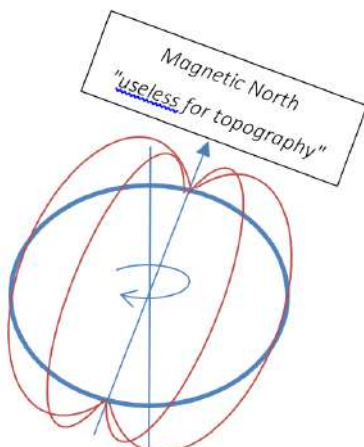


Abbildung 2-3 Magnetfelddeklination im Jahr 2015 (ncei.noaa.gov)

**US/UK World Magnetic Model - Epoch 2015.0**  
**Main Field Declination (D)**

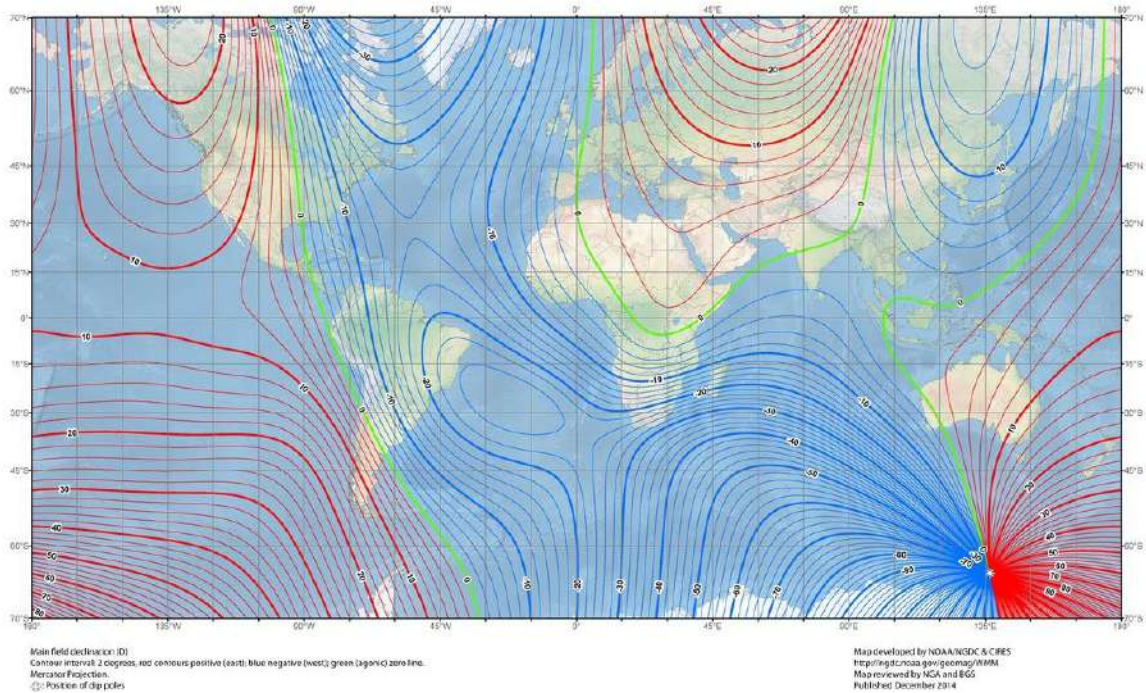


Abbildung 2-4 Deklination der Magnetfeldlinien der Erde

In Frankreich ist die Deklination gering (1 bis 3°), aber in Polen erreicht sie 6°!!!

Ein Kompass ist kein Ortungsinstrument, das den Norden der Karten angibt, aber die lokale Deklination ist auf den Karten angegeben, um die Verwendung eines Kompasses für Wanderungen oder die ungefähre Navigation zu ermöglichen.

# 3. Positionierung auf dem ellipsoid

## 3.1 Geografische Koordinaten: Längengrad, Breitengrad, ellipsoidische Höhe, international

Die dreidimensionalen geografischen Koordinaten  $(\lambda, \phi, h)$  eines beliebigen Punktes ermöglichen es, diesen Punkt auf dem Ellipsoid zu positionieren und seine Höhe von diesem Ellipsoid anzugeben.

Sie stützen sich auf zwei Referenzen:

Der **Längengrad**  $\lambda$  (Lambda) ist der Winkel zwischen dem **Meridian**, der durch den betrachteten Punkt verläuft, und dem Nullmeridian.

Der internationale Nullmeridian ist derjenige von Greenwich (Observatorium in London).

Der internationale Referenzmeridian verläuft durch das Greenwich-Observatorium in London und in Frankreich um Tarbes, 60 km westlich von Toulouse, um Angoulême und um Caen.

Die **Länge** liegt zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  in Richtung Osten, wir sagen "östliche Länge" oder zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  in Richtung Westen, wir sagen "westliche Länge".



Abbildung 3-1 Meridiane (brainly.in)

Die **geographische Breite**  $\phi$  (phi) ist der Winkel, den die Normale des Ellipsoids mit der Äquatorebene (= Äquatorialebene) einschließt und der die **Parallelen** bestimmt.

Der **Breitengrad** liegt zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  im Norden, wir sagen "Nördlicher Breitengrad" oder zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  im Süden, wir sagen "Südlicher Breitengrad".

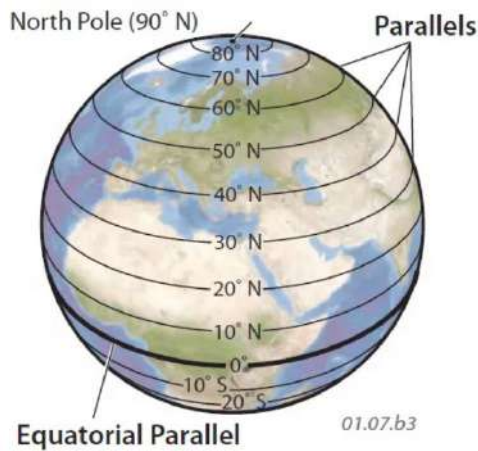


Abbildung 3-2 Parallelen (brainly.in) (<https://geography.name>)

### Beispiele für die Koordinaten europäischer Partner (von W nach E)

Cork, Munster Technological University: 51.885808N ; 8.533495W

Madrid, CRN Paracuellos: 40.494217N ; 3.535192W

Nîmes, Campus Herec: 43.827286N ; 4.356369E

FH Kufstein Tirol: 47.583670N ; 12.173542E

Die ellipsoidische **Höhe h** ist der Abstand zwischen dem betrachteten Punkt und der Projektion dieses Punktes auf das Ellipsoid.

Es ist diese ellipsoidische Höhe, die die Satellitensysteme bestimmen, und nicht die übliche Höhe (über dem Meeresspiegel), die sie nicht kennen...

NB: Das Maß "h" ist orthogonal zum Ellipsoid: es erreicht also nicht den Massenschwerpunkt der Erde, siehe die Lücke hier

Da der Breitenwinkel also nicht den Massenschwerpunkt erreicht...

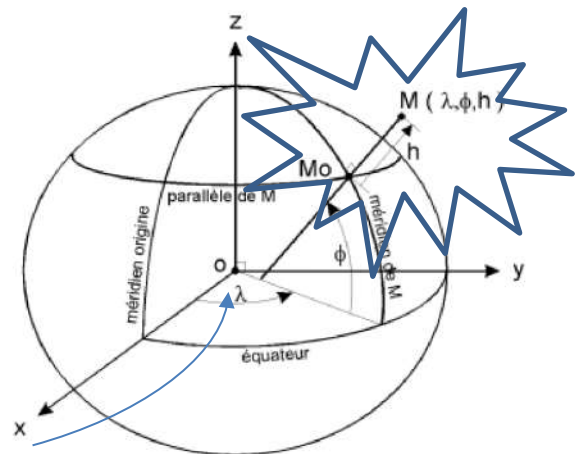


Abbildung 3-3 ellipsoidische Höhe orthogonal zum Ellipsoid

Alle Länder der Welt verwenden das gleiche geografische Koordinatensystem (sogar Nordkorea!).

## 3.2 Lokale Annäherung an die Sphäre

Für einige Berechnungen ist es wichtig, das Ellipsoid durch eine Kugel mit einem lokal an das Ellipsoid angepassten Radius zu ersetzen.

In Frankreich hat die Kugel einen Radius von 6380 km

## 3.3 Geodätisches Datum

Die Merkmale des Ellipsoids und die Positionierungsparameter bilden ein geodätisches Datum.

Ein geodätischer Bezugspunkt ist also definiert durch :

- Ein Ellipsoid → WGS84 (oder nennen wir es IAG GRS 80)
- Die Position des Mittelpunkts des Ellipsoids in Bezug auf die Position des Erdäquators ist bis auf wenige Meter genau bekannt.
- Die Ausrichtung der Achsen des Ellipsoids → Hauptachse entlang des Äquators, Nebenachse in Richtung der Rotationsachse der Erde
- Ein Meridianursprung der Längengrade → der Meridian, der durch das Observatorium von Greenwich in London verläuft
- Eine Ursprungsebene der Breitengrade → die Ebene des Äquators



## 3.4 Kartesische Koordinaten: ITRS89 (Welt) und ETRS89 (Europa)

Anstelle von geografischen Koordinaten wird weltweit ein fester kartesischer Bezugsrahmen definiert, der auf den Massenschwerpunkt der Erde zentriert ist: seit 1989 das Internationale Terrestrische Referenzsystem (ITRS).

Dies sind die Koordinaten X, Y, Z

- Die X,Y-Ebene ist der Äquator
- Die Z-Achse ist die Rotationsachse der Erde
- Der Punkt 0,0,0 ist der Massenschwerpunkt der Erde
- Die X-Achse verläuft durch den Meridian von Greenwich
- Jeder Punkt auf der Erde kann Koordinaten (X,Y,Z) haben.

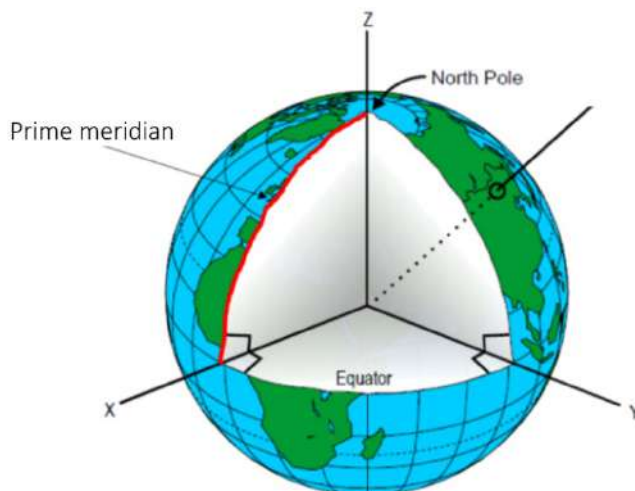


Abbildung 3-4 Achse der kartesischen Koordinaten (researchgate)

Problem: Kontinentalverschiebung...

Die geodätischen Systeme im Weltraum (d.h. die modernen) sind sehr genau und erlauben es, die Koordinaten von Punkten, die sich auf verschiedenen tektonischen Platten befinden, im selben System auszudrücken: die relativen Bewegungen dieser Platten (bis zu mehreren cm/Jahr) können nicht mehr vernachlässigt werden... Das ITRS (International Terrestrial Reference System), das genaueste geodätische System der Welt (zentrimetrische Genauigkeit), entwickelt sich ständig weiter; jede seiner Realisierungen (ITRF, für International Terrestrial Reference Frame), die aus einem Netz von Bodenstationen besteht, deren Koordinaten und Verschiebungsgeschwindigkeiten festgelegt sind, ist datiert: ITRF90 entspricht dem Wert dieser Elemente für das Jahr 1990. Die derzeit letzte Berechnung ist ITRS2020 (<https://itrf.ign.fr/en/solutions/itrf2020>)



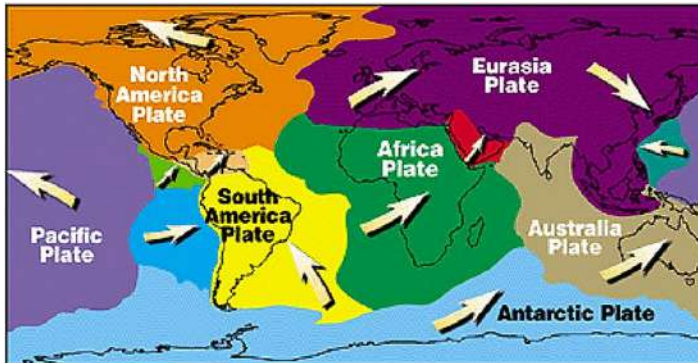


Abbildung 3-5 Kontinentalverschiebung (*importantinnovations.com*)

Dieses internationale System wird in Europa unter dem Namen ETRS 89 abgelehnt, mit einem Netz, dessen letzte Version ETRF2020 ist. In Europa wurde 1989 beschlossen, unser Referenzsystem an die eurasische Platte zu binden: Seit diesem Jahr unterscheidet sich das ETRS (European terrestrial reference system) vom ITRS durch die Verschiebung der Kontinentalplatte, an die es gebunden ist. Die Transformationsparameter müssen laufend aktualisiert werden ETRS ITRS →

[https://epncb.oma.be/\\_productsservices/coord\\_trans/](https://epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/)

Das ETRS wird als Grundlage für alle ebenen Projektionssysteme der europäischen Länder verwendet, sein Ellipsoid ist GRS80 (=WGS84 bei 0,1mm) und es gibt mehr als 300 Messstationen in Europa (EUREF).

Wir verwenden diese Koordinaten im Moment noch nicht mit Drohnen, aber es wäre möglich.

# 4. Positionspunkte auf einer Karte, ein plan

## 4.1 Doppelprojektion für eine Karte

Ein Plan oder eine Karte ist die Darstellung eines Teils des Ellipsoids auf einer entwicklungs-fähigen Fläche, auf einer Fläche, die flach ausgebreitet werden kann: im Wesentlichen der Zylinder, der Kegel und die Ebene.

Um eine Karte oder einen Geländeplan zu erstellen, sind zwei Projektionen erforderlich:

- Das reale **Terrain**, die Maße, werden **auf das Ellipsoid** projiziert
- Die Form auf dem **Ellipsoid** wird dann auf eine **abwickelbare Fläche** projiziert, um eine ebene Darstellung zu erhalten

So können Winkel, Entfernungen und Flächen, die auf den Karten gemessen werden, stark von denen abweichen, die...

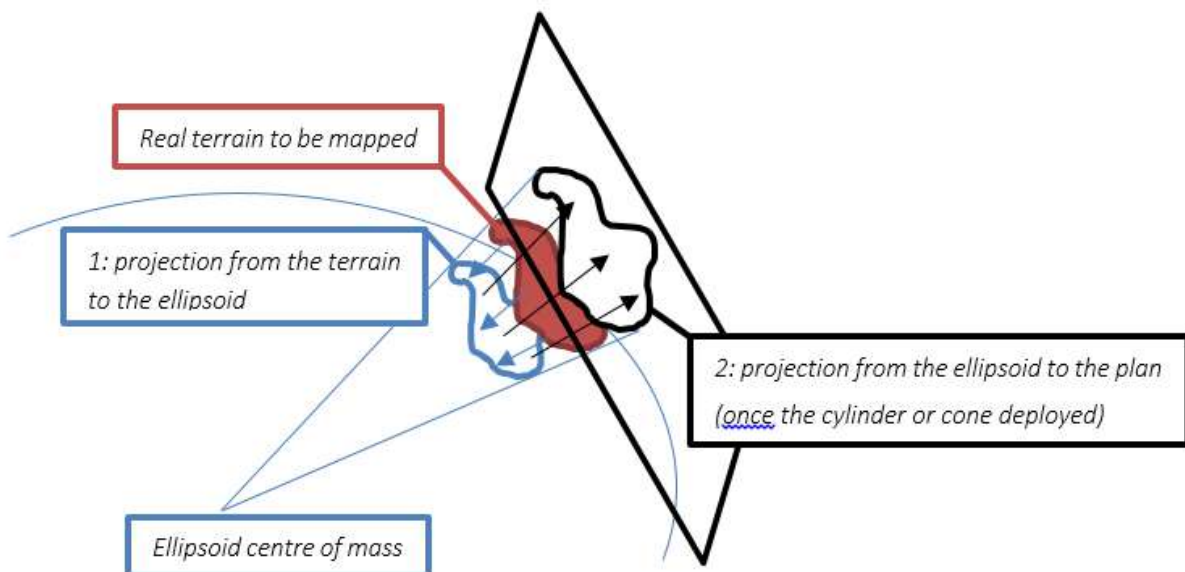


Abbildung 4-1 die beiden aufeinanderfolgenden Projektionen, um eine Karte zu erhalten

- Die für die Topografie verwendeten Projektionen sind **konform**: Sie erhalten die Winkel lokal. Ein auf dem Feld gemessener Winkel ist derselbe wie in der Ebene.
- Die Projektionen **verändern die Entfernungen** (modifizieren die Entfernungen). Eine auf dem Boden gemessene Entfernung ist nicht dieselbe wie die auf der Karte gemessene, selbst wenn der Kartenmaßstab angewendet wird.
- In diesen Projektionen wird ein **orthonormaler**, positiv nach Osten und Norden ausgerichteter **Bezugsrahmen** definiert, der für jedes Projektionssystem spezifisch ist und die Koordinaten Längen- und Breitengrad durch X, Y oder E, N ersetzt.

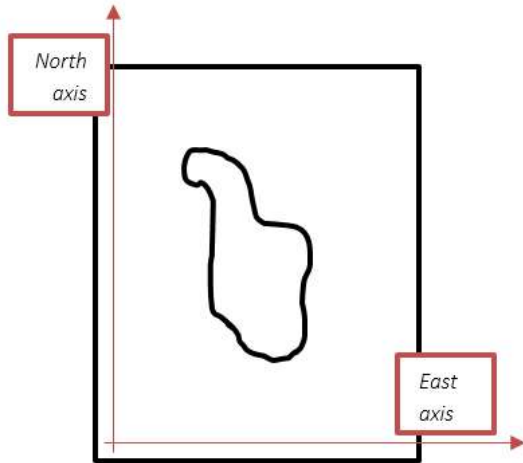
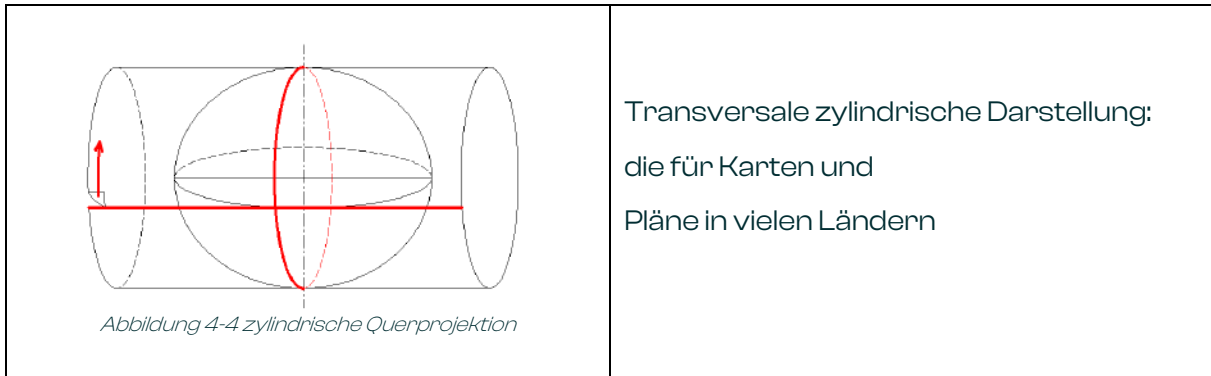


Abbildung 4-2 orthogonaler Bezugsrahmen auf einer ebenen Karte

### Die zylindrischen Projektionen

Die Projektionsfläche ist ein Zylinder, der entlang des Äquators („direkt“) oder eines Meridians („transversal“) des Ellipsoids umschrieben wird (Beispiel: UTM, Gauß, ...).

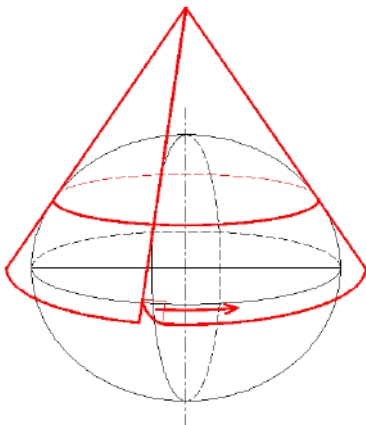




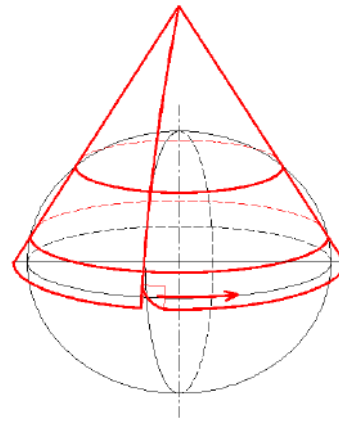
### Die konischen Vorsprünge

Eingeführt von dem Mathematiker Johann Heinrich Lambert (Frankreich) im Jahr 1772.

Die Projektionsfläche ist ein Kegel, der einen Kreis tangiert oder zwei Kreise schneidet  
(Beispiel: Lambert 93 in Frankreich, ...)



*Abbildung 4-5 tangentielle kegelförmige direkte Darstellung*

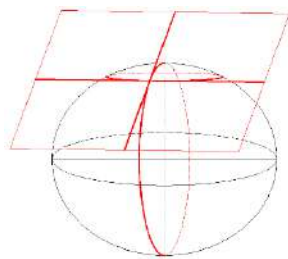


*Abbildung 4-6 Direkte Sekantenkegeldarstellung*

### Die azimutalen Projektionen

Die Projektionsfläche ist eine Ebene, die einen Punkt tangiert oder einen Kreis schneidet.

Eine Projektion, die nicht einem dieser Typen zugeordnet werden kann, wird als individuell oder einzigartig bezeichnet.



*Abbildung 4-7 Darstellung der azimutalen Tangente*

## 4.2 Projektion und geodätisches System

Verwechseln Sie eine Projektion nicht mit einem geodätischen System (das es ermöglicht, einen Punkt auf der Erdoberfläche zu lokalisieren).

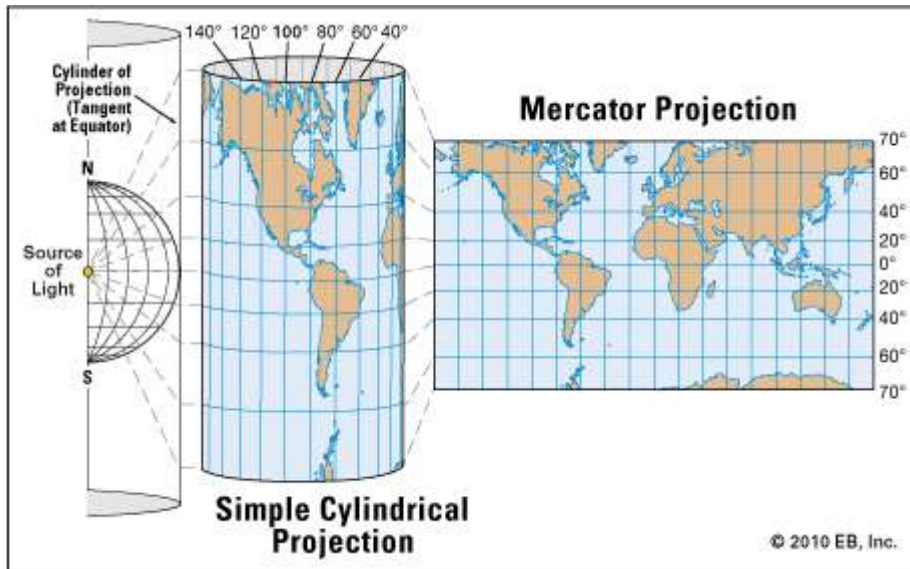
- ➔ Die Projektion ist die Form und Position der abwickelbaren Fläche: Zylinder oder Kegel, Kontakt mit dem Ellipsoid.
- ➔ Das geodätische System ist die Art und Weise, wie die kartesischen Koordinaten auf der Projektion ausgedrückt werden: Ursprung und Ausrichtung der X- und Y-Achse (oder E und N)

Theoretisch könnte jede Projektion mit jedem geodätischen System assoziiert werden, aber um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden, assoziieren wir im Allgemeinen ein geodätisches System mit einer bestimmten Projektion (zum Beispiel: ED 50 oder WGS 84 mit UTM-Projektion, RGF 93 mit Lambert 93-Projektion, ...).

Auch bei der Angabe der ebenen Koordinaten eines Punktes (da dieselbe Projektion von mehreren geodätischen Systemen verwendet werden kann) müssen (außer in offensichtlichen Fällen) sowohl die Projektion als auch das verwendete geodätische System angegeben werden (zum Beispiel: E und N in UTM ED 50).

## 4.3 Die Mercator-Projektion

Das Ellipsoid wird auf einen vertikalen Zylinder projiziert



Äquator (zentrale  
Linie ohne  
Verzerrung)

Abbildung 4-8 direkte Mercator-Projektion (Britanica.com)

Dies führt zu einer starken Deformation, wenn man sich vom Äquator entfernt. Der Äquator ist das zentrale Isometer: Nur entlang des Äquators stimmen die auf der Karte gemessenen Entfernungen mit denen auf dem Boden überein.

Das ist die Verzerrung der Entfernungen: Die auf der Karte gemessenen Entfernungen sind, auch wenn sie mit dem Maßstab multipliziert werden, nicht gleich den auf dem Boden gemessenen Entfernungen... außer entlang des Äquators.

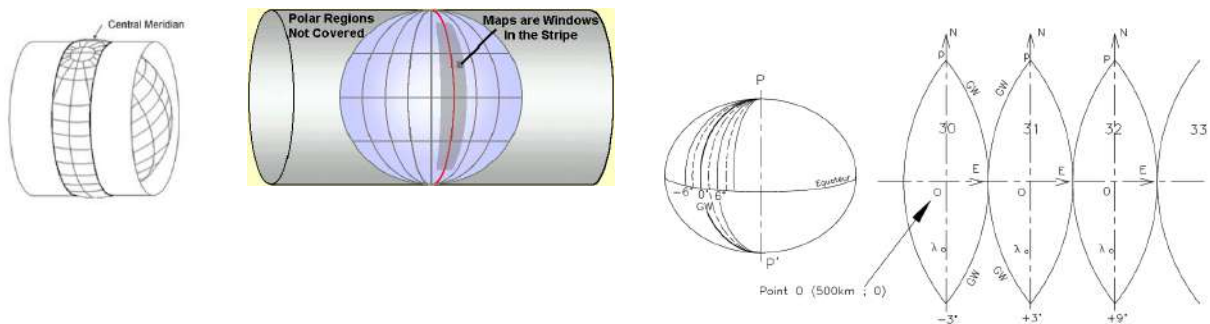
Weit verbreitet, um die Erde als Ganzes oder ein ganzes Land in Atlanten darzustellen.

**Niemals für Bauwerksanwendungen verwendet.**

## 4.4 Die Projektion und das System UTM: universal transverse mercator

### UTM-Projektion: transversaler Mercator

Die UTM-Projektion (Universal Transverse Mercator, die um 1950 von der US-Armee zur Darstellung der gesamten Erde definiert wurde) ist eine zylindrische, transversale, sekantenkonforme Projektion, die die gesamte Welt in 60 Zonen mit einer Amplitude von 6 Grad in der Länge abdeckt (um die Entfernungsverzerrung am Rande der Spindeln zu begrenzen) und nun auf dem WGS84-Ellipsoid basiert.



e-education.psu.edu

oc.nps.edu

unstats.un.org

Abbildung 4-9 Universal-Transversal-Mercator-Projektion UTM

Die Meridiane haben als Bild auf der Ebene Kurven je nach ihrer Entfernung vom Zentralmeridian. Der Meridian von Greenwich (= 0°) trennt die Zonen 30 und 31. Die 2 Sekantenmeridiane werden "Standardmeridiane" genannt: Entlang ihnen gibt es keine Entfernungsverzerrung.

Die Parallelen haben als Bild in der Ebene parallele Kurven in gleichem Abstand zueinander.

Konforme Projektion: gleiche Winkel am Boden und auf der Karte, aber Entfernungsverzerrung.

Die Zonen sind nummeriert, um sie zu identifizieren: Die Nummerierung der Zonen beginnt am 180°-Meridian und nimmt von Westen nach Osten zu.

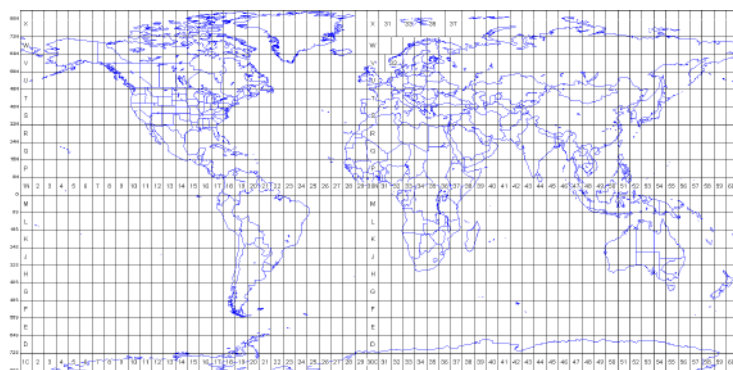


Abbildung 4-10 die 60 Zonen des UTM (researchgate)



## UTM-Koordinatensystem

Auf der Karte ist der Zentralmeridian durch eine gerade Linie auf der Nordachse dargestellt.

Alle Zonen sind identisch.

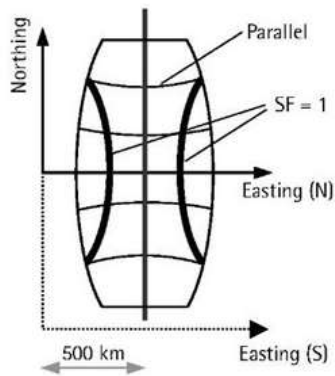


Abbildung 4-11 Achse in einem UTM-Streifen was-wann-wie.de

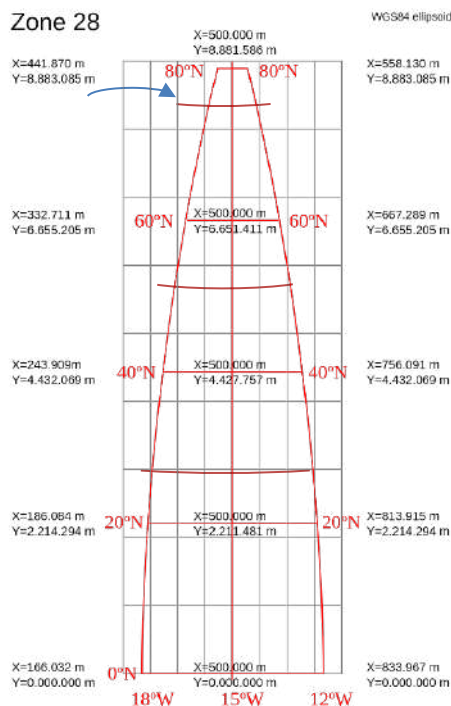


Abbildung 4-12 Koordinaten in einem UTM-Streifen

Um negative Abszisse zu vermeiden, hat der O-Punkt jeder Zone die Koordinate  $E_0 = 500 \text{ km}$

Der Ursprung der Achsen E und N hat die Koordinaten :

- $N_0 = 0 \text{ m}$  in der nördlichen Hemisphäre
- $N_0 = 10\,000 \text{ km}$  in der südlichen Hemisphäre

Die Breite einer Zone beträgt etwa  $y \approx 600 \text{ km}$

← Hier sind die Koordinaten der Extremitäten der Zone aufgrund der Krümmung der Parallelen in Y höher als entlang der Mittellinie.

Für jede Punktkoordinate müssen Sie angeben, auf welche Zone Sie sich beziehen:

Beispiel: UTM30 (56.012 , 125.236)

Das französische Hoheitsgebiet ist in 3 Zonen unterteilt:

- UTM Nord Zone 30 : zwischen 6 Grad West und 0 Grad (= Greenwich), EPSG :32630
- UTM Nord Zone 31 : zwischen 0 Grad und 6 Grad Ost. EPSG :32631
- UTM Nord Zone 32 : zwischen 6 Grad Ost und 12 Grad Ost. EPSG :32632

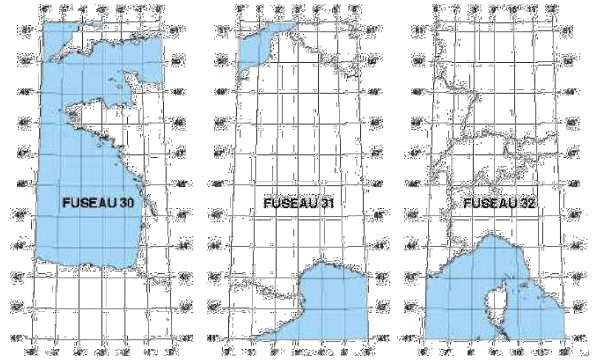


Abbildung 4-13 die 3 UTM-Zonen Frankreichs ("fuseau" auf Französisch) (IGN)

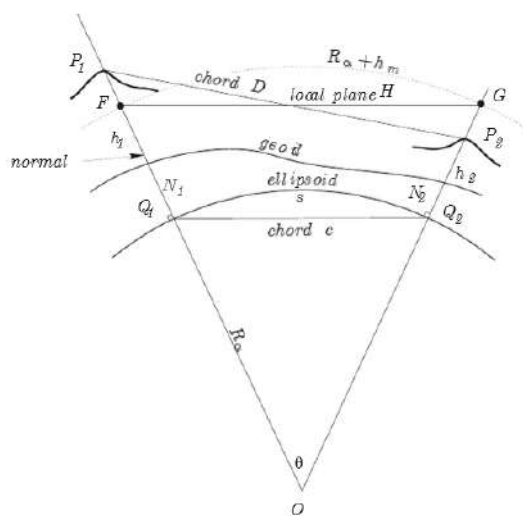
EPSG-Codes: 326xx, wobei xx die Nummer der Zone ist. Beispiel Zone34 = EPSG :32634

## Entfernungsverzerrung in UTM

Keine Darstellung kann alle Längen auf dem gesamten dargestellten Gebiet beibehalten: die Kugel (oder das Ellipsoid) kann nicht "abgeflacht" werden, ohne dass es zu Verformungen kommt; jede Länge erfährt eine Veränderung, die von ihrer Position auf der Erde abhängt.

### Schritt 1: Reduktion auf Ellipsoid: Höhenkorrekturfaktor

Da alle Koordinatensysteme vom Ellipsoid ausgehen, müssen zunächst die Geländemessungen auf das Ellipsoid projiziert werden.



Gemessener Abstand zwischen P1 und P2 = D

Vertikaler Winkel zwischen P1 und P2 = V

Ellipsoidische Höhe der lokalen Ebene P1P2 = h  
(Durchschnitt  $h_1$   $h_2$ , siehe "Höhenmessung" unten für die Definition der ellipsoidischen Höhe)

Lokaler Kugelradius  $R_n$  (in Frankreich  $R_n=6380\text{km}$ )

Abgeflacht in der lokalen Ebene:  $H = D \cdot \sin V$

Erhöhungskorrekturfaktor  $EF = R_n / (R_n + h)$

Reduziert auf das Ellipsoid:  $c = D \cdot R_n / (R_n + h)$

Abbildung 4-14 Abstandsprojektion vom Feld zum Ellipsoid

Für die Topographie wird normalerweise der Sehnenabstand mit dem Bogenabstand gleichgesetzt (theoretisch muss der Bogenabstand verwendet werden...).

Beispiel: In Nîmes, Frankreich, beträgt die ellipsoidische Höhe etwa 95 m, so dass die Entfernungen wie folgt geändert werden

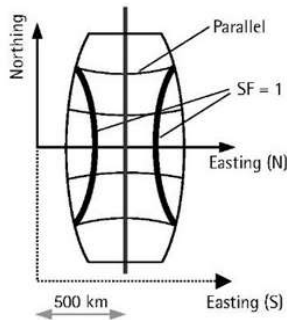
$$6380000 / (6380000 + 95) = 0,999985$$

150m auf dem Boden wird 149,9978 m ein Verlust von 2,2 mm

Diese Projektion auf das Ellipsoid ist für ALLE Systeme obligatorisch vor allen anderen Projektionen.

## Schritt 2: Anwendung des Skalierungsfaktors der UTM-Projektion

Die relative Veränderung der Längen in der Darstellung wird als Entfernungsverzerrung bezeichnet, wobei ein Skalierungsfaktor für die Entfernungen zwischen der Projektion auf das Ellipsoid und der Projektion auf den UTM-Streifen angewendet werden muss.



Hier zeigt der SF=1 die Standardmeridiane:  
Keine Verzerrung entlang dieser Linien

Abbildung 4-15 Maßstabsfaktor=1 entlang der Standardmeridiane (what-when-how.com)

Bei konformen Projektionen wie UTM ist die Entfernungsverzerrung unabhängig von der Richtung.

In UTM wird ein Skalierungsfaktor angewendet: Die Formel zur Berechnung des Skalierungsfaktors für einen beliebigen geografischen Koordinatenpunkt  $(\lambda, \varphi)$  auf der geografischen Breite im Verhältnis zur Länge des Zentralmeridians  $\lambda_0$  lautet:

$$k \approx 0,9996 \left( 1 + \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2} \cos^2(\varphi)(1 + \varepsilon^2) + \frac{(\lambda - \lambda_0)^4}{24} \cos^4(\varphi)(5 - 4 \cdot \tan^2(\varphi)) \right)$$

Mit  $\varepsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \cos^2(\varphi)$  (Erinnerung WGS84  $a = 6\,378\,137$  m und  $b = 6\,356\,752$  m)

Auf dem Zentralmeridian,  $\lambda = \lambda_0$   $k = 0,9996 = -40$  cm/km wird jede Entfernung zwischen zwei Punkten entlang des Meridians (oder in unmittelbarer Nähe) mit 0,9996 multipliziert (oder um 40 cm pro km verringert)

Beispiel: 150 m auf dem Ellipsoid sind  
 $150 \times 0,9996 = 149,94$  m auf dem UTM-Plan (oder  $150 - 0,40 \times 0,150$ ),

Sie ist bis zu 6 cm kürzer!

An den Rändern der UTM-Zone entlang des Grenzmeridians beträgt der Maßstabsfaktor  $k = 1,00097 = +97$  cm/km

Beispiel für 150 m auf dem Ellipsoid sind  
 $150 \times 1,00097 = 150,146$  m auf dem UTM-Plan  
(oder  $150 + 0,97 \times 0,150$ ), ist sie 14,6 cm länger!

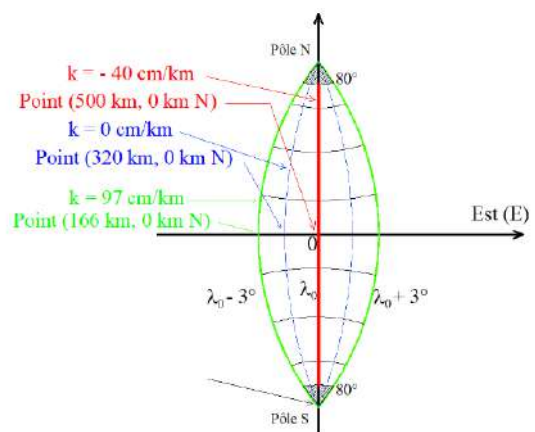


Abbildung 4-16 Bemerkenswerte Skalierungsfaktoren in UTM

In UTM nimmt der lineare Modul der Projektion bei konstanter Breite zu, wenn man sich vom zentralen Meridian entfernt, erreicht 1 und wird dann größer als 1. Entlang eines Meridians nimmt der lineare Modul mit zunehmender Breite ab.

**Globale Entfernungsverzerrung: Ellipsoidverkleinerung + Projektionsverzerrung**

## 4.5 Lambert's conical projection: in Frankreich, Belgien, Texas...

### Lambert-Projektion auf einen Kegel

Die Lambert-Projektion ist eine direkte Kegelsekantenprojektion: Die Projektion erfolgt auf einen Kegel, der das Ellipsoid entlang zweier Parallelen schneidet.

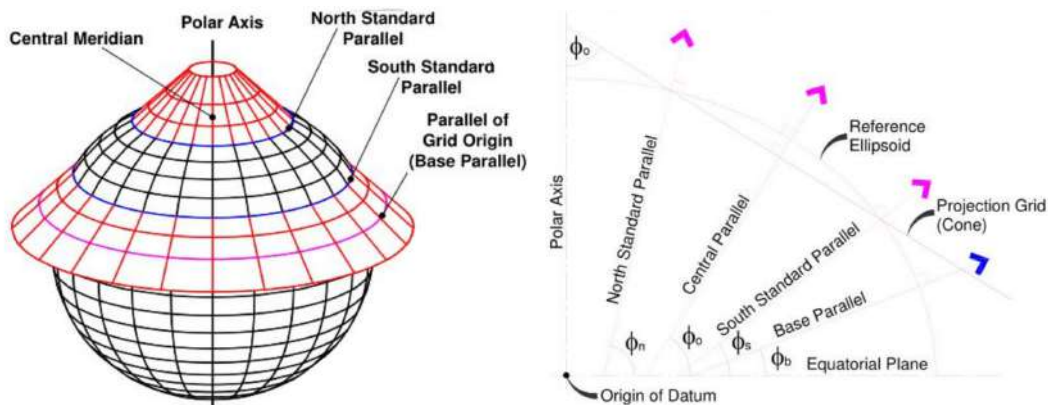


Abbildung 4-17 Lambert'sche Sekantenprojektion (researchgate.com)

Konforme Projektion: Bei Beibehaltung der Winkel, auf dem Gelände gemessene Winkel sind auf der Lambert-Karte identisch. Verzerrung der Entfernung.

Auf der Karte wird die Tangente mit den Kegelparallelen (= Standardparallele) durch einen Kreisbogen dargestellt.

Die Parallelen haben als Bild konzentrische Kreise. Der unregelmäßige Abstand der Parallelen gewährleistet die Übereinstimmung der Darstellung.

Der ursprüngliche Meridian ist auf der Karte abgebildet: die Nordachse (N).

Die Meridiane haben als Bild gerade Linien, die sich am Bild des Nordpols P schneiden. Sie stehen daher senkrecht zu den konzentrischen Kreisen, und auf Karten ist eine Meridiankonvergenz zu beobachten.

Referenzellipsoid : IAG GRS 80 (=WGS84)

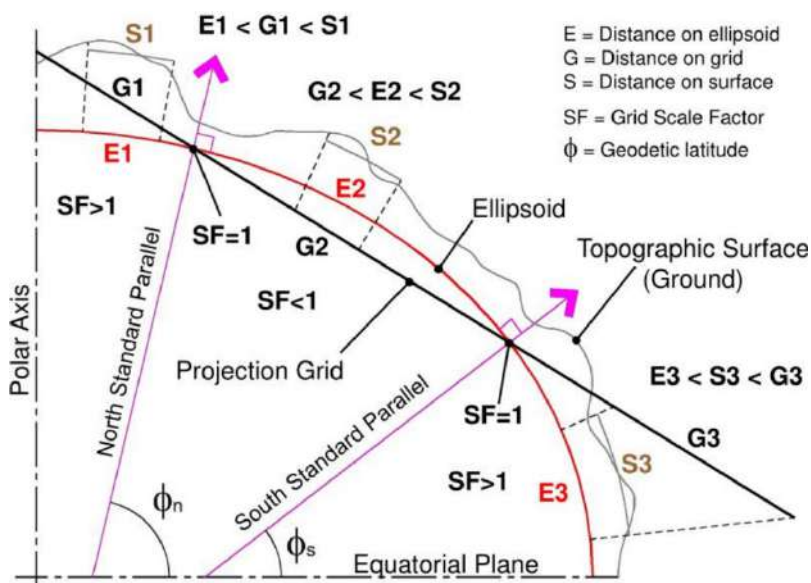
## Entfernungsverzerrung in der Lambert-Projektion

Um die linearen Veränderungen zu verringern, schneidet der Kegel das Ellipsoid zweimal: direkte Sekante und konforme konische Projektion. Entlang der Sekantenparallelen (Kontakt Kegel/Ellipsoid) gibt es keine Abstandsverzerrung ( $k=1$ ).

Um Entfernungsverzerrungen zu verringern, verwendet Frankreich beispielsweise 2 Lambert-Systeme:

- Der GRF93-Lambert 93, der das gesamte Gebiet abdeckt und große Entfernungsverzerrungen aufweist
- Die RGF93-9 Zonen, in denen das Gebiet in 9 Zonen unterteilt ist, oder so viele Lambert-Projektionen mit unterschiedlichen Werten und weniger Entfernungsverzerrung. Jede Zone hat ihren eigenen Kegel.

die vor Ort gemessenen Abstände sind  $S_1, S_2, S_3$



Schritt 1: Projektion auf Ellipsoid auf  $E_1, E_2, E_3$

Schritt 2: Projektion auf den Kegel ergibt  $G_1, G_2, G_3$ ; die Abstände zwischen den Koordinaten in Lambert und der Zeichnung auf dem Plan oder der Karte.

Auf den beiden Standardparallelen gibt es keine Verzerrung durch Lambert, aber es gibt eine Verzerrung durch "Schritt 1", die Ellipsoidverkleinerung.

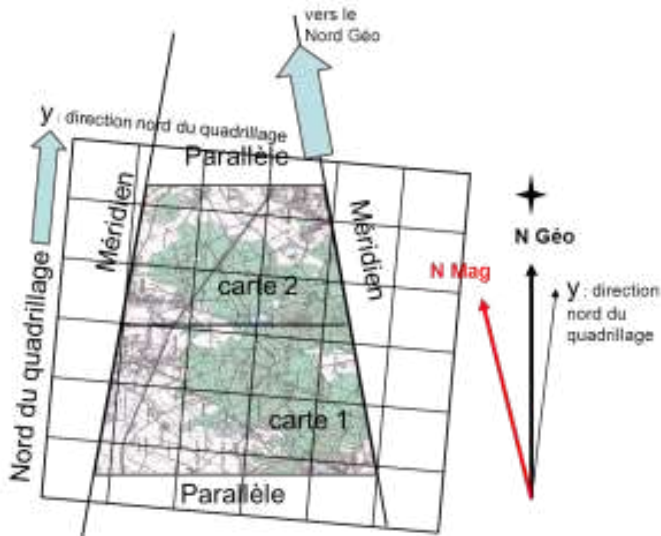
Abbildung 4-18 unterschiedliche Skalierungsfaktoren je nach Position zu den Standardparallelen (Bryan W. Bunch)

Nördlich des nördlichen Breitenkreises und südlich des südlichen Breitenkreises ist die Verzerrung positiv, oder  $k > 1$ , die Entfernungen sind auf der Karte größer als im Gelände.

Zwischen dem südlichen und dem nördlichen Standardparallel ist die Verzerrung positiv, oder  $k < 1$ , die Lambert-Ebene liegt "innerhalb" des Ellipsoids, die Entfernungen auf der Karte sind kleiner als im Gelände.



## Konvergenz der Meridiane in der Lambert-Darstellung



Bei den meisten Projektionen gibt der Norden der Karte nicht die Richtung des geografischen Nordpols an. Wir sprechen dann von der Konvergenz der Meridiane "c", die an einem Punkt die Peilung ( $c > 0$  oder  $c < 0$ ) des Bildes des Meridians (zum Zeitpunkt der Projektion) ist, der durch diesen Punkt verläuft.

In der Lambert-Projektion variiert die Konvergenz "c" eines Meridians an einem Punkt A je nach der Länge  $\lambda$  dieses Punktes (in Bezug auf den

ursprünglichen Meridian von  $\lambda_{\text{orig}} = \lambda_0$ ), ist aber für alle Meridiane konstant.

Abbildung 4-19 Konvergenz der Meridiane in Lambert (IGN)

Punkte, die zu demselben Meridian gehören (d. h. für  $\lambda = \text{cte}$  und  $\forall \varphi$ ):

- Anmerkung:
- Konvergenz "c" ist östlich des Nullmeridians negativ.
  - die Konvergenz "c" ist westlich des Nullmeridians positiv.

Wenn die Karte auf dem Nullmeridian zentriert ist, dann ist der Norden der Karte natürlich der wahre Norden.

## Geodätisches System RGF93, Projektion Lambert 93. Code EPSG:2154

Die sogenannte Lambert-93-Projektion, die mit dem geodätischen System RGF 93 verbunden ist, ist seit dem Jahr 2000 die offizielle Projektion für das französische Mutterland und Korsika, die mit WGS 84 (GNSS) und dem europäischen System ETRS89 kompatibel ist.

Das Referenzellipsoid der Lambert-93-Projektion ist das IAG GRS 80-Ellipsoid (=WGS84) und der Nullmeridian ist der Meridian 3° östlich des Meridians von Greenwich.

Die Projektion Lambert 93 deckt ganz Frankreich und Korsika ab, sie ist in zwei Parallelen sekundär.

Um Punkte zu lokalisieren und Pläne oder Karten zu zeichnen, haben wir auf dem abgeflachten Kegel einen orthonormalen Bezugspunkt in Metern gesetzt, dessen Ursprungspunkt die Koordinaten hat

EO Lambert 93 = 700 km, NO Lambert 93 = 6 600 km

Die wichtigsten Merkmale der Lambert-93-Projektion sind:

- **Nordachse oder Nullmeridian:**  $\lambda_0 = 3^\circ \text{ Ost / Greenwich}$
- **Koordinaten des Ursprungs:**  $E_0 = 700 \text{ km}$  und  $N_0 = 6\,600 \text{ km}$
- **Parallele:**  $\varphi_0 = 46^\circ 30' \text{ N (Tangente zur Ostachse in } E_0, N_0)$
- Breitengrad der Standardparallelen:  $\varphi_1 = 44^\circ \text{ N}$  und  $\varphi_2 = 49^\circ \text{ N}$ 
  - Zentrale Abstandsverzerrung:  $k = 0,999\,051\,03 = -94,9 \text{ cm/km}$
- Code: EPSG:2154 oder EPSG 5698 (mit IGN69-Altmetergitter)

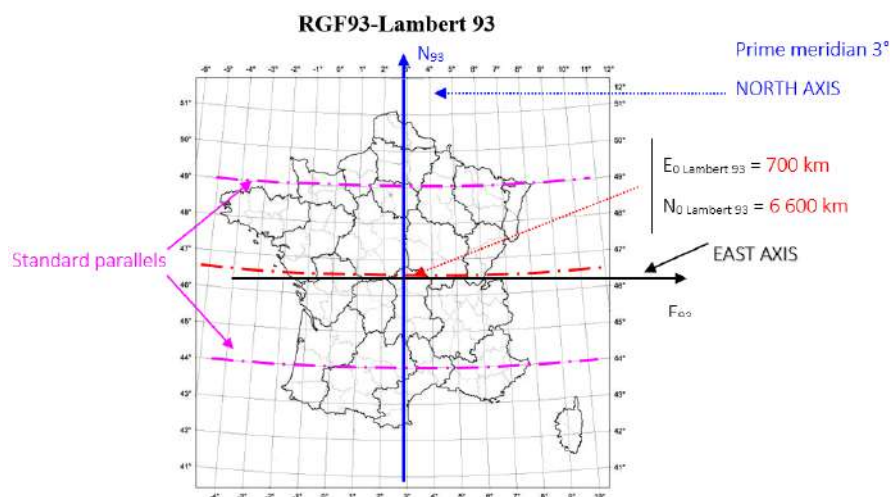


Abbildung 4-20 Achse des Projektionssystems RGF93-Lambert93

Um einen Punkt in Lambert93 leicht zu erkennen, lauten seine Koordinaten Osten zwischen 100 km und 1200 km ; Norden zwischen 6000 km und 7100 km Keine Verwechslung mit den Koordinaten der RGF93-9-Zonen (siehe unten).

## Abstandsverzerrung in Lambert 93

Die nachstehende Karte gibt den Wert der Verzerrung in Abhängigkeit von der geografischen Breite an; bei der geografischen Länge gibt es keine Abweichung, im Gegensatz zu UTM ist Lambert für Vermessungsingenieure angenehm.

Wir können sehen, dass die Veränderung im Norden bis zu 2 m beträgt, die auf der Karte zu den Feldmessungen pro Kilometer hinzugefügt werden müssen, um den Plan zu zeichnen!

In der Mitte kann es bis zu fast 1m gehen, um aus den Feldmessungen pro gemessenem Kilometer die Karte zu zeichnen.

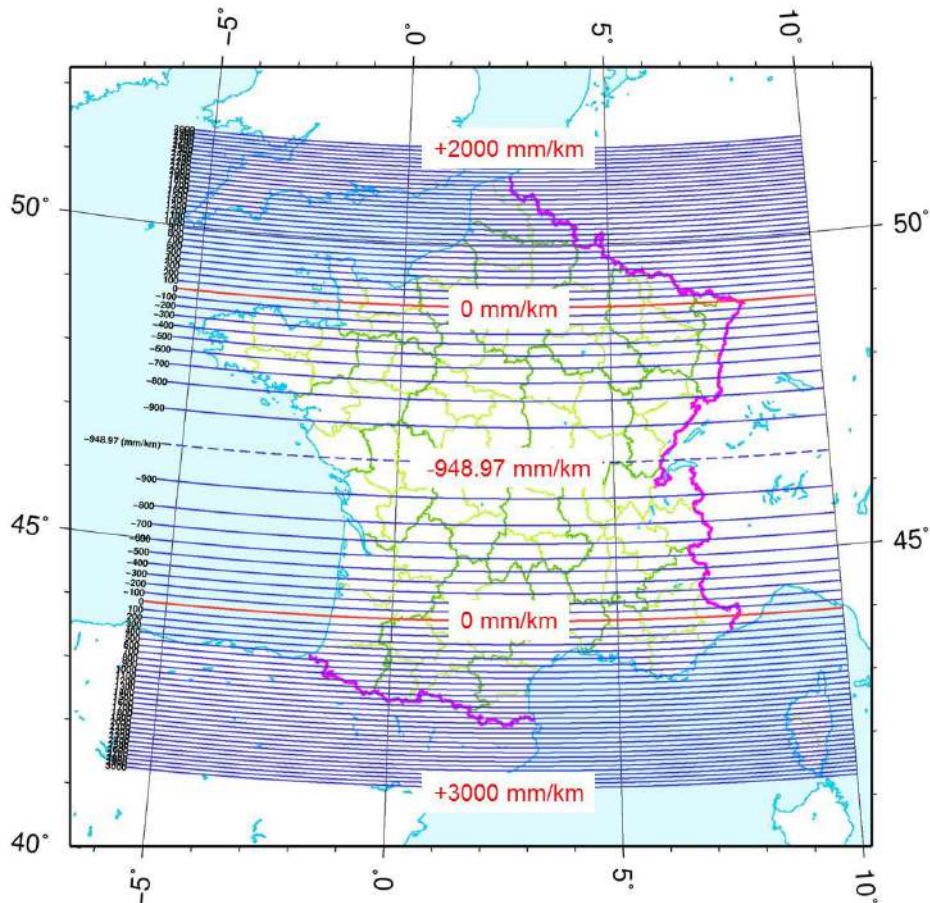


Abbildung 4-21 Entfernungsverzerrung in Lambert 93 (IGN)

Berechnung des L93-Skalenfaktors anhand des Abstands zum mittleren Breitengrad (46,500°)

Auf der mittleren Parallele:  $k = 949 \text{ mm/km}$

Auf jedem anderen Breitengrad, dessen Abstand vom mittleren Breitengrad (46,500°) "d" in km beträgt

erhält man  $k \approx 1 + \frac{d^2}{2R_n} - 94,9 \cdot 10^{-5}$

Mit  $R_n = 6380 \text{ km}$  lokaler Kugelradius in Frankreich

Beispiel für Dunkerque, 500 km nördlich des 46,500°.

$$k \approx 1 + \frac{d^2}{2R_n^2} - 94,9 \text{ cm/km} = 1 + \frac{500^2}{2 \times 6380^2} - 94,9 \cdot 10^{-5} = 1,002121 = 212 \text{ cm/km}$$

Punkt auf dem Breitengrad von	Koordinate N en Lambert 93 (en km)	Abstandsverzerrung k
Dunkerque	$N = 7100 = N_0 + 500$	$k = 1,002121 = +212 \text{ cm/km}$
Meaux	$N = 6878 = N_0 + 278$	$k = 0 \text{ Auto} \varphi = \varphi_0 + 2,78 \text{ gon} = \varphi_2$
Poitiers	$N = 6600 = N_0$	$k = 0,999051 = -94,9 \text{ cm/km}$
Bonifacio	$N = 6000 = N_0 - 600$	$k = 1,00347 = +347 \text{ cm/km}$

Die nachstehende Grafik kann auch verwendet werden, um die Entfernungsverzerrung k eines Ortes zu bestimmen, wenn sein Breitengrad bekannt ist  $\varphi$ .

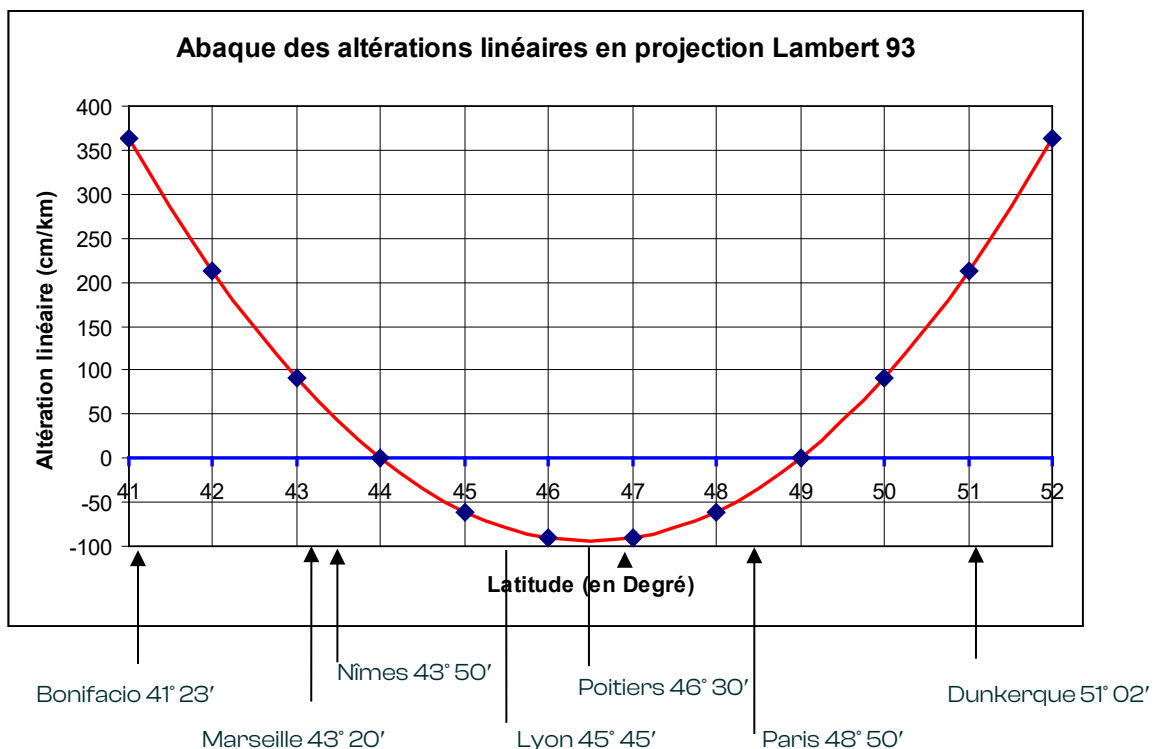


Abbildung 4-22 Entfernungsverzerrung in Lambert 93 (IGN)



In Frankreich verwenden die offiziellen IGN-Karten nur das System RGF93-Lambert 93, es ist obligatorisch.

Beispiel einer Entfernungsänderung LAMBERT 93 für das Gebiet "Bourg-en-Bresse bis Troyes".

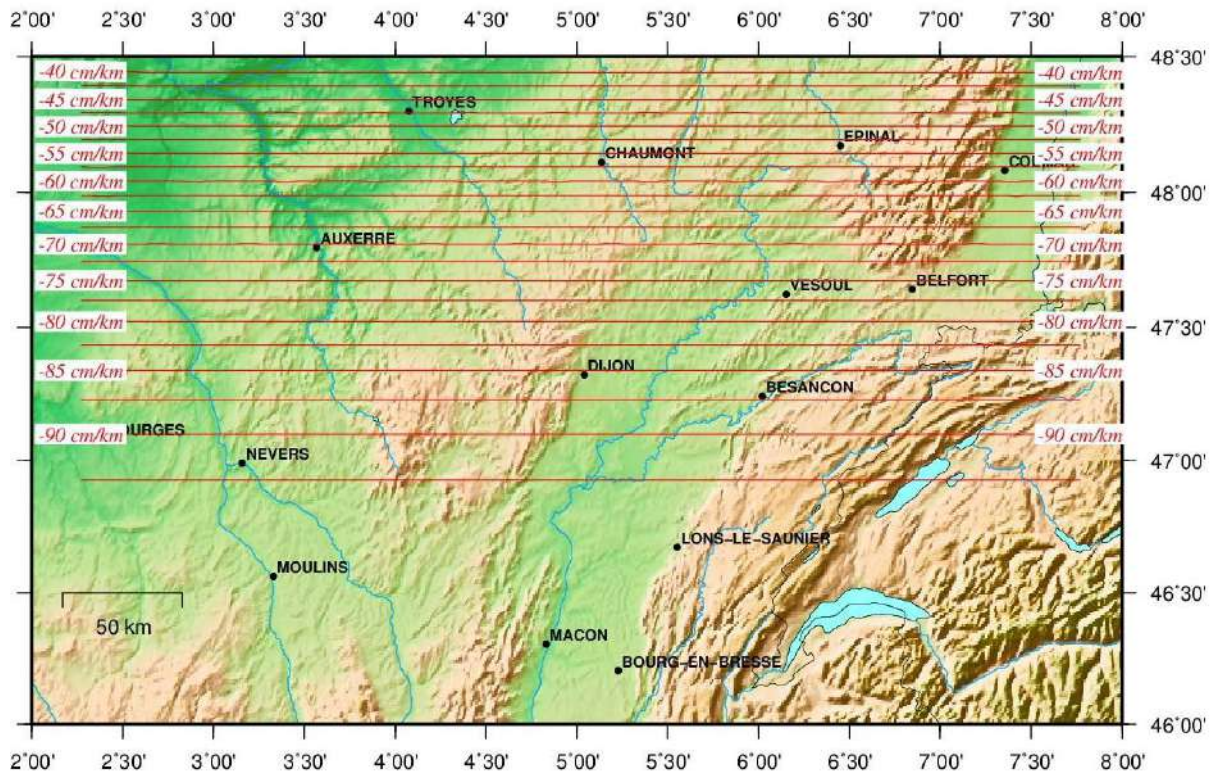


Abbildung 4-23 Nahaufnahme um Dijon für die Entfernungsverzerrung in Lambert93 (IGN)

### Konische konforme 9-Zonen-Projektion Codes EPSG:3942 (Zone 1/CC42) à EPSG:3949 (Zone 8/CC49)

Um die geringe Verwendung der Lambert-93-Projektion durch professionelle Vermessungsingenieure auszugleichen, die größtenteils auf eine als zu stark empfundene Entfernungsverzerrung zurückzuführen ist, wurde 2006 beschlossen, neben der einzigen Lambert-93-Projektion neun weitere Projektionen zu erstellen.

Die lineare Veränderung in jedem dieser 9 Gebiete beträgt stets weniger als 10 cm/km.

Das ist weniger als 1 cm, wenn man von den Feldmessungen in der Größenordnung von maximal 100 m ausgeht, auf die wir normalerweise treffen.

- Die wichtigsten Merkmale der Neun-Zonen-Projektionen sind:
- Bei diesen 9 Projektionen handelt es sich um Lambertsche konforme Sekantenprojektionen mit der Bezeichnung CCxx (wobei xx der Breitengrad des ursprünglichen Breitengrades ist).

- Jede der 9 Zonen erstreckt sich über 2 Breitengrade und hat als zentralen Breitenkreis einen Breitenkreis, dessen Breite eine ganzzahlige Zahl von Graden ist.
- Das erfasste "Band" ist etwa 222 km breit (+111 nördlich des mittleren Breitengrades, -111 km südlich)
- Die 9 Zonen decken das gesamte Staatsgebiet ab, wobei sich die Zonen zu 50 % überschneiden (jedes Departement kann also einer einzigen Projektion zugeordnet werden).

### PROJECTIONS CONIQUES CONFORMES 9 ZONES (DEPARTEMENT)

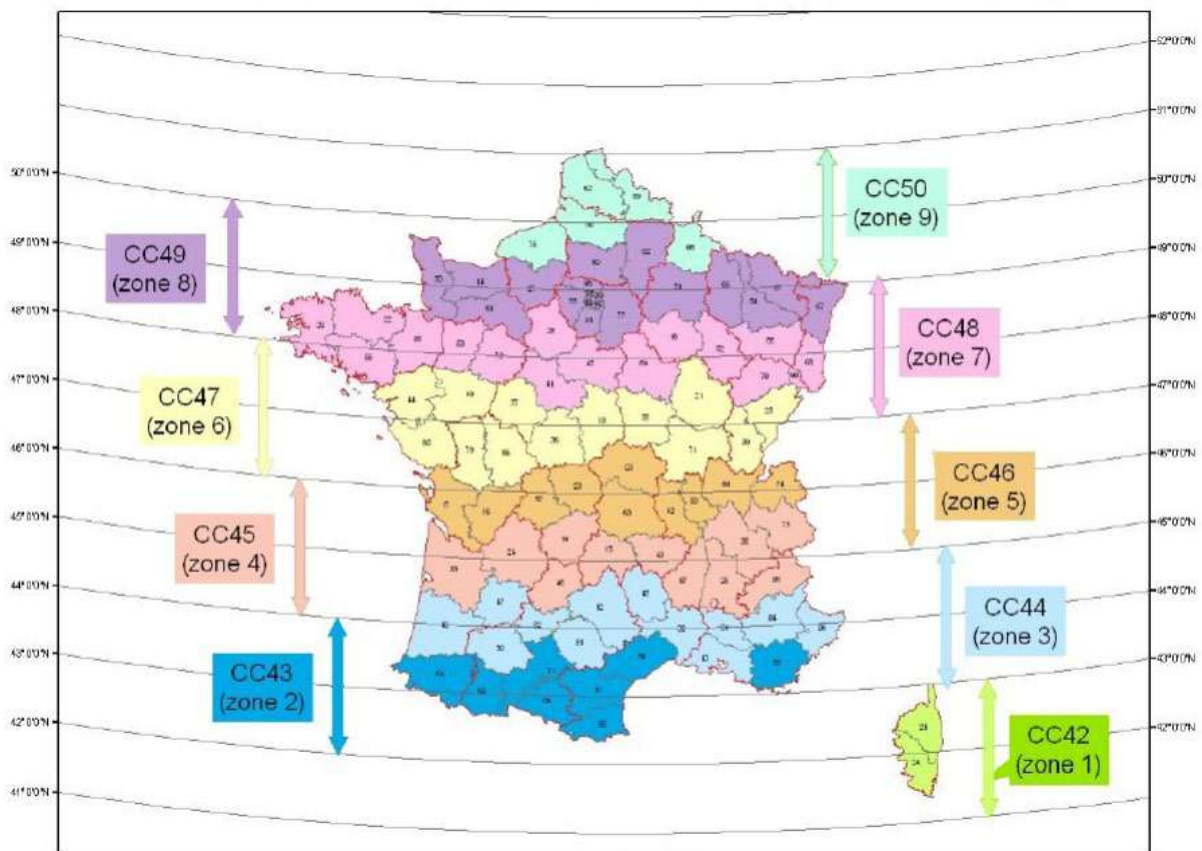


Abbildung 4-24 die 9 Zonen von RGF93-CC 9 Zonen Projektionen (IGN)

Zum Beispiel bezeichnet **CC43** die konforme Kegelpjektion des mittleren Breitengrades bei 43° Nord, mit einem Bereich, der sich vom Breitengrad 42° im Süden bis zum Breitengrad 44° im Norden erstreckt.

Die Merkmale der Neun Zonen (NZ ist die Zonennummer) lassen sich daher wie folgt zusammenfassen

Zonennummer) wie folgt:

- Zentraler Meridian :  $\lambda_0 = 3^\circ$  Ost Greenwich,
- Breitengrad des mittleren Breitengrades:  $\varphi_0 = (41 + NZ)^\circ$  N,
- Breitengrad der Standardparallelen:  $\varphi_1 = \varphi_0 - 0,75^\circ$  N und  $\varphi_2 = \varphi_0 + 0,75^\circ$  N,
- Gültigkeitsbereich:  $\varphi_0 \pm 1^\circ = \varphi_0 \pm 111$  km,
- Koordinaten des Ursprungspunkts:  $E_0 = 1700$  km und  $N_0 = (NZ \times 1000 \text{ km}) + 200$  km.

Exemple:

Projektion **CC44** (wo Nîmes liegt) :

- Zonennummer:  $NZ = 3$
- Breitengrad des mittleren Breitengrades :  $\varphi_0 = (41 + 3)^\circ = 44^\circ$  N,
- Breitengrad der Standardparallelen:  $\varphi_1 = 44 - 0,75^\circ = 43,25^\circ$  N ;  $\varphi_2 = 44 + 0,75^\circ = 44,75^\circ$  N
- Gültigkeitsbereich:  $43^\circ$  N à  $45^\circ$  N,
- Ausgangspunkt :  $E_0 = 1700$  km ;  $N_0 = 3 \times 1000 \text{ km} + 200 \text{ km} = 3200$  km.

Die Koordinaten eines Punktes im Gebiet CC44 sind daher vom folgenden Typ, in Metern:  
( $E_{CC44}$  1200 000 bis 2 300 000m ,  $N_{CC44}$  3100 00 bis 3 300 000m)



## Entfernungsverzerrung in Lambert 9 Zonen

Die Entfernungsverzerrung jeder Zone beträgt weniger als 10 cm pro km, was etwa 2 Mal weniger ist als die durch die alte Lambert-Zone verursachten Veränderungen und 30 Mal weniger im Extremfall von Lambert 93.

Die lineare Veränderung liegt zwischen den Werten:  $-9 \text{ cm/km} < k < +7 \text{ cm/km}$

Die 9-Zonen-Projektionen sind für Arbeiten an Karten und Papierplänen interessant, bei denen eine hohe Genauigkeit erwünscht ist; für Pläne mit einer Genauigkeit unterhalb der Entfernungsverzerrung ist ihre Verwendung nicht gerechtfertigt.

Beispiel einer linearen Veränderung in LAMBERT 93 CC47 für das gleiche Gebiet wie in Lambert 93 "Bourg-en-Bresse bis Troyes

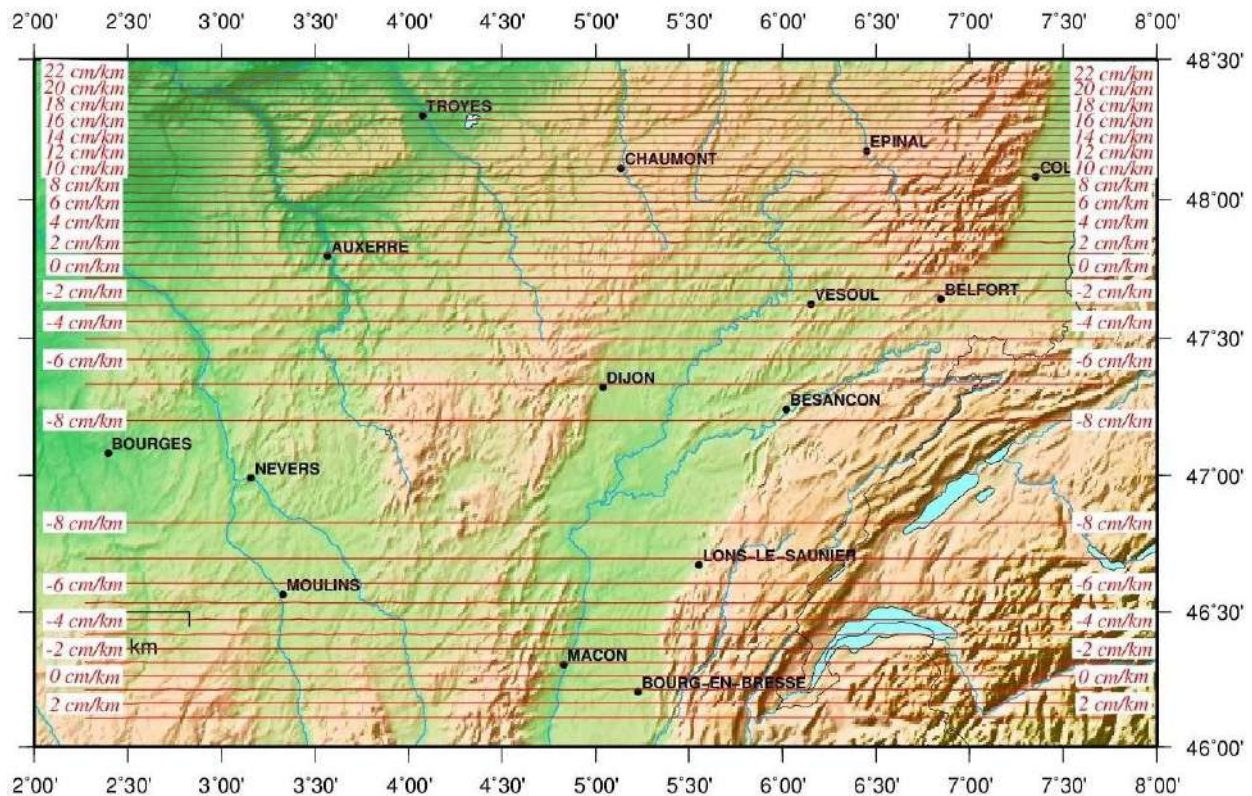


Abbildung 4-25 Nahaufnahme der Entfernungsverzerrung um Dijon in der Projektion RGF93-CC47 (IGN)

## 4.6 Geodätische Bezugspunkte

In dem Gebiet gibt es verschiedene Formen von Bezugspunkten, die auf der Website zu finden sind

<https://geodesie.ign.fr/fiches/index.php?module=e&action=visugeod>

Auf einige von ihnen kann man einen Prismenstab, ein Stativ oder eine Waage stellen, um beispielsweise ein Instrument zu überprüfen.



Abbildung 4-26 Geodätischer Referenzpunkt aus Beton und Bronze in Frankreich (IGN)

# 5. Höhenmessungen: der geoid

In allen Ländern werden die Höhen über dem mittleren Meeresspiegel des Landes gemessen.

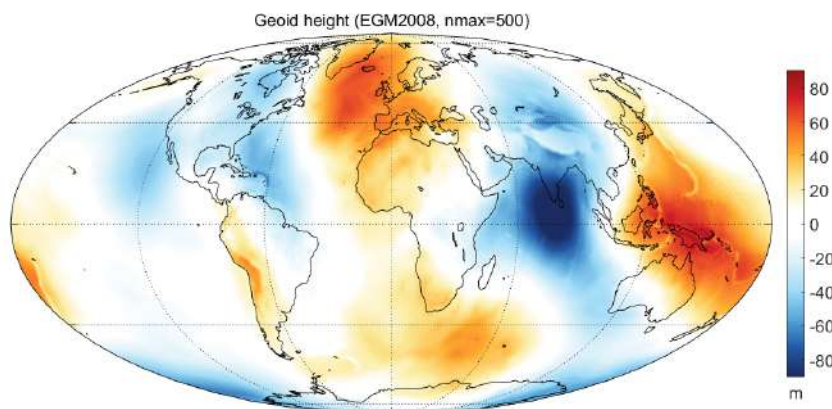
Das Ellipsoid ist NICHT der mittlere Meeresspiegel (MSL), da dieser von der Schwerkraft abhängt; wir benötigen eine andere Referenz für den MSL: das Geoid.

## 5.1 Das terrestrische Geoid: Unterschied zum Ellipsoid

Das Geoid ist das MSL, das sich unter den Kontinenten durch ein Äquipotential der Schwerkraft ausdehnt und es ermöglicht, überall eine Höhe zu bestimmen. Es unterscheidet sich vom Ellipsoid, das nur zur Positionierung verwendet wird. Das Geoid liegt über oder unter dem Ellipsoid, bis zu 100m!

Das Geoid hat KEINE Gleichung, um es zu bestimmen, es ist nur das Ergebnis von Hunderten von Messungen und Beobachtungen, die kontinuierlich durchgeführt werden. (Das Ellipsoid ist leicht zu berechnen, hat eine mathematische Gleichung).

Unten das Weltgeoid EGM 2008 und sein Detail in Europa und Frankreich (Earth Gravitational Model 2008)



Weltgeoid EGM 2008 (2020 kommend), Position im Vergleich zum Ellipsoid WGS 84.

Der Höhenunterschied zwischen dem Geoid und dem Ellipsoid schwankt zwischen -107 m (Indien) und +86 m (Papua-Neuguinea).

Abbildung 5-1 Höhen des Weltgeoids im Vergleich zum Ellipsoid WGS84 (Ales Bezdeco)

In Europa liegt das Geoid zwischen +10m und +60m über dem Ellipsoid

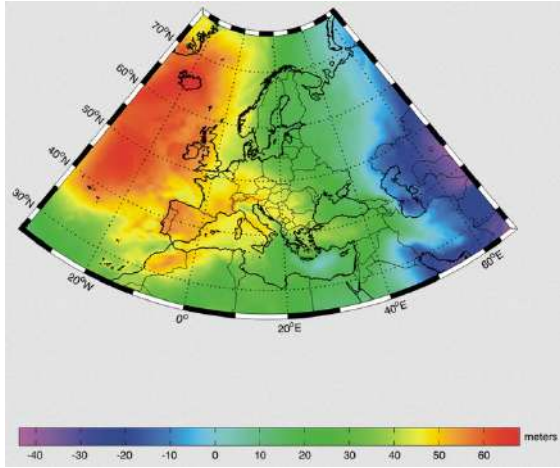


Abbildung 5-2 Das Geoid Europas (H. Denker, W. Torge)

Frankreich RAF18 Geoid

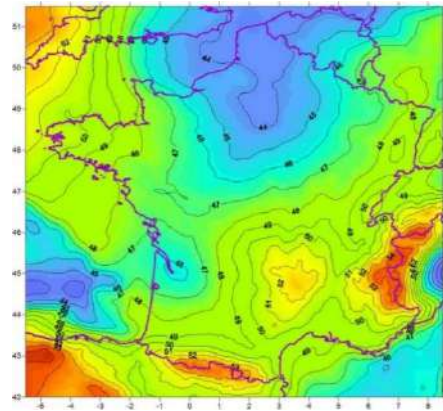


Abbildung 5-3 Französisches Geoid (IGN)



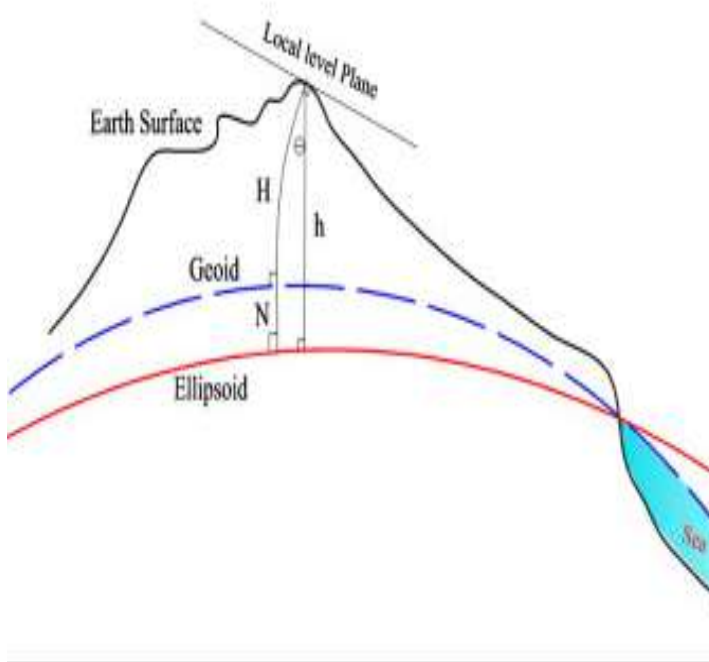
## 5.2 Das Geoid: Bestimmung der Höhenlage eines Punktes

***Wenn wir die Höhen in Bezug auf das Ellipsoid messen, machen wir einen Fehler von mehreren Dutzend Metern!***

Die Höhe eines Punktes ist der Abstand zwischen diesem Punkt und der Nullebene (Geoid) entlang der physikalischen Vertikalen durch diesen Punkt.

Das Geoid eines jeden Landes verläuft durch seinen Höhenbezugspunkt "Null", den mittleren Meeresspiegel für das gesamte Land.

Je nachdem, welche Referenz wir nehmen, können wir die Höhe entweder in Bezug auf das Ellipsoid oder auf das Geoid messen. Nur der Geoidbezug ist die "wahre" Höhe.



$h$  = ellipsoidische Höhe, (vom GPS gemessen) senkrecht zum Ellipsoid

**$H$  = normale Höhe oder orthometrische Höhe (die der topografischen Pläne und Karten), die der lokalen Vertikalen der Schwerkraft folgt, die durch die Geologie des Bodens gestört wird und senkrecht zum Geoid und seinem Äquipotential steht. Dies ist die "wahre Höhe" oder gesetzliche Höhe.**

$N$  = Geoid-Welligkeit (Geoid-Ellipsoid-Abstand, angegeben im EGM2008- oder RAF 18-Gitter) senkrecht zum Ellipsoid am Projektionspunkt des Endpunkts entlang der Schwerkraftbahn (siehe unten)

Abbildung 5-4 Höhenmessungen (USGS)

Die normale Höhe wird auch als "gesetzliche Höhe" bezeichnet, um sie zu erhalten:

$$H = h - N$$

## 5.3 Gesetzliches Altimetriesystem

Jedes Land hat ein Rechtssystem, das sich auf das Geoid seines Landes bezieht, das durch einen Referenzpunkt verläuft, an dem sich ein Gezeitenpegel befindet, der den Nullpunkt für das Land definiert. (für Länder am Meer... für Länder ohne Meeresküste verweisen sie auf einen Punkt eines anderen Landes am Meer),

In Frankreich ist es das System NGF IGN 69. NGF = allgemeines Nivellement von Frankreich, der grundlegende Punkt befindet sich in Marseille, am Marégraphe (Gezeitenpegel). Die normale Höhe: vom IGN (Französisches Geographisches Institut) seit 1969 definierte Höhe mit  $g$  = Wert des so genannten normalen Schwerefeldes, berechnet für eine theoretische ellipsoidische Erde.



Abbildung 5-5 Französische Nivellierungsbenchmark (IGN)

Geodätische Bezugspunkte oder "Nivellierungsbezugspunkte" sind über das ganze Land verteilt und können auf der Website <https://geodesie.ign.fr/fiches/index.php?module=e&action=visugeod> abgerufen werden.

Alle Benchmarks geben die Höhe in Bezug auf das Geoid an, mit einer Genauigkeit, die von ihrer Ordnung abhängt, es gibt 4 Ordnungen.

Die Benchmarks erster Ordnung, die daran zu erkennen sind, dass ihre Nummerierung nur aus 2 Buchstaben und einer Zahl besteht, sind am genauesten. U'M-39 in Lunel zum Beispiel ergibt 6,549 m (da die 26 Buchstaben nicht ausreichten, haben wir "prime" hinzugefügt). Die Benchmarks erster Ordnung sind mit einer Genauigkeit von 2 mm/km zueinander.<sup>1/2</sup>

Die Benchmarks 4. Ordnung sind mit einer Genauigkeit von 3,6 mm/km<sup>1/2</sup> zwischen ihnen.

# 6. Gnss- satellitennavigationssystem

## 6.1 Tatsächliche Systeme

Das GNSS (Global Navigation Satellite System) besteht aus 3 Elementen:

- Das Weltraumsegment, das sich aus Satelliten zusammensetzt, die in einer Entfernung von etwa 20 000 km von der Erde rotieren
- Das Kontrollsegment besteht aus Bodenstationen, die den Betrieb des Systems regeln
- Das Nutzersegment, das ein Empfänger ist, der seine Position berechnet

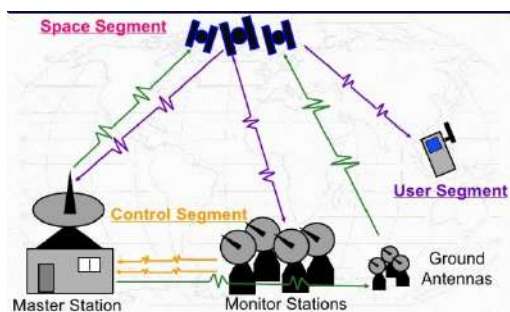


Abbildung 6-1 die 3 Segmente des GNSS (F. Burks)








Bis 2007 war nur das GPS (Global Positioning System), das vom US-Verteidigungsministerium entworfen, entwickelt und gewartet wurde, ein funktionsfähiges GNSS. Seitdem ist Glonass (UdSSR und dann Russland) hinzugekommen, gefolgt von zwei anderen Systemen: dem chinesischen Compass/Beidou und Galileo der Europäischen Union. Japan (QZSS) und Indien (IRNSS) sind die letzten.



Abbildung 6-2 die 6 verschiedenen GNSS (unbekannter Ursprung)



GNSS befindet sich in einer Umlaufbahn von rund 20 000 km und zählt rund 30 verfügbare Satelliten

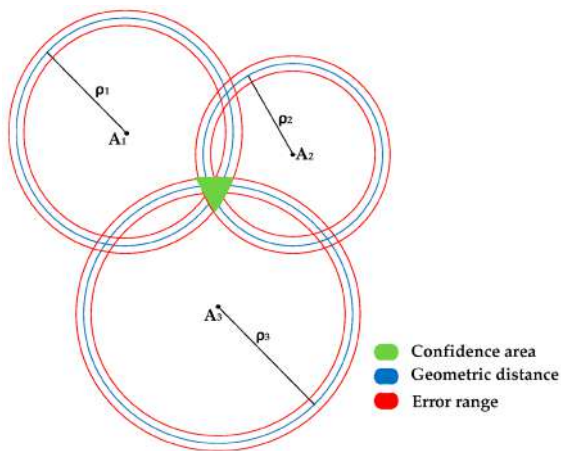
GNSS	GPS	GLONASS	GALILEO	COMPASS (Beidou2)
Country	 	 	 	
Satellites + Spare (Plan)	27 + 3 (1993)	21 + 3 (2012)	26 + 4 (201x)	30 + 5 GEO (2015)
Satellites in Constellation	31 (2009)	19 (2009) 24 (2012) 3Y	2 (2009) 4 (2011) 2Y 18 (2013) 4Y	2(2009) 12 (2011) 2Y 30 (2015) 6Y
Orbital height	20180 km	19100 km	23222 km	21500 km
Orbital period	11:58 h	11:15 h	14.05 h	12:35 h
System Control	Military	Military	Civil	Military
Timing Services	Yes	Yes	Yes	Yes
Clocks	Cs, Rb	Cs	PHM, Rb	Rb
TimeScale	TAI-19	UTC-3 hours	TAI	
Time Offset transmission	GGTO GPS/Galileo Time Offset		GGTO GPS/Galileo Time Offset	
Open service / 95%	100 ns	100 ns	30ns	50ns
Open service / 95%	28m		35m	50m

*Tabelle 1 GNSS-Eigenschaften*

## 6.2 Berechnung der Position

### 3D-Multilateration: Schnittpunkt von 3D-Kugeln

Die Funktionsweise von GNSS basiert auf der Messung der Laufzeit des von einem Satelliten ausgestrahlten Signals, bis es vom Nutzer empfangen wird. Durch Multiplikation dieser Zeit mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle erhält man die Entfernung zwischen dem Satelliten und der Antenne. Die Messung der Laufzeit des Signals von mehreren Satelliten ermöglicht durch sphärische Multilateration die Bestimmung der Position des Empfängers.



Wenn wir die Positionen  $A_1$ ,  $A_2$  und  $A_3$  (der Satelliten) kennen

Und wenn wir die Entfernung zwischen jedem  $A_i$  und dem Empfänger mit seiner Konfidenz kennen, dann befindet sich der Empfänger (der Benutzer mit seiner GNSS-Antenne) im zentralen Dreieck der Konfidenz, dem einzigen Ort, der die 3 Abstandsbedingungen erfüllt.

Abbildung 6-3 Multilateration in einem Plan (Topomaths)

Räumliche Multilateration: Es werden 4 Satelliten benötigt, um die Schnittpunkte von Kugeln und nicht von Kreisen zu bestimmen, aber auch um eine Synchronisation der Uhren zwischen Empfänger und Satelliten zu erreichen. →



Abbildung 6-4 Berechnung einer Position aus 4 Satelliten (genecors)

Die ermittelte Position kann aufgrund des Vertrauens in die Position der Satelliten und der Entfernungsmessungen nicht ein einziger Punkt sein: Es werden mehrere Berechnungen durchgeführt und ein Durchschnitt gebildet

### **Positionierung: ausschließlich auf dem Ellipsoid WGS84**

Das Referenz-Ellipsoid ist WGS84, GNSS kann sich nur auf diesem Ellipsoid positionieren.

**Längengrad, Breitengrad und ellipsoidische Höhe sind die einzigen Informationen, die der Empfänger liefert.**

Da wir weder die gesetzliche Höhe noch die Koordinaten im Rechtssystem des Landes (RGF93 in Frankreich) direkt haben, ist es notwendig, eine Software hinzuzufügen, die diese Werte mit Hilfe von Projektionsdaten und einem Höhenumrechnungsgitter berechnet.

## 6.3 Native metrische GNSS-Genauigkeit, GDOP-Konzept

### Sofortige Genauigkeit

Die Satelliten senden also elektromagnetische Wellen (Mikrowellen) zur Erde, die sich mit Lichtgeschwindigkeit (300.000 km/s im Vakuum) ausbreiten. Der Empfänger auf der Erde misst die Zeit, die die Welle braucht, um seine Antenne zu erreichen (Code Shift, etwa 70 ns). Er kann dann die Entfernung zwischen ihm und dem Satelliten abschätzen. Mit den Entfernungen zu mehreren Satelliten, deren Position bekannt ist, kann der Empfänger eine sphärische Multilateration berechnen und die Position der Antenne ermitteln.)

Die genaue Messung dieser Laufzeit ist von entscheidender Bedeutung, da ein Fehler von  $10^{-6}$  Sekunden einen Fehler von 300 m bei der Entfernung erzeugt...

Um eine Positioniergenauigkeit im Meterbereich zu erreichen, ist also eine Genauigkeit von 1 Nanosekunde ( $10^{-9}$ ) erforderlich!

Die Positionierungsfehler ergeben sich aus dem Vertrauen auf

- die Umlaufbahn der Satelliten (mit einer Genauigkeit von 5 bis 30 cm), die durch die im Empfänger kodierte "Ephemeride" ermittelt und durch das Signal des Satelliten und des Kontrollsegments auf der Erde aktualisiert wird
- die Synchronisierung der Uhren zwischen Empfänger und Satelliten (erfordert die Nanosekunde), die durch die Dekodierung des empfangenen Signals und der Atomuhren in den Satelliten erreicht wird
- die Ausbreitung des Signals in der Erdatmosphäre (Ionosphäre mit ihrer Temperatur, ihren magnetischen und elektromagnetischen Feldern, dann Troposphäre mit ihrer Feuchtigkeit, ihrem Druck, ihrer Temperatur und ihren Partikeln), die das Signal verzögert und verändert
- die parasitären Reflexionen und Masken in der Empfangsumgebung (hohe Gebäude, Baumbewuchs...), die das Signal verzögern und verändern
- die Eigenschaften der Empfangsantenne (variable Position des Empfangszentrums, Phasenzentrum, Qualität der Elektronik und Anzahl der empfangenen Frequenzen)

Sofortige Positionierung, höchste Präzision bei sehr guten Bedingungen:

- **10m mit einem Einfrequenz-Empfänger** (Handy, Auto-GPS, Wander-GPS ... einfache Drohne GNSS)
- **1m mit einem Dual-Frequenz-Empfänger** (professionelle Antenne, die 2 Wellen pro Satellit verarbeitet, einige Verbrauchergeräte tun es auch, selten und sehr teuer... hochklassige Drohnen)
- ... Galileo schlägt den Empfang von 4 Frequenzen vor, um mit einer zusätzlichen Software eine zentimetrische Genauigkeit zu erreichen, aber es erfordert eine sehr teure Vierfrequenzantenne...

Diese Genauigkeit verbessert sich, wenn man lange auf demselben Punkt verharret; GNSS bildet den Durchschnitt der Messungen.

### GDOP: Geometrische Verdünnung der Präzision

Dieser Parameter, der im Voraus in den Ephemeriden der GNSS-Konstellationen bekannt ist, charakterisiert die Positionierungsgenauigkeit durch die Genauigkeitsverdünnungsfaktoren, nDOP : Dilution Of Precision :

" n " die verschiedenen Möglichkeiten des DOP,  $\sigma_0$  die Messgenauigkeit

- n = V : vertikale Lösung : 
$$VDOP = \frac{\sigma_h}{\sigma_0}$$

- n = H : horizontale Lösung : 
$$HDOP = \frac{\sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_n^2}}{\sigma_0}$$

- n = P : Positionslösung : 
$$PDOP = \frac{\sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_n^2 + \sigma_h^2}}{\sigma_0}$$

- n = T : Zeitliche Lösung : 
$$TDOP = c \frac{\sigma_t}{\sigma_0}$$

$$GDOP = \frac{\sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_n^2 + \sigma_h^2 + c^2 \sigma_t^2}}{\sigma_0}$$

- **n = G : geometrische und zeitliche Lösung :**

Im Allgemeinen wird nur der GDOP überprüft, der die vollständigsten Daten enthält. Je größer der nDOP, desto ungenauer ist das Ergebnis: Bei einer Messgenauigkeit von 10 Metern und einem GDOP von 7 beträgt die erwartete theoretische Genauigkeit für eine sofortige Positionierung 70 m!

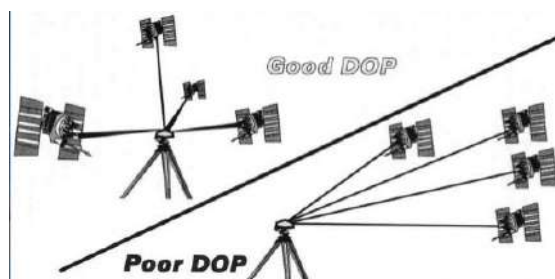
✓ **sehr gute DOP** < 3

✓ gut 4-5

☹ nicht zuversichtlich 6

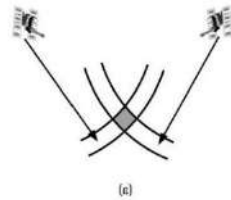
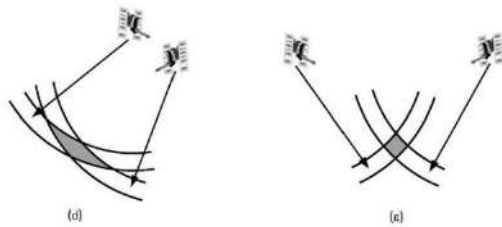
✗ zu vermeiden > 6

↓ Satelliten, die gut über den Messstandort verteilt sind, ergeben einen guten DOP (nDOP < 3)

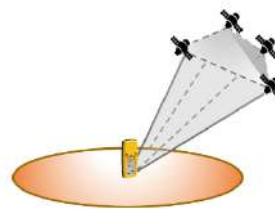


← schlecht verteilte Satelliten (oder Satelliten, von denen ein Teil verdeckt ist) ergeben einen schlechten DOP (nDOP > 5)

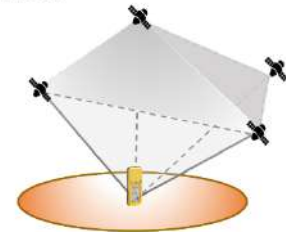
Abbildung 6-5 DOP in Abhängigkeit von der Satellitenposition (K. Ansari)



Satellite Geometry and Dilution of Precision (DOP)



(a) Satellites clustered together  
Satellite geometry enclosing less volume  
**BAD DOP (HIGH DOP VALUE)**



(b) Satellites far apart in the sky  
Satellite geometry enclosing more volume  
**GOOD DOP (LOW DOP VALUE)**

Abbildung 6-6 Entfernungsschnittpunkte mit ihrem Vertrauensbereich (marinegyaan.com)

Abbildung 6-7 Je näher die Satelliten beieinander sind, desto größer ist der Vertrauensbereich (Graticule)

## Veränderung während des Tages:

Für ein GNSS-System und einen Standort variiert die DOP im Laufe des Tages. Mit einer professionellen GNSS-Software kann man eine Grafik der GDOP-Schwankungen im Laufe des Tages erstellen.

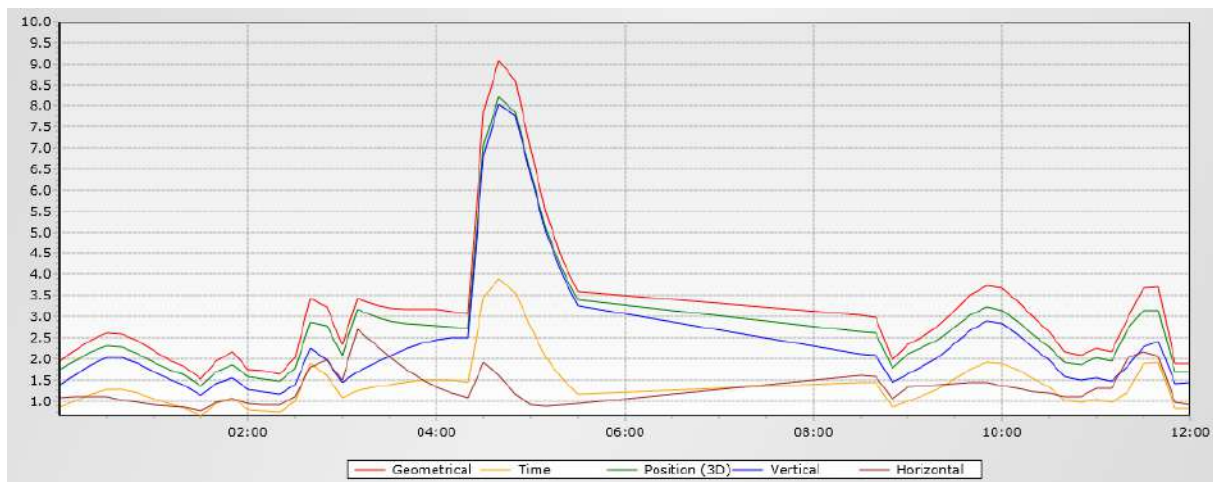


Abbildung 6-8 DOP-Schwankungen während 12 Stunden (Trimble)

Oben sehen wir, dass die besten Momente der Beobachtung zwischen 8:30 und 9:30 Uhr, dann 10:30 bis 11:15 Uhr und schließlich um 11:45 Uhr sind (wir können auch nachts arbeiten...). **WARNUNG:** der schöne Höhepunkt um 5:00 Uhr morgens ist die **SCHLECHTESTE ZEIT** (große DOP).

## Kp-Index

Dieser Index reicht von 0 bis 9 und misst die globale geomagnetische Aktivität. Er gibt an, in welchem Maße Sonneneruptionen die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen stören. Bis zu einem Wert von 3 ist die Aktivität nicht sehr störend; bei 4 ist sie signifikant; bei 5 und mehr können GNSS-Satellitensignale starken Schwankungen ausgesetzt sein, was die Genauigkeit der Positionsbestimmung erheblich beeinträchtigt.

Wetteranwendungen und Websites geben den Kp-Wert für die Flugzone an.

Wenn Präzision wichtig ist, sollten Sie mit einem Kp-Wert **< 4** fliegen.



## 6.4 Zentimetergenauigkeit im PPP-Messmodus

→ **PPP: Präzise Punktpositionierung:** Eine GNSS-Doppelfrequenzantenne wird mehrere Stunden oder sogar Tage lang nicht bewegt. Sie berechnet ihre Position Hunderte von Malen, und durch aufeinanderfolgende Mittelwerte erreicht die Genauigkeit den Zentimeterbereich.

Nicht anwendbar auf eine Drohnenumfrage: zu lang!

Aber geeignet für eine Basisstation im differentiellen Nachbearbeitungsmodus (siehe unten).

## 6.5 Mit einem Differenzialsystem erzielte zentimetrische Messgenauigkeit

### Methode: Verknüpfung von zwei GNSS-Antennen

Durch die Verbindung von zwei GNSS-Antennen, einer festen, deren Position genau bekannt ist (Basisstation), und einer, die Punkte am Boden misst (Rover-Station), können wir die Position der gemessenen Punkte auf den Zentimeter genau bestimmen.

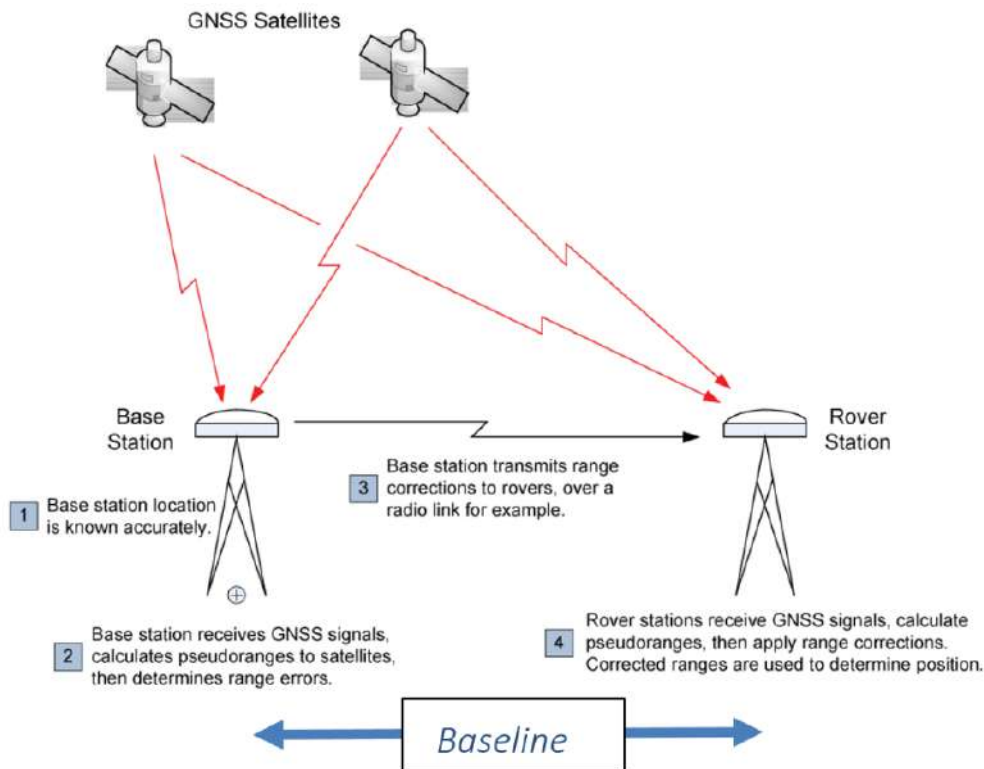


Abbildung 6-9 Differential-GNSS-Prinzip (Politecnico di Torino)

**Post-Processing Basis-Rover:** Nach dem Aufstellen einer festen Antenne im Feld, der "Base", die als Referenz dient, auf einem Stativ, die ihre Position statisch erfasst (ein PPP von 1 bis 2 Stunden), werden die Punkte mit einer anderen Antenne, dem "Rover", vermessen. Im Nachhinein wird im Büro eine Berechnung durchgeführt, um die Position der festen Antenne auf den Zentimeter genau zu bestimmen, und die Koordinaten der Punkte des Rovers werden dann ebenfalls auf den cm genau angepasst, indem die zu korrigierenden Fehler bestimmt werden.

**Basislinie:** Entfernung zwischen der bekannten Basisstation und dem Rover. Je näher, desto besser.

- 😊 am besten : < 10 Km
  - ✓ geeignet : 10-30 Km
    - ❖ Vorsichtig akzeptabel: 30 bis 100 km
- ☹️ Nicht genau > 100 Km

## RTK: Echtzeitkorrekturen über Internet und Abonnement

**RTK: Real Time Kinematic.** Eine einzige Antenne, die jedoch mit einem Server zur Positionskorrektur verbunden ist. Dieser Server berechnet dank eines Netzes fester Antennen, deren Position bis auf 5 mm genau bekannt ist, die Korrekturen, die am Empfang aller Satelliten der überwachten Konstellationen vorzunehmen sind. So berechnet der Rover GNSS RTK jede Sekunde seine genaue Position im Zentimeterbereich.

In Frankreich werden das RGP (permanentes GNSS-Netz) und verschiedene private Antennen als Grundlage für mehrere gebührenpflichtige RTK-Dienste genutzt: Teria, Orphéon, Sat-info, Centipede.....

Um auf RTK zugreifen zu können, benötigen Sie

- ein 4G- oder 5G-Modem an Ihrem GNSS-Decoder haben, zusätzlich zur GNSS-Antenne, die ein anderes Gerät ist
- Einen mit RTK kompatiblen Decoder besitzen
- einen RTK-Dienst abonnieren (mehrere hundert Euro pro Jahr)
- Arbeiten Sie in einem Gebiet mit Mobilfunknetzabdeckung
- Sie haben eine SIM-Karte (oder eine Verbindung mit Ihrem eigenen Telefon über Wifi), um Daten zu empfangen

Schritte zum Anschluss an RTK mit all diesen Geräten (es wird davon ausgegangen, dass die RTK-Konfiguration bereits gemäß den Abonnementdaten des RTK-Betreibers erfolgt ist):

- Start GNSS: Antenne und Decoder
- Überprüfen Sie, ob die Verbindung zu den Satelliten hergestellt ist und ob eine Position ermittelt wurde.
- Visualisieren Sie auf dem Bildschirm die erreichte Genauigkeit: CQ3D von einigen Metern
- Verbindung zur RTK über das entsprechende Menü
- Gehen Sie während des Verbindungsaufbaus zu den Einstellungen und wenden Sie die Parameter für die Messwertaufnahme an
- Aufzeichnung der Messung nur, wenn **GDOP $\leq$ 4**
- Automatische Messwertaufzeichnung, wenn die **horizontale Positionsgenauigkeit  $\leq$  2 cm ist** (je nach Fall, aber unter 1 cm kann die Messung mehrere Minuten dauern)
- Automatische Aufzeichnung der Messung, wenn die **Genauigkeit der vertikalen Position  $\leq$  2,5 cm ist** (je nach Fall, aber unter 1,5 cm kann die Messung mehrere Minuten dauern)
- **Anzahl der** vor der automatischen Aufzeichnung berechneten **Positionen: 30** (so dass das GNSS vor der Aufzeichnung viele Bestimmungen vornehmen muss,

auch wenn die Genauigkeit vorher erreicht ist, falls bei den ersten Berechnungen ein Fehler aufgetreten ist).

- Gehen Sie dann zur Einstellung des **Abschneidungswinkels**: Satelliten, die sich zu tief am Horizont befinden, werden nicht berücksichtigt, da ihr Signal "zu viel" Atmosphäre durchquert; stellen Sie den Winkel auf **15°** ein (oder mehr in Städten, da die Gebäude niedrige Satelliten verdecken)
- Kehren Sie zum Hauptbildschirm zurück, um zu prüfen, ob die Qualität der Zentimeterpositionierung erreicht ist: **CQ3D < 5cm**
- Messungen starten

NB1: Auf dem Bildschirm der Punktanzeige ist der Punkt, dessen Name mit RTCM beginnt, die Antenne, die als Referenz verwendet wird und oft mehrere Kilometer entfernt ist; aktivieren Sie die Option "RTCM nicht anzeigen", um einen einfachen Zoom auf alle vermessenen Punkte zu erhalten.

NB2: Die meisten RTK-Netze erstellen virtuelle Antennen, die nur zu Berechnungszwecken dienen, um eine zu große Basislinie zu vermeiden.

Präzisionsbeispiel für einen Leica GS16: Standardabweichung bei einer Messung

**Differential phase  
in post-processing**

Type	Horizontal	Vertical
Static and rapid static	3 mm + 0.5 ppm	5 mm + 0.5 ppm
Kinematic	8 mm + 1 ppm	15 mm + 1 ppm
Static with long observations	3 mm + 0.1 ppm	3.5 mm + 0.4 ppm

**Differential phase  
in real-time**

Type	Horizontal	Vertical
Single Baseline (< 30 km)	8 mm + 1 ppm	15 mm + 1 ppm
Network RTK	8 mm + 0.5 ppm	15 mm + 0.5 ppm

Tabelle 2 Leica GS16 Antennenspezifikationen (Leica)

Beispiel: Bei der Arbeit in nRTK mit einer virtuellen RTCM-Antenne auf 20 km (Basislinie=20 km) beträgt die Standardabweichung der Messungen

$$\sigma = \sqrt{8^2 + (0.5 \times 20)^2} = 13mm$$

- Die Genauigkeit der vertikalen Position ist immer etwa 1,5 Mal schlechter als die der horizontalen Position.

## 6.6 Lokale Störungen der Genauigkeit eines GNSS

Unabhängig von der Qualität der Ausrüstung und allen atmosphärischen Störungen gibt es lokale GNSS-Erfassungsstörungen:

Mehrweg durch Fassaden oder Klippen: Das Signal wird durch eine Reflexion an einer Fassade verzögert, wodurch sich sein Weg verlängert.

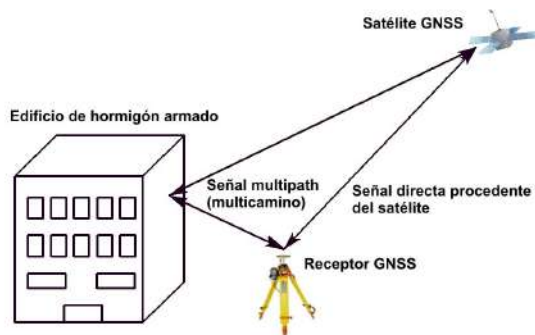


Abbildung 6-10 Fassadenspiegelungen (N. Garrido)

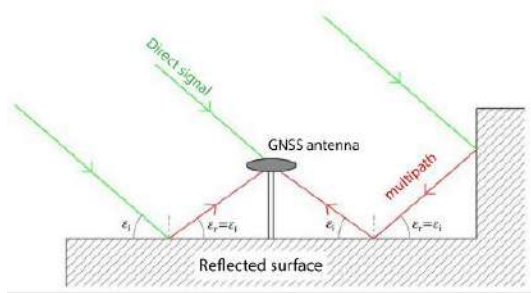


Abbildung 6-11 Bodenreflexion der Wellen von Satelliten

Mehrwegeffekte am Boden: Es werden Guard-Ring-Antennen verwendet (Shoke-Ring)



Abbildung 6-12 Shoke-Ring-Antenne (Trimble)

Maske: das Signal wird durch ein Hindernis zwischen dem Empfänger und dem Satelliten abgeschnitten: Bäume, Gewitterwolken, Gebäude

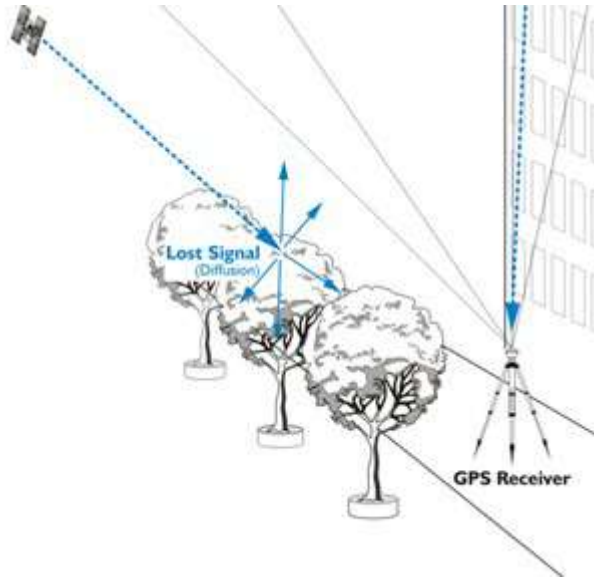


Abbildung 6-13 Bäume und Gebäude verdecken das Signal (Penn State U.)

## 6.7 Rechtssysteme und GNSS

Um unsere Drohnenphotogrammetrie- oder Lidar-Punktwolken mit einem Rechtssystem zu verknüpfen, müssen die Koordinaten im Rechtssystem des Standorts ausgedrückt werden. Da GNSS nur auf dem Ellipsoid positioniert ist, muss es in der Lage sein, Koordinaten zu liefern, die für die Topografie verwendet werden können: legale Koordinaten (UTM oder Lambert, je nach Land, siehe oben) und legale Höhen, bezogen auf die mittlere Meereshöhe des Landes, sein Geoid.

Es ist daher erforderlich, dass der Decoder zuvor geladen wurde:

- Projektionsformeln zwischen dem Ellipsoid und dem gesetzlichen System (RGF93 in Frankreich, Lambert93 und CC 9 Zonen), um die gesetzlichen Koordinaten E und N zu erhalten. Diese Formeln sind mathematisch und gut bekannt, aber ein bisschen kompliziert, um sie hier auszudrücken...
- Ein Höhenumwandlungsgitter (RAF20 Gitter das neueste in Frankreich, sonst RAF18), um die gesetzliche Höhe zu haben, verbunden mit den Nivelliermarken des Landes. Die mathematische Formel ist sehr einfach:  $H = h - N$  das GNSS misst die ellipsoidische Höhe "h", aber der Wert der Welligkeit des Geoids "N" hängt von der Position des gemessenen Punktes ab. Jedes Land erstellt ein möglichst feines Netz von Punkten auf seinem Territorium, an denen die Höhe zwischen dem WGS84-Ellipsoid und dem Geoid bestimmt wird (die Welligkeit). Das Höhenreferenzgitter ist die Liste der Koordinaten aller Punkte, an denen der Wert des vertikalen Abstands zwischen dem WGS84-Ellipsoid und dem Geoid berechnet wurde. In Europa ist diese "Undulation" positiv.

Zwischen zwei Punkten wird die Wellenform interpoliert.

Die Genauigkeit der Höhenmesserkonversionsraster schwankt zwischen 5 und 30 mm.

NB: Wenn Sie vergessen haben, die Punkte im richtigen System zu erfassen, können Sie alle Punkte nachträglich mit einer Software umrechnen.



# 7. Geolokalisierungsziele vor Ort

## 7.1 Prinzip (siehe auch Modul "Photogrammetrie")

Damit unsere Photogrammetrien oder Lidar-Punktwolken geolokalisiert werden können, benötigen wir Landmarken auf den Fotos, deren Position mit einem zentimetrischen GNSS-System (Post-Processing oder RTK) vermessen wurde.

Die Ziele werden im Feld positioniert, große, sichtbare Landmarken mit Nummern, und dann mit einem zentimetrischen GNSS-System vermessen.

Für eine gute Geolokalisierung benötigen Sie mindestens 4 Ziele, die Platzierung weiterer Ziele verbessert die Genauigkeit.

## 7.2 Arten von Zielen

Beispiel:



Die Ziele müssen sein

- groß (mindestens 50 cm)
- nummeriert
- sehr stabile Ställe (schwer oder mit Gewichten oder Steinen befestigt)
- während der gesamten Drohnenbefragung konstant
- gut verteilt auf dem Arbeitsplatz

Abbildung 7-1 Ziel der Geolokalisierung am Boden (pixwing.fr)

## 7.3 Vermessung der Ziele

Das GNSS muss genau auf den Mittelpunkt des Ziels ausgerichtet und durch ein Stativ stabilisiert werden.

Die Genauigkeit muss zentimetrisch sein, das GNSS muss vorher eingestellt und mit RTK (oder Base-Rover mit Post-Processing) verbunden sein.

Die Nummer des gemessenen Punktes muss mit der Nummer auf der Zielscheibe übereinstimmen

Das GNSS-Koordinatensystem muss vor der Vermessung ausgewählt worden sein, ebenso wie das Höhenumrechnungsgitter.

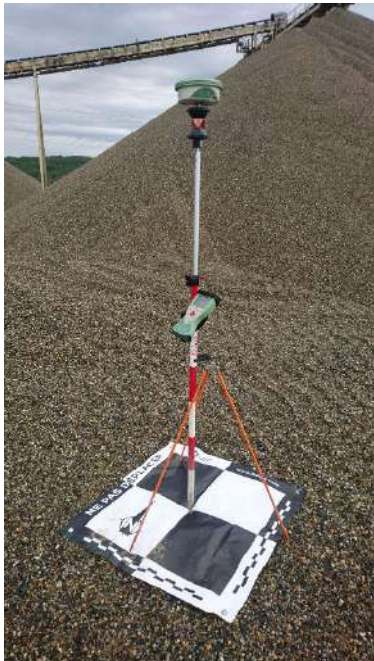


Abbildung 7-2 GNSS-Messung an einem Ziel (Chivas)

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 WGS84-Ellipsoid.....	7
Abbildung 2-2 Drehachse = geografischer Norden .....	9
Abbildung 2-3 Magnetfelddeklination im Jahr 2015 (ncei.noaa.gov) .....	9
Abbildung 2-4 Deklination der Magnetfeldlinien der Erde .....	10
Abbildung 3-1 Meridiane (brainly.in) .....	11
Abbildung 3-2 Parallelen (brainly.in) ( <a href="https://geography.name">https://geography.name</a> ) .....	12
Abbildung 3-3 ellipsoidische Höhe orthogonal zum Ellipsoid.....	12
Abbildung 3-4 Achse der kartesischen Koordinaten (researchgate).....	15
Abbildung 3-5 Kontinentalverschiebung (importantinnovations.com).....	16
Abbildung 4-1 die beiden aufeinanderfolgenden Projektionen, um eine Karte zu erhalten.....	17
Abbildung 4-2 orthogonaler Bezugsrahmen auf einer ebenen Karte.....	18
Abbildung 4-4 direkte zylindrische Projektion.....	18
Abbildung 4-3 zylindrische Querprojektion.....	19
Abbildung 4-5 tangentielle kegelförmige direkte Darstellung Sekantenkegeldarstellung	Abbildung 4-6 Direkte 19
Abbildung 4-7 Darstellung der azimutalen Tangente.....	19
Abbildung 4-8 direkte Mercator-Projektion (Britanica.com) .....	21
Abbildung 4-9 Universal-Transversal-Mercator-Projektion UTM.....	22
Abbildung 4-10 die 60 Zonen des UTM (researchgate).....	22
Abbildung 4-11 Achse in einem UTM-Streifen was-wann-wie.de.....	23
Abbildung 4-12 Koordinaten in einem UTM-Streifen.....	23
Abbildung 4-13 die 3 UTM-Zonen Frankreichs ("fuseau" auf Französisch) (IGN).....	24
Abbildung 4-14 Abstandsprojektion vom Feld zum Ellipsoid .....	25
Abbildung 4-15 Maßstabsfaktor=1 entlang der Standardmeridiane (what-when-how.com) .....	26
Abbildung 4-16 Bemerkenswerte Skalierungsfaktoren in UTM.....	26
Abbildung 4-17 Lambertsche Sekantenprojektion (researchgate.com) .....	28
Abbildung 4-18 unterschiedliche Skalierungsfaktoren je nach Position zu den Standardparallelen (Bryan W. Bunch) .....	29
Abbildung 4-19 Konvergenz der Meridiane in Lambert (IGN).....	30

Abbildung 4-20 Achse des Projektionssystems RG93-Lambert93.....	31
Abbildung 4-21 Entfernungsverzerrung in Lambert 93 (IGN) .....	32
Abbildung 4-22 Entfernungsverzerrung in Lambert 93 (IGN).....	33
Abbildung 4-23 Nahaufnahme um Dijon für die Entfernungsverzerrung in Lambert93 (IGN).....	34
Abbildung 4-24 die 9 Zonen von RGF93-CC 9 Zonen Projektionen (IGN) .....	35
Abbildung 4-25 Nahaufnahme der Entfernungsverzerrung um Dijon in der Projektion RGF93-CC47 (IGN).....	37
Abbildung 4-26 Geodätischer Referenzpunkt aus Beton und Bronze in Frankreich (IGN) .....	38
Abbildung 5-1 Höhen des Weltgeoids im Vergleich zum Ellipsoid WGS84 (Ales Bezdec)..	39
Abbildung 5-2 Das Geoid Europas (H. Denker, W. Torge).....	40
Abbildung 5-3 Französisches Geoid (IGN) .....	40
Abbildung 5-4 Höhenmessungen (USGS).....	41
Abbildung 5-5 Französische Nivellierungsbenchmark (IGN).....	42
Abbildung 6-1 die 3 Segmente des GNSS (F. Burks).....	43
Abbildung 6-2 die 6 verschiedenen GNSS (unbekannter Ursprung) .....	43
Abbildung 6-3 Multilateration in einem Plan (Topomaths).....	45
Abbildung 6-4 Berechnung einer Position aus 4 Satelliten (geneco.rs).....	45
Abbildung 6-5 DOP in Abhängigkeit von der Satellitenposition (K. Ansari) .....	48
Abbildung 6-6 Entfernungsschnittpunkte mit ihrem Vertrauensbereich (marinegyaan.com).....	49
Abbildung 6-7 Je näher die Satelliten beieinander sind, desto größer ist der Vertrauensbereich (Graticule).....	49
Abbildung 6-8 DOP-Schwankungen während 12 Stunden (Trimble).....	49
Abbildung 6-9 Differential-GNSS-Prinzip (Politecnico di Torino) .....	52
Abbildung 6-10 Fassadenspiegelungen (N. Garrido).....	55
Abbildung 6-11 Bodenreflexion der Wellen von Satelliten .....	55
Abbildung 6-12 Shoke-Ring-Antenne (Trimble).....	55
Abbildung 6-13 Bäume und Gebäude verdecken das Signal (Penn State U.).....	56
Abbildung 7-1 Ziel der Geolokalisierung am Boden (pixwing.fr).....	59
Abbildung 7-2 GNSS-Messung an einem Ziel (Chivas).....	60

# Liste der tabellen

Tabelle 1 GNSS-Eigenschaften.....	44
Tabelle 2 Leica GS16 Antennenspezifikationen (Leica).....	54