

1. Die Erde und ihre Abbildung auf Karten	2
1.1. Die Form der Erde - Geoid und Ellipsoide	2
1.2. Höhenbezugsflächen	3
1.3. Die Abbildung der Erdoberfläche auf Karten	3
1.3.1. Allgemeines	3
1.3.2. Zylinderprojektionen	3
1.3.2.1. Mercatorprojektion	3
1.3.2.2. Zylinderprojektion nach Gauss-Krüger	4
1.3.2.3. Schnitzzylinderprojektion	5
1.3.3. Kegel- oder Konische Projektion	5
1.4. Kartengitter und Koordinatensysteme	5
1.4.1. Allgemeines	5
1.4.2. Geographisches und Sphärisches Koordinatensystem	5
1.4.3. Gauss-Krüger-Koordinatensystem	6
1.4.4. UTM-Koordinatensystem	7
1.5. Nomenklatur von Karten	7
1.6. Unterschiede der militärischen und zivilen Kartenwerke in der DDR	8
1.7. Kartencodierungsverfahren SAPAD-71	8
2. Flughöhen	9
2.1. Flughöhen und ihre Bezugsebenen	9
2.2. Staffelungshöhen und Sicherheitsflughöhen in der DDR	10
3. Fluggeschwindigkeiten	11
4. Navigatorische Grundlagen.....	12
4.1. Nordrichtungen und Kurse	12
4.2. Weglinien und Wegwinkel	13
4.3. Peil- und Kurswinkel	13
4.4. Die Nutzung von Sonne und Mond zur allgemeinen Flugrichtungsbestimmung	13
5. Der Einfluss des Windes auf den Flug	14
5.1. Navigatorisches Geschwindigkeitsdreieck	14
5.2. Navigatorische Elemente zur Korrektur des Flugweges	14

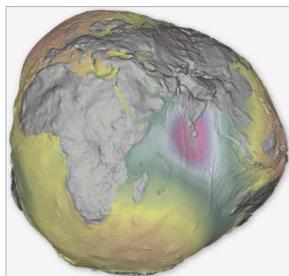
1. Die Erde und ihre Abbildung auf Karten

1.1. Die Form der Erde - Geoid und Ellipsoide

Die Form der Erde wird durch das *Geoid* beschrieben. Die Oberfläche des geoids ist der angenommene Meeresspiegel - so als ob die gesamte Erde mit Wasser bedeckt und von allen darüber hinaus ragenden Landmassen und Gebirgen befreit wäre. Das Geoid ist nicht in sich geschlossen mathematisch beschreibbar. Keine mathematische Formel vermag die Form explizit zu beschreiben. Erlebten die Menschen vergangener Jahrhunderte die Erde noch als Scheibe oder später als Kugel, so stellt sie sich heute eher als kosmische Kartoffel dar.

Für moderne Geoidformulierungen wird das Geoid als die Fläche gleicher Schwere beschrieben - die *Äquipotenzialfläche der Schwere*. Die Schwere ist dabei die Summe aus Gravitations- und Zentrifugalkraft infolge der Erddrehung. An jedem beliebigen Ort der Erde wird die Meeresspiegelhöhe also durch das gleiche Gewicht eines stets gleichen Körpers beschrieben. Zudem ist die Geoidoberfläche diejenige Fläche, an der ein Lot stets senkrecht auf der Oberfläche steht. Tatsächlich zeigt das Lot immer zum Massenschwerpunkt der Erde, der durch die Massenverteilung in der Erde nicht mit dem geometrischen Mittelpunkt identisch ist. Die Oberfläche des Geoids wird nun so korrigiert, dass an jedem Ort das Lot rechtwinklig zur Geoidoberfläche steht.

Das Geoid beschreibt die Bezugsebene *Meeresspiegelhöhe* für die



Das Geoid in Berechnung und 15000fach überhöhter Darstellung (Quelle: GFZ Potsdam). Die Abweichung des Geoids vom Referenzellipsoid ist hier farbocodiert dargestellt; die Kontinente sind zur Veranschaulichung mit Grauwerten überdeckt. Die Differenz reicht von -110m (rot) bis zu +85m (braun). Die tatsächliche Erdgestalt ist im Detail unregelmäßig und hängt unter anderem von der Stärke der lokalen Gravitation, also der Landmassenverteilung ab. Ellipsoide können die Form der Erde nur näherungsweise beschreiben.

gesamte Welt, aktuell wird häufig das *WGS-84 (World Geodetic System, veröffentlicht von der U.S. National Imagery and Mapping Agency (NIMA))* verwendet. Auch das WGS-84-Geoid lässt sich nicht durch eine mathematische Gleichung darstellen, sondern setzt sich aus Unmengen von per Satellit ermittelten Daten zusammen. Damit ist es in seiner Beschreibung exakter als die Näherung verwendeter Ellipsoide, jedoch mit ungleich mehr Daten behaftet, da es Informationen über nahezu jeden Punkt der Erdoberfläche in einer Datenbank erfasst.

Referenzellipsoide zur näherungsweisen Beschreibung der Erdgestalt

Ellipsoid nach	Jahr	Gr.Halbachse [km]	Kl.Halbachse [km]	Abplattung
Bessel	1841	6377,397	6356,079	1:299,3
Hayford	1909	6378,388	6356,911	1:297,0
Krassowski (UdSSR)	1941	6378,245	6356,863	1:298,3
WGS-84	1984	6378,137	6356,75231425	1:298,257223563

In der Praxis werden zur Näherung der Erdgestalt *Rotationsellipsoide* verwendet. Diese sind mathematisch beschreibbar und damit wesentlich besser geeignet für Aufgaben der Kartografie und Navigation, wenngleich die Exaktheit für Höhenangaben damit nicht vollkommen ist. So werden z.B. in Hyperbelnavigationsverfahren und auch Satellitennavigationssystemem (GPS, Glonass, Galileo) Ellipsoide zu Grunde gelegt.

Die Ellipsoid-Oberfläche beschreibt ebenso wie das Geoid die auf der gesamten Erde fortgeführte Meeresspiegelhöhe. Würde man weltweit die Meeresspiegelhöhe als Abstand vom Erdmittelpunkt messen, so gäbe es trotzdem Unterschiede von mehreren hundert



Das Geoid ist die auf Meeresspiegelhöhe reduzierte tatsächliche Form der Erde. Das Rotationsellipsoid gibt die näherungsweise Form der Erde an und ist mathematisch besser beschreibbar.

Metern zwischen dem Geoid und einem (noch so guten) Ellipsoid. Verantwortlich hierfür sind Gezeitenkräfte sowie die Einflüsse der Gravitation; die Massen sind in der Erde unterschiedlich verteilt und bewirken eine unterschiedlich starke Anziehung an den verschiedenen Orten der Erdoberfläche. Die innere Struktur der Erde hat somit -unabhängig von der topographischen Oberfläche wie Ozeanen oder Kontinenten- eine Auswirkung auf die Gravitation; selbst bei völlig wasserbedeckter Erdoberfläche würde diese nicht die Form eines exakten Ellipsoids oder gar einer Kugel haben.

Das zur Näherung der Erdgestalt verwendete Ellipsoid stellt eine um ihre kleine Achse rotierende Ellipse dar (*oblates Rotationsellipsoid*). Der räumliche Körper wird durch eine große (*a*) und eine kleine Halbachse (*b*) charakterisiert, aus deren Verhältnis

$$\frac{a - b}{a}$$

die so genannte *Abplattung* bestimmt wird. Die Ausdehnung der Erde in Nord-Süd-Richtung ist um etwa 20km geringer als die Ausdehnung am Äquator.

Im Laufe der Zeit entstanden viele Ellipsoid-Beschreibungen. Die wichtigsten sind in untenstehender Tabelle aufgeführt.

Kein formuliertes Ellipsoid passt für die Form der Erde optimal. Die besten formulierten Ellipsoide beschreiben das Geoid mit einer Abweichung von etwa 100 Höhenmetern; auch das WGS-84 weist eine Höhendifferenz zwischen Ellipsoid und Geoid von etwa -110m (Indischer Ozean) bis 90m (Südostasien) auf. Es wird stets nur ein mehr oder weniger großer Teil der Erdoberfläche hinreichend genau beschrieben. Somit hat sich in unterschiedlichen Regionen bzw. Staaten die Verwendung verschiedener El-

lipsoide durchgesetzt, die für dieses Gebiet am besten geeignet erscheinen.

Die verwendeten Ellipsoide sind die Grundlage für Kartenbezugssysteme, aus denen Karten abgeleitet werden. Das Ellipsoid seinerseits hat jedoch nichts mit dem Kartenbezugssystem zu tun und ist von diesem unabhängig.

1.2. Höhenbezugsflächen

Für die Bestimmung von Höhen wird von einer festgelegten Fläche ausgegangen, die als Höhe 0 vereinbart wird. Diese Bezugsfläche ist regional/ staatlich unterschiedlich vereinbart. In Deutschland bzw. der BRD galt seit 1879 die vom Amsterdamer Pegel abgeleitete Normalnull-Fläche, in Bezug auf diese wurde das gesamte Höhennetz aufgebaut. Andere europäische Staaten verwendeten auch andere Ausgangshorizonte, die sich vom NN unterscheiden.

Land	Ausgangshorizont	Differenz zu NN
Dänemark	Mittelwasser der dänischen Küsten	-0,09 m
Österreich	Triest	-0,25 m
Schweiz	Genf/Marseille	-0,06 m
Belgien	mittleres Niedrigwasser von Ostende	2,3m
Niederlande	Amsterdam	-0,02 m
Frankreich	Marseille	-0,25 m
UdSSR (WV-Staaten)	Kronstadt/ Leningrad (St.Petersburg)	0,15m

In der DDR galt - wie im gesamten Warschauer Vertragsgebiet - der Kronstädter Pegel als Nullfläche, diese wurde nun mit dem Kürzel HN bezeichnet. Die Differenz zum NN beträgt lediglich 16cm, jedoch werden die Höhenangaben aus der östlichen und westlichen Welthälfte in anderen Gebieten z.T. erheblich mehr voneinander abweichen. Die Ursache hierfür liegt in den verwendeten Grundlagen zu Beschreibung der Erdgestalt, den Referenzellipsoiden. Das Krassowski-Ellipsoid, gleichfalls in allen Warschauer Vertragsstaaten verbindlich eingeführt, berücksichtigte bereits das Schwerfeld der Erde und zeigt damit an Stellen großer Massenkonzentrationen, z.B. in Gebirgen, eine andere Höhe als Ellipsoide, welche die Gravitation unberücksichtigt lassen. Die westlichen verwendeten Ellipsoide (Bessel u.a) kannten eine Einflussnahme der Gravitation nicht.

In der DDR galt in Konsequenz für alle militärischen und staatlichen (also gewisse Geheimnisse tragenden Karten) das Krassowski-Ellipsoid als Bezugssystem. Für die ab 1966 eingeführten zivilen Kartenwerke („Ausgabe Volkswirtschaft“) wurde ein reduziertes Kartenwerk geschaffen, für das man wieder auf das Bessel-Ellipsoid zurück griff und damit (beabsichtigte) Unstimmigkeiten mit den Karten des militärtopographischen Dienstes hervor rief.

Eine genauere Beschreibung der Unterschiede zwischen den militärisch-staatlichen und den zivilen Kartenwerken in der DDR folgt weiter unten in diesem Kapitel.

Gegenwärtig werden im Vermessungswesen zunehmend Modelle eingeführt, welche die Gravitation berücksichtigen und damit der tatsächlichen Erdgestalt genauer Rechnung tragen. Auch hier sind regionale bzw. staatliche Unterschiede in den Systemen nach wie vor an der Tagesordnung.

1.3. Die Abbildung der Erdoberfläche auf Karten

1.3.1. Allgemeines

Eine Karte stellt die maßstäbliche Verkleinerung der Erde in einer Ebene dar. Die Erdoberfläche lässt jedoch sich auf Grund ihrer gewölbten Oberfläche nicht ohne weiteres in eine Ebene abwickeln, wie es für eine (flache) Karte erforderlich wäre. Daher werden für die Abbildung der Erde auf eine Karte verschiedene Verfahren genutzt. Dabei haben sich mehrere Methoden etabliert, die in unterschiedlichen Anwendungsfällen ihre Berechtigung haben (Aufzählung ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

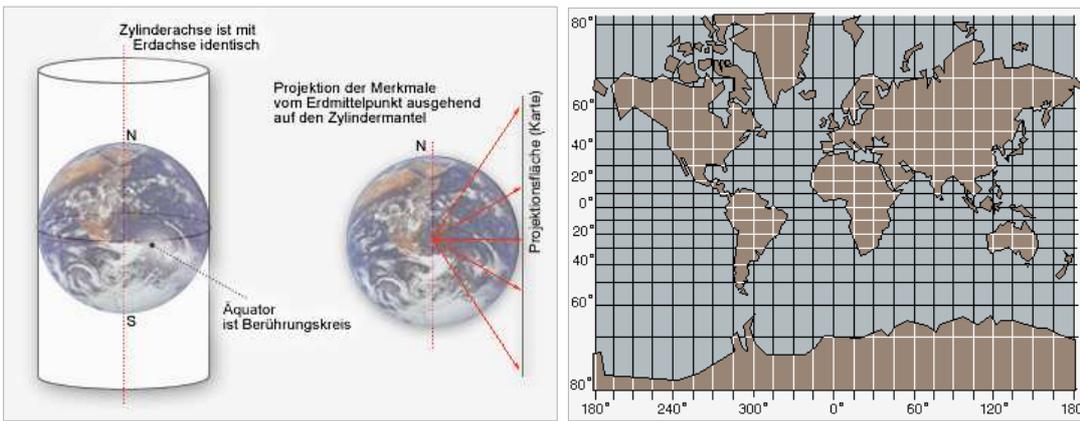
- Zylinderprojektion
 - Die Erde wird auf den Mantel eines Zylinders abgebildet, der sich in der Ebene aufrollen lässt.
 - Mercatorprojektion
 - Gauss-Krüger-Projektion (Transversale Zylinderprojektion)
 - Äquidistante zylindrische Projektion (Plate Caree)
 - Schnittzylinderprojektion
- Kegelpjektion
 - Die Erde wird auf den Mantel eines Kegels abgebildet.
- Planare Projektion (auch azimutale Projektion genannt)

Die nachfolgenden Beschreibungen zeigen nur einen kleinen Teil der Projektionsverfahren auf, da nicht alle Methoden gleichermaßen für die (Flug-) Navigation interessant sind.

Generell kann für eine Projektion jedes Ellipsoid genutzt werden; in der Praxis ist dies auch so üblich, und so wurden im Laufe der Jahrzehnte mehrere Dutzend verschiedene Projektionen publiziert. Während in Westeuropa z.B. das Bessel-Ellipsoid zum Einsatz kommt (kam), wurde in den Warschauer Vertragsstaaten bekanntermaßen das Krassowski-Ellipsoid als Grundlage genutzt.

1.3.2. Zylinderprojektionen

1.3.2.1.Mercatorprojektion



Die Mercatorprojektion stülpt über die Erde in Nord-Süd-Richtung einen Zylinder. Die Achsen der Erde (Ellipsoid) und des Zylinders sind identisch. AUSgehend vom Mittelpunkt der Erde werden die Oberflächenmerkmale auf die Zylinderwand projiziert. Da die Zylinderwand mit zunehmender nördlicher bzw. südlicher Breite erheblichen Abstand von der Erde hat, werden die Abstände (Entfernungen) stark verzerrt. Daher muss anschließend eine Entzerrung erfolgen. Insgesamt führt die Mercatorprojektion zu einer winkel-, aber nicht flächentreuen Darstellung. Auf einer durch Mercator-Projektion entstandenen Karte sind die Breitengrade im Norden bzw. Süden erheblich auseinander gezogen, desgleichen sind Nord- oder Südgebiete wie Antarktis oder Grönland unproportional groß dargestellt.

Die Mercatorprojektion ist eine Zylinderprojektion, bei welcher der Äquator auf dem Zylindermantel liegt. Der Zylinder wird „von oben über die Erde gestülpt“. Vom Erdmittelpunkt aus werden die Merkmale in einem einzigen Vorgang auf den Zylinder projiziert. Dadurch kann die gesamte Erde in einer ebenen Karte dargestellt werden. Durch den nach Norden bzw. Süden wachsenden Abstand der Erdoberfläche von der Zylinderwand werden die Längen in Nord-Süd-Richtung gegenüber denjenigen in Ost-West-Verzerrung; nur die Länge des Äquators wird korrekt dargestellt. Nach der Abbildung wird die Karte in Nord-Süd-Richtung verzerrt, bis die Winkeltreue hergestellt ist. Durch die Verzerrung werden jedoch die Flächen mit wachsender nördlicher oder südlicher geografischer Breite erheblich größer dargestellt - so wird Grönland z.B. doppelt so groß wie Afrika. Eine Flächen- bzw. Längentreue ist bei der Mercatorprojektion nicht gegeben, ausschließlich Winkeltreue.

Der Vorteil der Mercatorprojektion besteht in der Darstellung der *Loxodrome* (Linie, die alle Meridiane unter gleichem Winkel schneidet) als gerade Linie, was sie insbesondere für die Seefahrt der vergangenen Jahrhunderte interessanter machte.

1.3.2.2. Zylinderprojektion nach Gauss-Krüger

Bei der Gauss-Krüger-Projektion handelt es sich ebenfalls um einen Zylinderentwurf. Der Zylindermantel berührt den Äquator des Ellipsoids lediglich in 2 Punkten; die Zylinderachse liegt in der Äquatorialebene. Der Zylinder wird also „quer über die Erde gestülpt“ - daher die Bezeichnung *Transversale Zylinderprojektion* (mitunter auch *transversale Mercatorprojektion*). Im Unterschied zur „normalen“ Zylinderprojektion wird im Gauss-Krüger-Verfahren die Erde nicht in einem Arbeitsgang auf die Zylinderwand projiziert, was die oben beschriebenen erheblichen Verzer-

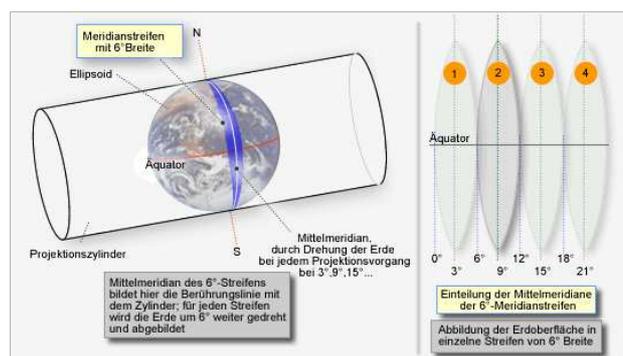
rungen zur Folge hat, sondern es erfolgt eine streifenweise Abbildung jeweils eines kleinen Meridianstreifens auf die Zylinderwand.

Die Erde wird in Streifen zu 6° oder 3° geografischer Länge entlang der Meridiane aufgeteilt. Diese 60 (120) Meridianstreifen werden mit ihrem Mittel-

meridian an die Zylinderwand gelegt, der Mittelmeridian berührt die Zylinderwand. Anschließend werden die Merkmale der Erdoberfläche ausgehend vom Ellipsoid-Mittelpunkt auf die Zylinderwand projiziert. Die Zylinderwand lässt sich problemlos in die Ebene aufrollen und ergibt somit auch eine ebene Karte des Meridianstreifens. Dieses Verfahren wird mit jedem Meridianstreifen wiederholt. In Summe entsteht eine Menge von 60 (120) Meridianstreifen, die Abbildungen der Kugelzweiecke sind. Maßstäblich verkleinert ergeben sie nun die erste Auswahl an Karten. Durch die Erstellung von einzelnen Meridianstreifen ist die Kartendarstellung der Erde nicht komplett in einer Ebene möglich. Zwar ist jeder Streifen für sich eben, jedoch ergibt die Aneinanderreihung der Streifen wieder eine Kugel.

Durch die Verwendung des schmalen Streifens ist die Verzerrung relativ gering, an den Rändern wird in Ost-West-Richtung von 0.1% ausgegangen. Mit dem Gauss-Krüger-Verfahren kann jeder beliebige Teil der Erdoberfläche in nahezu gleicher Qualität von Flächen- und Winkeltreue abgebildet werden.

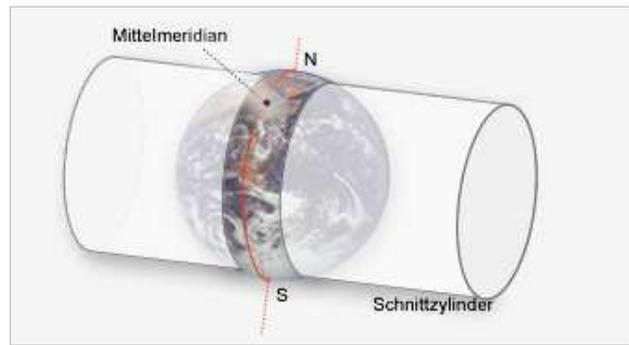
Die Gauss-Krüger-Zylinderprojektion legt einen Zylinder so über die Erde, dass die Erdachse den Zylindermantel rechtwinklig schneidet und jeweils ein Meridian den Zylindermantel berührt. Die Erde wird in Meridianstreifen von 6° Breite aufgeteilt. Durch Drehung der Erde werden die Streifen nacheinander auf die Zylinderwand abgebildet. Es entsteht eine Summe von 60 ebenen Kartenstreifen mit relativ geringen Verzerrungen.



Die Genauigkeit der Abbildung auf Karten wird in der Praxis durch eine Überlappung der Kartenstreifen erhöht. Üblich ist eine Überschneidung um 1° nach Ost und West.

1.3.2.3. Schnitzzylinderprojektion

In den letzten Jahren entstanden neue Verfahren in Abwandlung der Gauss-Krüger-Projektion, um eine höhere Genauigkeit zu erzielen. So wird beispielsweise der Projektionszylinder nicht mehr an die Erdoberfläche gelegt, sondern unter die diese. Der Zylinder schneidet die Erde unterhalb der Erdoberfläche, so dass der Mittelmeridian nicht mehr an der Zylinderwand anliegt (Schnitzzylinderprojektion). Damit wird zwar eine Verzerrung auch im Bereich des Mittelmeridians in Kauf genommen, dafür sinkt jedoch die Verzerrung in den Randbereichen des Meridianstreifens. Es ist nicht mehr nur genau ein Meridian (der Mittelmeridian) exakt abgebildet, sondern 2 Meridiane - nämlich die, in welchen der Zylinder die Erdoberfläche schneidet. Wichtig wird diese Art der Projektion für die Bereitstellung des UTM-Gitters, welches in der GPS-Technik vielfach verwendet wird.

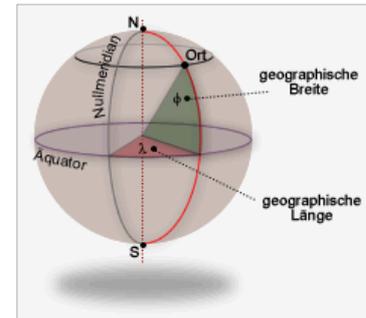


Bei der Schnitzzylinderprojektion
aflskjfdlsdf
sdfsölasüadasadafsfkföskfdösd

- Länge: Winkel Erdmittelpunkt-Nullmeridian-Meridian (λ)
- Breite: Winkel Erdmittelpunkt-Äquator-Breitenkreis (ϕ)

Dieses Koordinatensystem ist hinreichend aus der allgemeinen Geographie bekannt.

Der Vorteil dieser Koordinatensysteme besteht in der umfassenden Beschreibung eines Punktes auf der Erde, der mit einem anderen (rechtwinkligen) Koordinatensystem nicht möglich ist, da dieses lokal an Hand des Kartenstreifens definiert wird. Nachteilig ist dagegen, dass aus den Koordinatenangaben bzw. -differenzen zwischen zwei Orten nicht unmittelbar eine Entfernungsangabe erfolgen kann. Die Abstände zwischen zwei Meridianen



sind von der geographischen Breite abhängig; je weiter man in Richtung Nordpol bzw. Südpol kommt, desto geringer werden die Ost-West-Abstände. Ohne zusätzliche Hilfsmittel kann also auf solcherweise mit geographischen Koordinaten markierten Karten keine direkte Entfernungsbestimmung vorgenommen werden. Mit Hilfe der beschriebenen Winkelangaben der *Breite* und *Länge* werden mehrere Koordinaten beschreibbar, die sich jedoch in der Grundlage des verwendeten Körpers unterscheiden:

- **Geographisches** Koordinatensystem auf Grundlage der Erde (Geoid). Die Koordinaten werden dabei als λ und ϕ bezeichnet.

1.3.3. Kegel- oder Konische Projektion

Beim Kegel- oder konischen Entwurf wird statt des Zylinders ein Kegel verwendet. Häufig wird die Achse des Kegels mit der Erdachse Nord-Süd übereinstimmen, so dass das Zentrum der Karte den Nord- oder Südpol darstellt. Generell kann allerdings auch jede andere beliebige Kegelachsstellung verwendet werden. Liegt die Kegelachse in der Äquatorebene, spricht man auch hier von der transversalen Kegelprojektion.

Gebräuchlich sind verschiedenste Varianten der Projektionen; es gibt längentreue, flächentreue und winkeltreue Karten, die jede für ihren Anwendungszweck ihre Berechtigung hat.

Die Darstellung von Kegelentwürfen sind auf Flugkarten nicht ungewöhnlich und werden auch bei der ICAO in Verwendung.

1.4. Kartengitter und Koordinatensysteme

1.4.1. Allgemeines

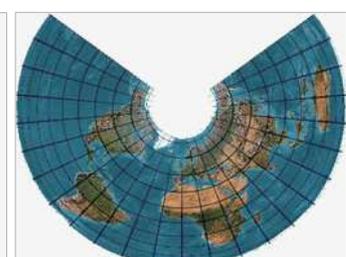
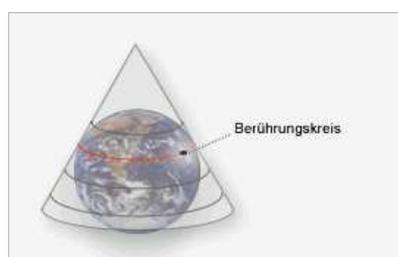
Zur Beschreibung von Standorten und Richtungen auf der Karte bzw. Erdoberfläche sind Koordinatensysteme erforderlich. Mehrere Arten von Koordinatensysteme können verwendet werden:

- Sphärisches bzw. geografisches Koordinatensystem nach Längen- und Breitengraden
- Rechtwinklige Koordinatensysteme (Gauss-Krüger, UTM für GPS-Anwendungen)

1.4.2. Geographisches und Sphärisches Koordinatensystem

In diesen Koordinatensystemen wird eine Länge und eine Breite als Koordinatenpaar angegeben.

Prinzip und Karte eines Kegelentwurfs. Ein Kegel wird so über die Erde gestülpt, dass er diese am Berührungskreis berührt. Ausgehend vom Mittelpunkt der Erde werden die Merkmale auf den Kegelmantel übertragen. Der Kegelmantel wird anschließend aufgeschnitten und ist in einer Ebene darstellbar. Es ergeben sich die bekannten Karten. Die Kegelprojektion ist ebenfalls so möglich, dass der Mantel die Erde durchstößt, also ein Teil des Mantels unter der Erdoberfläche liegt.



- **Geodätisches** Koordinatensystem auf Grundlage des Rotationsellipsoids. Die Koordinaten sind λ und ϕ . Die Winkelunterschiede zwischen geographischem und geodätischem System sind sehr gering (bei 50°n.Br. ca. 0,1").
- **Sphärisches** Koordinatensystem auf Grundlage einer Kugel. Für viele Navigationszwecke wird durchaus die Kugel als vereinfachte Erdform angenommen, da die Genauigkeit für die verwendeten Flugräume hinreichend ist.

Da die Kugel und das Rotationsellipsoid nicht deckungsgleich sind, jedoch miteinander in einer mathematischen Beziehung stehen, sind bei der Umwandlung von geodätischen/geographischen in sphärische Koordinaten und umgekehrt Berechnungen erforderlich.

Geographische Breite: $\Phi = \phi - 8'39'' \sin 2\phi$
 Änderung des Längenäquivalents für 1' (1sm): $\Delta 1' = 1852,23 - 9,34 \cos 2\phi$

Auf der Kugel ist 1 Seemeile die Entfernung, die durch einen Winkel von 1' auf dem Erdumfang eingeschlossen wird, stellt mithin den 21600. Teil eines Großkreises dar. Auf einem Ellipsoid ändert sich der Winkel, der 1 sm entspricht, da der Großkreis nördlich oder südlich des Äquators einen anderen Umfang als der Äquator selbst aufweist. Die Änderung der äquivalenten Entfernung für 1 Bogenminute ist somit von der geographischen Breite abhängig und in oben stehender Formel angegeben. Die Korrekturwerte sind von der Form des Ellipsoids abhängig; die oben angegebenen gelten für das Krassowski-Ellipsoid.

Ein Spezialfall des Sphärischen Koordinatensystems ist das **Orthodrome** Koordinatensystem. Hier werden nicht wie bisher beschrieben die erdfesten Bezüge Erdmittelpunkt, Äquator und Meridian genutzt, sondern der Koordinatenursprung wird auf einen beliebigen Punkt der Erde gelegt. Gleichfalls ist der Erdäquator nicht mehr die wichtigste Bezugsebene. Die *Hauptorthodrome*, die im Sphärischen System den Äquator bildet, kann gegenüber der Erdäquatorebene beliebig geneigt sein.

Im Orthodromen System bleiben die mathematischen Verfahren zur Berechnung von Koordinaten, Entfernungen, Winkel usw. gleich, jedoch wird der Aufwand für Berechnungen innerhalb des

Gültigkeitsbereiches des Systems in einem kleineren Flugraum vereinfacht.

Für eine Transformation in ein erdbezogenes System (geographisch/ sphärisch) sind allerdings umfangreichere Berechnungen erforderlich.

1.4.3. Gauss-Krüger-Koordinatensystem

Insbesondere im Zusammenhang mit der von *Gauss* und *Krüger* entwickelten Zylinderprojektion wurde ein rechtwinkliges, nun *Gauss-Krüger* genanntes Koordinatensystem geschaffen. In jedem nach der Zylinderprojektion entstehenden Kartenstreifen von 6° oder 3° wird ein rechtwinkliges Bezugssystem angesetzt. Der Bezugspunkt (Koordinatenursprung) ist dabei der Schnittpunkt des Äquators mit einem Bezugsmeridian 500km westlich des Mittelmeridians des jeweiligen Kartenstreifens. (Die Erklärung dieses merkwürdigen Bezugsmeridians erfolgt weiter unten.)

Auf der Erde zeigt jeder Meridian in Richtung des geografischen Nordpols. Auf dem abgebildeten Kartenstreifen sind damit die Meridiane bis auf den Mittelmeridian keine geraden Linien, sondern werden an den Kartenrändern zunehmend gekrümmt. Die Meridiane haben vom Mittelmeridian einen unterschiedlichen Abstand in Abhängigkeit von der geografischen Breite.

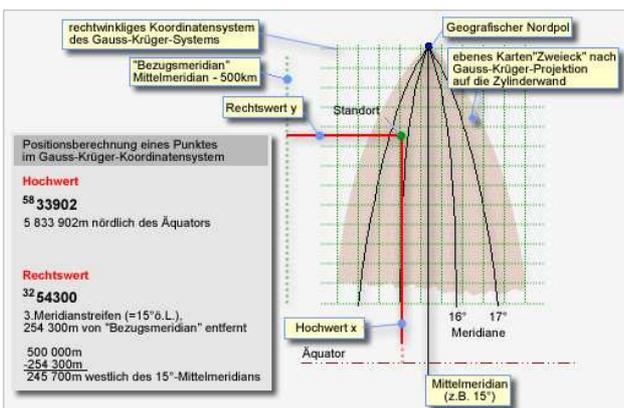
Wird nun über die Karte ein rechtwinkliges Koordinatensystem gelegt, so ergeben sich schon auf den ersten Blick Abweichungen zwischen der geografischen Nordrichtung, die entlang eines Meridians zum geografischen Nordpol zeigt, und dem Gitter-Nord, welches die vermeintliche Nordrichtung im rechtwinkligen Koordinatensystem anzeigt, aber in Wirklichkeit eine Parallele zum Mittelmeridian ist. Die Meridiane des sphärischen Gradnetzes sind - außer dem Mittelmeridian des Streifens - nicht parallel zu den senkrechten Linien des *Gauss-Krüger*-Systems. Diese Abweichungen müssen bei der Nutzung der Karten berücksichtigt werden.

Ein Standort wird im *Gauss-Krüger*-System mit einem Hoch- und Rechtswert angegeben: der Hochwert gibt den Abstand in Metern vom

Im Geographischen und sphärischen Koordinatensystem werden die Winkel, jeweils ausgehend vom Erdmittelpunkt, in Bezug auf den Nullmeridian (Greenwich) bzw. den Äquator gemessen. Es ergeben sich in Ost-West-Richtung die Länge und in Nord-Südrichtung die Breite. Unterschiede zwischen den Systemen bestehen in der Bezugnahme auf

Äquator an (auf der Nordhalbkugel positiv). Der Rechtswert ist eine kompliziertere Sache; ausgehend vom Mittelmeridian wird der Abstand parallel zum Äquator bis zum Ort gemessen. Damit bei einer Lage westlich des Mittelmeridians keine negative Zahl verwendet werden muss, werden zu diesem Wert generell 500km addiert. Gewissermaßen wird also ein "Bezugsmeridian" 500km westlich angelegt. Der Rechtswert gibt den Kartenstreifen und den Abstand von diesem Bezugsmeridian an. Ist der Abstand kleiner als 500km, muss der Wert von 500km subtrahiert werden.

Das Gauss-Krüger Koordinatensystem ist ein rechtwinkliges Gitter



1.4.4. UTM-Koordinatensystem

Das UTM-System erlangt große Bedeutung, da heute die Mehrzahl aller GPS-Geräte Angaben in diesem System aufbereitet. Das Koordinatensystem weist große Ähnlichkeit mit dem Gauss-Krüger-System auf. Allerdings umfasst das „Definitionsgebiet“ von vornherein nur die Erde ohne die Polregionen, hierfür ist das System nicht gedacht (Das Polargebiet wird mit einem anderen System abgedeckt, UPS). Der nutzbare Bereich liegt bei 80°s.Breite bis 84°n.Breite.

Grundlage ist eine Schnitzzylinderprojektion von 6°-Meridianstreifen. Als Basis wurde seit der Begründung des Systems die ohnehin in den Regionen üblichen Ellipsoide genutzt (Bessel, Krassowski und andere). Zunehmend kommt aber das WGS-84-Ellipsoid zum Einsatz, um eine weltweit einheitliche Koordinatenübergabe möglich zu machen.

In Summe entstehen 60 Streifen der Erde, die auch als *Zonen* bezeichnet werden. Der Zylinder liegt dabei unterhalb der Erdoberfläche, um die Verzerrungen insgesamt zu minimieren. Der Zylinder schneidet die Erdoberfläche nicht im Mittelmeridian, sondern jeweils 180km östlich und westlich von ihm. Damit wird allerdings der Mittelmeridian selbst auch kürzer dargestellt, als er tatsächlich ist. Der Verkürzungsfaktor beträgt 0,9996, wächst aber an den Rändern in der Äquatorregion auf 1,001. Angaben aus dem Gauss-Krüger-System und dem UTM-System werden also nahezu niemals gleich sein, vor allem, wenn unterschiedliche Ellipsoide in UTM (WGS-84) und Gauss-Krüger (Bessel, Krassowski o.a.) zum Einsatz kommen.

Über jeden projizierten 6°-Meridianstreifen wird ein rechtwinkliges Gitter gelegt, dessen Ursprung beim Schnittpunkt des Äquators mit einem Bezugsmeridian 500km westlich vom Mittelmeridian des Meridianstreifens liegt. Der Mittelmeridian hat also in jedem Falle wie im Gauss-Krüger-System den Rechtswert 500 000, der hier als *false easting* bezeichnet wird. Auf der Nordhalbkugel wird die Entfernung vom Äquator als *Hochwert (false northing)* bestimmt, der Äquator selbst hat dabei den Hochwert 0 - im Gegensatz zur Südhalbkugel, wo der Äquator mit dem Hochwert 10 000 000 versehen wird. So wird auch auf der südlichen Welthälfte stets ein positiver Hochwert gemessen. Die Hoch- bzw. Rechtswerte eines Ortes auf der Erdoberfläche geben die Entfernung vom Bezugspunkt (Ursprung) in Metern an; die Koordinatenangaben sind auf eine Genauigkeit von 1 Meter ausgelegt.

Auf Grund der Unterteilung in 6°-Meridianstreifen findet sich auch im UTM-System eine Einteilung in Zonen vor. Beginnend bei der Datumsgrenze (Meridian 180°) wird ostwärts numerisch gezählt, so dass Greenwich auf der Grenze vom 30. zum 31. Sek-

tor liegt. Zusätzlich zu diesen, durch die Zylinderprojektion entstehenden Streifen, wird vom südlichsten Definitionspunkt bei 80°s.Br. ausgehend die Erde in Streifen von 8° geografischer Breite geteilt und mit Buchstaben versehen (beginnend bei C, wobei I und O wegen Verwechslungsgefahr ausgelassen werden). Der erste Streifen reicht dabei von 80° bis 78°s.Breite.

1.5. Nomenklatur von Karten

Ausgehend von einer Gauss-Krüger-Zylinderprojektion wird die Erde in 6° breite Meridianstreifen zerlegt.

Damit weist die gesamte Erde 60 senkrechte Kartenstreifen auf, die von 1 bis 60 durchnummeriert werden. Der Beginn der Zählung erfolgt bei 180° (Datumsgrenze), so dass Greenwich als Ort auf dem Nullmeridian nun an der Grenze vom 30. zum 31. Streifen liegt.

Weiterhin wird vom Äquator ausgehend die Erde in 4° breite Streifen zerlegt. So entstehen 23 horizontale, äquatorparallele Streifen bis zum Pol, die mit A bis Z bezeichnet sind. Der Streifen

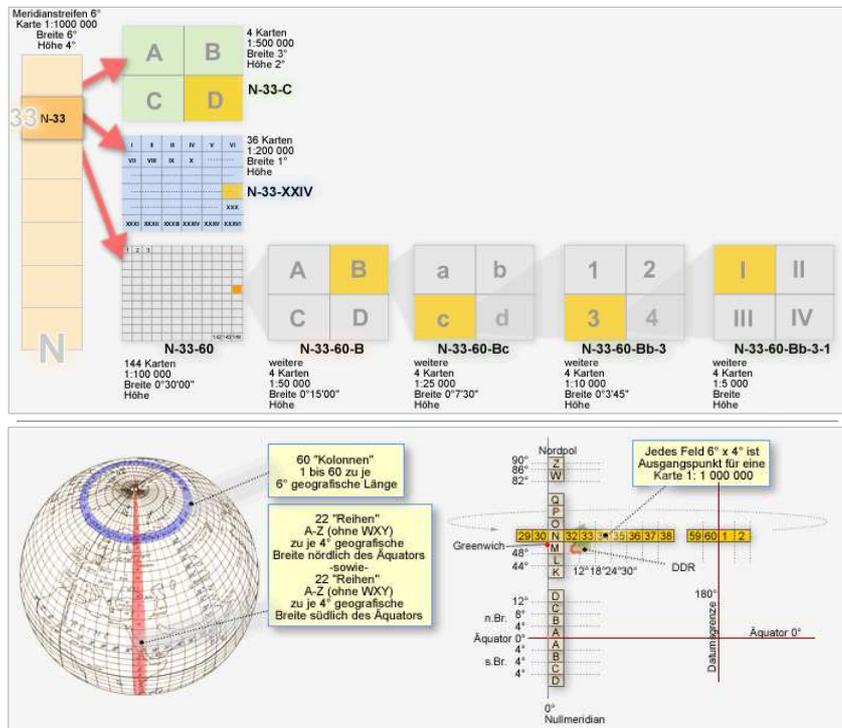


Abbildung: Aufteilung der Erde in Reihen und Kolonnen - Nomenklatur

Z hat im Gegensatz zu den anderen Streifen eine Breite von 2° (88°...90°). Die Buchstaben W,X,Y werden ausgelassen. Dieses Verfahren wird jeweils für die Nord- und Südhalbkugel angewendet. Jedes nun entstehende Feld hat eine eindeutige Bezeichnung, z.B. N-32 oder M-33, welches einen eindeutigen Ausschnitt der Erdoberfläche mit 6° geografischer Länge und 4° geografischer Breite darstellt (allerdings muss für die Angabe noch Nord- oder Südhalbkugel ergänzt werden). Das Feld wird als Ausgangspunkt für eine Karte im Maßstab 1: 1 000 000 verwendet; die Summe dieser Karten ergibt die so genannte *Internationale Weltkarte (IWK)*. Aus der Karte 1:1 000 000 (Bezeichnung z.B. N-32),

die hauptsächlich als Übersichtskarte sinnvoll erscheint, werden nachfolgende Karten erstellt:

- 14 Karten 1:500 000. Die Bezeichnung erfolgt mit Großbuchstaben A bis D (N-32-A) -oder-
- 36 Karten 1:200 000. Die Bezeichnung erfolgt mit römischen Zahlen von I bis XXXVI (N-32-XXIV) -oder-
- 144 Karten 1:100 000. Die Bezeichnung erfolgt mit Zahlen von 1 bis 144 (N-32-123) Diese wird wiederum unterteilt in
 - 4 Karten 1:50 000. Die Bezeichnung erfolgt mit den Großbuchstaben A bis D (N-32-123-A) Diese wird geteilt in
 - 4 Karten 1:25 000. Die Bezeichnung erfolgt mit den Kleinbuchstaben a bis c (N-32-123-Ac) Diese wird geteilt in
 - 4 Karten 1:10 000. Die Bezeichnung erfolgt mit den Ziffern 1 bis 4 (N-32-123-Ac-4) Diese wird geteilt in
 - 4 Karten 1:5 000. Die Bezeichnung erfolgt mit den römischen Zahlen I bis IV (N-32-123-Ac-4-III)

1.6. Unterschiede der militärischen und zivilen Kartenwerke in der DDR

	Ausgabe Staat	Ausgabe Volkswirtschaft
Basis-Ellipsoid	Krassowski	Bessel
Maßstäbe	1:1 000 000 1:500 000 1:200 000 1:100 000 1:50 000 1:25 000 1:10 000 1:5000	1:1 500 000 1:750 000 1:200 000 1:100 000 1:50 000 1:25 000 1:10 000
Einschränkungen		<ul style="list-style-type: none"> • Einschränkung der Darstellung von Ortschaften, quantitativen Aussagen zu Straßen usw. • Verringerte bis keine Darstellung von nicht sozialistischen Ländern • Auslassen militärisch relevanter Angaben • Verändertes Nomenklatursystem • abweichender Blattschnitt, damit ist nicht direkt eine evtl. gewünschte hohe topografische Lagegenauigkeit ablesbar

Auf Basis des Referenzellipsoids von Krassowski wurden aus der *Internationalen Weltkarte* (1:1 000000) nach dem oben beschriebenen (größtenteils sowjetisch dominierten) Nomenklatursystem Karten für die Verwendung in der DDR erstellt. Die gesamte (Neu)Erstellung der Karten erfolgte in den Jahren nach dem 2. Weltkrieg, wobei von vornherein auf die moderneren Grundlagen (Krassowski, HN-Höhensystem) Bezug genommen wurde.

Ab dem Jahre 1966 wurde die bis dahin einheitliche Karte als "Ausgabe Staat" bezeichnet, als VVS eingestuft und damit der normalen Verwendung im zivilen Bereich entzogen. Dafür wurde eine daraus abgeleitete Karte, die *Ausgabe Volkswirtschaft*, geschaffen, die sich in etlichen Details von der geheimnistragenden *Ausgabe Staat* unterschied.

Die strikte Trennung der Karteninhalte hielt sich bis 1986; erst dann wurde die Ausgabe Volkswirtschaft direkt aus der Ausgabe

Staat abgeleitet und ausschließlich um militärisch relevante Informationen "erleichtert". Grund waren massive Beschwerden der zivilen Nutzer über die zunehmend rigoros vereinfachten und groben Darstellungen.

1.7. Kartencodierungsverfahren SAPAD-71

Die topographischen Karten der NVA wurden je nach Maßstab mit den international üblichen Informationen zum Gradnetz und den Koordinaten (*Gauss-Krüger-System*) ausgestattet. Eine Verschlüsselung der hier vorliegenden Informationen zum Zwecke der Nachrichtenübermittlung wurde mittels des Systems SAPAD-71 (сапад-71) vorgenommen. Dabei kam eine Codetabelle zum Einsatz, anhand derer eine codierte Information abgenommen und an anderer Stelle wieder rückwärts decodiert wurde. Verschlüsselte Informationen waren auf der Karte selbst nicht eingetragen.

Für die üblichen topographischen Karten wurden je nach Maßstab unterschiedliche Tabellen und Verfahren zur Verfügung gestellt. Unterschieden wurde nach:

- 1:10 000 (verfahrensgleich mit 1:50 000)
- 1:25 000 (verfahrensgleich mit 1:50 000)
- 1:50 000
- 1:100 000
- 1:200 000
- 1:500 000

Die Information der Koordinaten ergab in der Codetabelle für Hoch- und Rechtswert eine jeweils 3stellige Zahl. Die gesamte Koordinate umfasste so 6 Ziffern, welche die codierte Information darstellten.

Weitere Ziffern ergaben sich aus dem Zufügen von detaillierten Lageinformationen, so dass die erzeugte Koordinate insgesamt 7, 8- oder zehnstellig war. Diese angehängten Detailinformationen wurden nicht mehr verschlüsselt, sondern im Klartext angehängt. Da sie aber nur Details innerhalb eines (codiert übermittelten, daher unbekannt) Planquadrates darstellten, blieb der Informationshintergrund dem Gegner trotzdem weitestgehend verborgen.

Für eine annähernde Punktbestimmung wurde bei Karten aller Maßstäbe eine weitere Unterteilung der eingedruckten Gitternetzquadrate vorgenommen.

- Variante 1
 - Unterteilung des Planquadrates in 9 Quadrate, die in Uhrzeigerichtung nummeriert wurden.

- Nochmalige Aufteilung dieses "geneun- teten" Quadrates in 4 Quadrate, in Uhr- zeigerrichtung nummeriert. Die Ver- wendung des 4er Systems im Anhang an das Neunersystem ist nicht zwingend.

Die Lageinformationen (9er-Teilung und ggfs. 4er-Teilung) wurden offen an den codierten Text angehängt; die Koordinate wurde somit *sieben-* oder *achtstellig*.

- Variante 2

Bestimmung des rechtwinklig gemessenen Millimeterbetrages von der Gitternetzlinie des Hochwertes und des Rechtswertes. Die Zahlen (jeweils 2 Ziffern) werden offen an die codierte Lageinformation angehängt und ergeben so eine *zehnstellige* Zahl.

Algorithmus zur Verschlüsselung nach SAPAD-71 (Karte 1:50 000)

- 1 Ausgehend von b1 oder b2 waagrecht nach links(Hochwert) bzw. rechts(Rechtswert) in die Spalte gehen, wo a dem Tausender+Hunderter-Teil des Hoch/Rechtswertes entspricht. Achtung: wenn b1 zutrifft, muss c1 gewählt werden; wenn b2 zutrifft, c2 wählen! (hier: von 54 ausgehend b2/c2)
- 2 In der Spalte b1 oder b2 den Zehner+Einerteil des Hoch/Rechtswertes suchen (hier: 34)
- 3 Die im Spaltenkopf vermerkte Zahl ist die erste Stelle des codierten Wertes (hier: 7)
- 4 Die in der Spalte c1/c2 gefundene Zahl ist der zweite Teil des codierten Wertes (hier: 52)

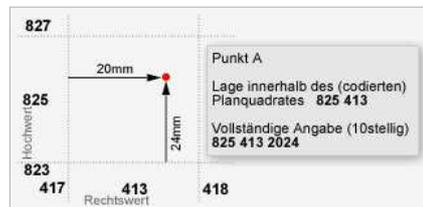
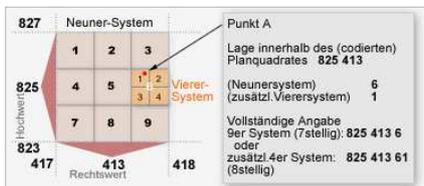
b1	b2	a	c1	a	c2
					3
99	49	62	12	62	56
98	48	13	51		
97	47	14	53		
96	46	17	55		
95	45	15	54		
94	44	16	52		
93	43	18	57		
...
54	04	85	24		
53	03	84	25		
52	02	86	23		
51	01	83	21		
50	00	87	22		

a	c1	a	b1	b2
7				
34	60	48	00	50
61	75	01	51	
63	51	02	52	
62	50	03	53	
59	52	04	54	
58	53	05	55	
57	54	06	56	
...
72	36	45	95	
76	37	46	96	
77	35	47	97	
75	34	48	98	
76	33	49	99	

Beispiel
 Klarkoordinaten: Hochwert: 6253, Rechtswert: 384
 Codierte Koordinaten: Hochwert: 384, Rechtswert: 752

Die Tabellen sind beispielhaft und müssen nicht mit tatsächlich verwendeten übereinstimmen!

SAPAD-71 Kartencodierung beim Maßstab 1:50 000



2. Flughöhen

2.1. Flughöhen und ihre Bezugsebenen

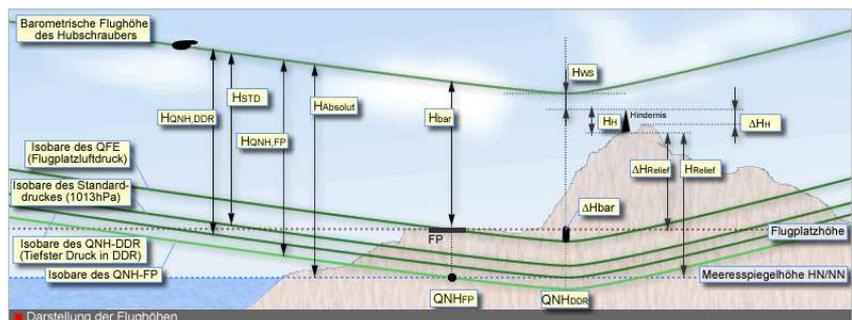
Die Flughöhe ist der vertikale Abstand des Luftfahrzeuges zu einer Bezugsebene. Übliche Anfangsmessebenen sind:

- Meeresspiegel (HN bzw. NN)
- Höhenniveau des Flugplatzes (AAL = Above Airport Level))
- Geländeerelief (AGL = Above Ground Level)
- Linien gleichen Luftdruckes
 - QFE (Flugplatz-Luftdruck)
 - STD (Standarddruck der Atmosphäre, 1013hPa=760torr)
 - QNH (auf Meereshöhe normalisierter Luftdruck eines Bezugspunktes)

Die Höhenmessung in Luftfahrzeugen kann im Allgemeinen nicht nach der genauen Messung der Höhe über dem Untergrund bestimmt werden, da hierfür normalerweise keine Ausrüstung existiert. Die Messung dieser wahren Höhe über Grund ist z.B. mit Funkhöhenmessern möglich, welche jedoch auf Grund der verwendeten Technik nur für geringe Flughöhen eingesetzt werden.

Eine übliche Methode zur Höhenmessung ist seit Beginn des Flugwesens die Bestimmung nach dem Luftdruck. Dabei wird die Höhe anhand des Druckunterschiedes zu einer Bezugsebene bestimmt. Als Bezugsebenen kommen, wie bereits oben beschrieben, der Flug-

platz in Frage (QFE), der Standarddruck von 1013hPa (STD, Druck in Meeresspiegelmöhe bei Normalatmosphäre) oder ein auf Meeresspiegelmöhe normalisierter Druck eines Bezugspunktes (QNH). Üblich ist in der DDR die Festlegung eines QNH_{DDR} gewesen, was dem tiefsten Druck der DDR in Meeresspiegelmöhe entsprach. Heute wird vornehmlich nach einem QNH_{FP} geflogen; der Höhenmesser zeigt dabei die Höhe über dem Meeresspiegel an unter Berücksichtigung der Druckverhältnisse am Flugplatz. Grundlegende Schwierigkeiten entstehen bei der Verwendung einer druckbasierten Höhenmessung aus den unterschiedlichen territorialen Verteilung der Luftdrücke. Die Flächen gleichen Luftdrucks (Isobaren) liegen nicht parallel zum Meeresspiegel über der Erde, sondern ändern sich willkürlich und sind vom Wetter abhängig. Im oberen Bild ist dieses durch die grünen Isobarenlinien dargestellt. Damit kann an unterschiedlichen Orten

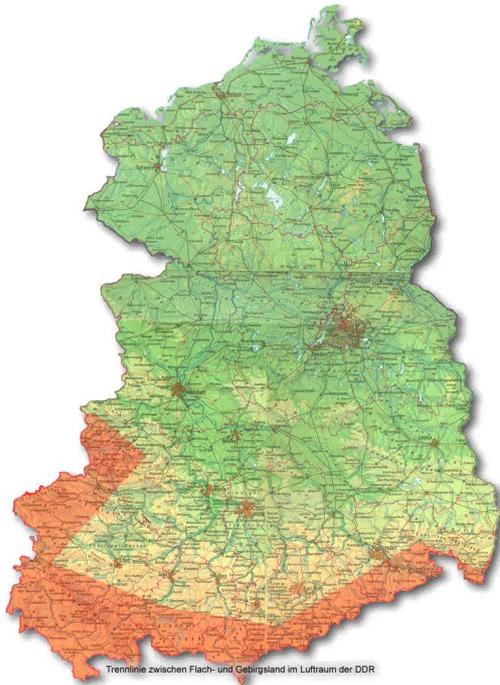


Flughöhen und ihre Bezugsebenen

des Flugraumes nicht von einer gleichen Höhe über dem Meeresspiegel oder Flugplatz ausgegangen werden, auch wenn der barometrische Höhenmesser dies anzeigt. Die Höhe über Grund ist mit dieser Methode ohnehin nicht bestimmbar, aus Sicherheitsgründen werden dann bestimmte Höhen beim Flug in den Flugräumen festgelegt.

Folgende Höhen sind relevant:

- H_{STD}
Höhe nach Standarddruck (1013 hPa). Diese Höhe wird als Basis für die Höhenmessung ab einer bestimmten Höhe genutzt (Übergangshöhe 1200m, s. weiter unten)



- H_{BAR}
Barometrische Höhe; Höhe über dem Flugplatz - normalerweise wird der Höhenmesser auf den Druck am Flugplatz eingestellt (QFE). Am Flugplatz zeigt er somit 0 an.
- H_{QNH} (DDR oder FP)
Höhe über dem am Ort der Messung normalisierten, d.h., auf Meeresspiegelhöhe umgerechneten Druck. Im Falle von QNH_{DDR} ist dies der tiefste in der DDR vorkommende Luftdruck, der als Bezugshöhe 0 gesetzt wird. Beim QNH_{FP} ist es der auf Meeresspiegelniveau umgerechnete Luftdruck am Flugplatz.
- H_{Relief}
Höhe des Geländereiefs über dem Meeresspiegel. Diese Höhe ist aus der Karte bestimmbar.
- $D_{H,Relief}$
Höhendifferenz zwischen der Flugplatzebene und der Geländehöhe
- H_H
Höhe eines Hindernisses über Grund
- $D_{H,H}$

Differenz zwischen der höchsten Geländeerhebung im betrachteten Raum und der diese überragenden Hindernisoberkante.

- H_W
Wahre Flughöhe (nicht eingezeichnet) des Luftfahrzeuges über dem Geländereief oder den Hindernissen, in jedem Punkt der Flugbahn neu bestimmbar.
- H_{WS}
Wahre Sicherheitsflughöhe. Wird festgelegt, um in einem bestimmten Flugraum unter allen Umständen eine Mindesthöhe über dem höchsten Hindernis unter Berücksichtigung des Luftdruckverlaufs im Flugraum zu gewährleisten. Je nach Größe des Flugraumes wird sie unter Zuhilfenahme des QNH_{DDR} festgelegt, bei kleineren Flugräumen (Hubschrauber) auch mit Hilfe des QFE.
- $D_{H,Bar}$
Differenz der absoluten Höhe des Flugplatzes zur Höhe nach QNH_{DDR} .
Die Veränderung des Luftdruckes mit der Höhe beträgt annähernd 1 torr je 11m Höhe. $D_{H,bar}$ beträgt damit $(QNH_{FP} - QNH_{DDR}) * 11$.

2.2. Staffelungshöhen und Sicherheitsflughöhen in der DDR

In der DDR erfolgen die Flüge in festgelegten Staffelungshöhen und im Raum darunter. Die untere Staffelungshöhe beträgt

- nördlich der Linie *Ostritz-Löbau-Bischofswerda-Aue-Pößneck-Eisenach-Thale-Osterwieck* 1500m
- südlich der Trennungslinie 1850m

Die Staffelungen betragen nach Sicht- und Instrumentenflugregeln

- für Flüge in/über der unteren Staffelungshöhe bei $v > 300 \text{ km/h}$: 600m
- für Flüge in/über der unteren Staffelungshöhe bei $v < 300 \text{ km/h}$: 300m
- für Flüge unter der unteren Staffelungshöhe bei $v > 300 \text{ km/h}$: 300m
- für Flüge unter der unteren Staffelungshöhe bei $v < 300 \text{ km/h}$: 150m
- für Flüge zur Hubschrauberausbildung werden 100m festgelegt.

Die Wahre Sicherheitsflughöhe wird gemäß den Hauptflugregeln der DDR (HFR-72) festgelegt:

- Sichtflugregeln $v < 300 \text{ km/h}$: 50m Tag
- Sichtflugregeln $v < 300 \text{ km/h}$: 200m Nacht
- Instrumentenflugregeln $v < 300 \text{ km/h}$: 200m nördlich der o.g.Trennlinie
- Instrumentenflugregeln $v < 300 \text{ km/h}$: 600m südlich der o.g.Trennlinie

Für die Höhenmessung bzw. deren Bezugsebene werden in der DDR festgelegt:

- Übergangshöhe 900m
Beim Steigen wird in einer Höhe von 900m auf den Standarddruck STD (760t/1013hPa) umgestellt. Unterhalb dieser Höhe wird nach QFE oder QNH geflogen.
- Übergangsfläche 1200m
Beim Sinken durch 1200m wird von STD auf den jeweiligen QFE bzw. QNH umgestellt.

Für die Berechnung der Sicherheitshöhen werden die Hindernisse und Erhebungen links und rechts der BWL einbezogen:

- 3km (Tag)
- 10km (Nacht)
- 25km (SWB)

Die **Geräteflughöhe** H_G ist der Höhenwert, der am barometrischen Höhenmesser einzunehmen ist, um die befohlene Flughöhe über dem Relief und den Hindernissen einzuhalten. Die Geräteflughöhe muss vor jedem Flug berechnet werden. In die Berechnung geht der Gerätefehler $D_{H,G}$ ein, dieser ist gerätespezifisch und aus der Dokumentation des Höhenmessers ablesbar.

3. Fluggeschwindigkeiten

Es gibt in der Luftfahrt mehrere Arten der Messung der Geschwindigkeit:

- Aerometrische Geräte
Die Fahrtmesser werten Druckdifferenzen aus, die bei der Bewegung des Luftfahrzeuges in der umgebenden Luft entstehen. Mit diesen Geräten kann nur eine Geschwindigkeit gegenüber der Luft bestimmt werden, die für navigatorische Angaben wichtigere Geschwindigkeit gegenüber dem Boden ist nicht unmittelbar messbar.
- Messung der Bewegung gegenüber dem Erdboden per Doppellerradar (Funk/Funkmess)
- Auswertung der Kräfte in einem Trägheitsnavigationssystem
Massenkörper werden in diesem Navigationssystem bei einer beschleunigten Bewegung des Luftfahrzeuges ausgelenkt. Über die gemessenen Kräfte wird direkt die Beschleunigung bestimmt, durch eine Integration über die Zeit lassen sich auch andere Parameter wie Geschwindigkeit und zurückgelegte Wegstrecke bestimmen. Die Trägheitsnavigation ist ein sehr aufwendiges System, wurde und wird m.W. in der Raketentechnik intensiv genutzt.
- Bestimmung der Koordinaten per GPS
Aus der zurückgelegten Entfernung und der Zeit lässt sich die Geschwindigkeit gegenüber dem Erdboden bestimmen.
- Bestimmung der Koordinaten/ Annäherung durch ein Funkmessmittel zur Entfernungsbestimmung (z.B.DME)

Die bedeutendste, da für das Fliegen selbst und die aerodynamische Wirkung wichtig, ist (nach wie vor) die Messung der Geschwindigkeit gegenüber der Luft. Die Messung der Flugge-

Geräteflughöhe

$$H_{G,STD} = H_{Ref} - \Delta H_G$$

Die **Gerätesicherheitflughöhe** H_{GS} wird berechnet und eingehalten, um den Zusammenstoß mit bodengebundenen Hindernissen zu vermeiden. In sie geht zusätzlich die erforderliche Sicherheitshöhe H_{WS} gemäß der Wetterbedingungen, Fluggeschwindigkeit und der Staffelungshöhen ein:

Gerätesicherheitsflughöhe

$$H_{GS,QFE} = H_{WS} + \Delta H_H + \Delta H_{Rel} + 11(QNH_{FF} - QNH_{DDR}) - \Delta H_C - \Delta H_G$$

Die Gerätesicherheitsflughöhe wird für jeden Flug in und außerhalb des Flugleitungsbereiches festgelegt, gemäß den obigen Abweichungen von der BWL. Im Umkreis des Flugplatzes wird ein Radius von 60km für die Berechnung zugrunde gelegt.

Unterhalb der unteren Staffelungshöhe wird die Gerätesicherheitshöhe nach QNH bestimmt, oberhalb nach Standarddruck STD.

geschwindigkeit wird normalerweise mit einem Fahrtmesser (Geräte) vorgenommen, der anhand des am Luftfahrzeug auftretenden statischen und dynamischen Drucks die Geschwindigkeit bestimmt. Im Bereich von geringen Flughöhen und Geschwindigkeiten gelten dabei recht einfache Bedingungen, diese werden aber in größeren Höhen- und Geschwindigkeitsbereichen komplizierter. Das sich verändernde Verhalten der Luft (Abnahme der Luftdichte, Kompressibilität) führen zu Abweichungen der resultierenden Geschwindigkeiten, je nachdem, welche Korrekturparameter berücksichtigt werden.

- V_G Angezeigte Fluggeschwindigkeit (Gerätefluggeschwindigkeit) oder IAS (indicated air speed)
Geschwindigkeit, die dem auftretenden Staudruck entspricht. Die Luftdichte nimmt mit der Flughöhe ab, somit wird der Staudruck bei gleichbleibender Geschwindigkeit gegenüber der Luft geringer. Die Gerätegeschwindigkeit ist damit geringer als die wahre Eigengeschwindigkeit v_w (TAS).
Die Gerätefluggeschwindigkeit ist jedoch ausschlaggebend für die Wirksamkeit der Steuerung, da die an den Rudern und Flächen entstehenden Auftriebskräfte von der Luftdichte abhängig sind. Die Auftriebserzeugung ist in der Höhe geringer als bei gleicher wahrer Eigengeschwindigkeit in Bodennähe.
- V_W Wahre Eigengeschwindigkeit, TAS (true air speed)
Bei einer Anzeige der v_w im Luftfahrzeug werden die Fehler infolge der Dichteänderung, Kompressibilität und aerodynamische Fehler korrigiert. Die Wahre Eigengeschwindigkeit ist die tatsächliche Geschwindigkeit gegenüber der Luft.

Für den Einsatz in langsamen und relativ niedrig fliegenden Luftfahrzeugen, wie Hubschrauber und Sportflugzeuge, ergeben sich zwischen den v_w und v_G keine verwertbaren Differenzen. Wichtig wird die Differenz bei Jagdflugzeugen u.ä. Hier existieren auch kombinierte Anzeigeräte, die mit zwei Zeigern beide Geschwindigkeiten darstellen.

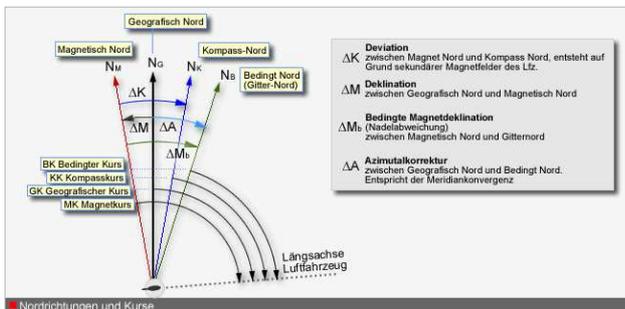
Dagegen ist für die Navigation die Geschwindigkeit gegenüber dem Erdboden interessant; diese weicht i.d.R. von der Eigengeschwindigkeit des Luftfahrzeuges gegenüber der Luft ab. Eine direkte Bestimmung der Geschwindigkeit gegenüber dem Boden ist

4. Navigatorische Grundlagen

4.1. Nordrichtungen und Kurse

Der Kurs ist zur Bestimmung der Flugrichtung des Luftfahrzeuges notwendig. Er ist der Winkel zwischen einer Bezugsrichtung (Norden) und der Längsachse des Luftfahrzeuges. In der Praxis werden unterschiedliche Nordrichtungen und damit mehrere Kurse unterscheiden.

- Geografische Nordrichtung (rechtweisend Nord)
 - Ist die kürzeste Verbindung zwischen den Polen der Erde und stimmt mit den Meridianrichtungen überein.
- Magnetische Nordrichtung (missweisend Nord)
 - Richtung der magnetischen Feldlinien zum magnetischen Nordpol. Die Lage des magnetischen Pols ändert sich ständig.



Definition der Nordrichtungen und zugehöriger Kurse

1980 lag die Abweichung der magnetischen von der geografischen Nordrichtung bei 1.55° in Berlin.

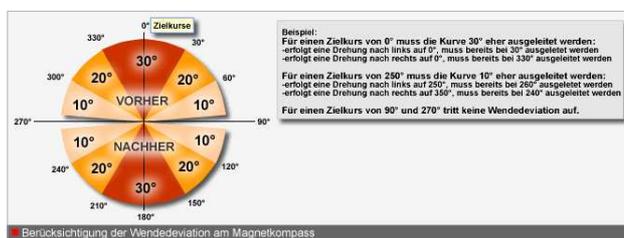
- Bedingte Nordrichtung
 - Richtung der Senkrechten im Gitternetz der Karte. Verläuft parallel zum Mittelmeridian jedes Meridianstreifens. Zu diesem parallel verlaufen die Gitterlinien des Gauß-Krüger-Koordinatensystems. Die Abweichung (Azimutalkorrektur) wächst mit dem Abstand vom Mittelmeridian des Kartenstreifens. Erklärung siehe oben bei Gauß-Krüger-System.
- Nordrichtung der Kompassanzeige
 - Nordrichtung, von der aus unter Beachtung der Magnetdeviation die endgültige Größe des angezeigten Kompasskurses bestimmt wird.

mit erheblichem Aufwand verbunden und lässt sich nicht mit dem in jedem Flugzeug vorhandenen Fahrtmesser vornehmen. Somit muss anhand der Windgeschwindigkeit die tatsächliche Geschwindigkeit gegenüber der Erde berechnet werden, wenn man keine der anderen o.g. Messmethoden anwendet.

Insbesondere muss für den Flug auf einer geplanten Strecke der Wind hinreichend berücksichtigt werden, da neben der Geschwindigkeit auch die Bewegungsrichtung verändert wird.

Insbesondere die Messung der magnetischen Nordrichtung wird von einer Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt.

- Magnetanomalien

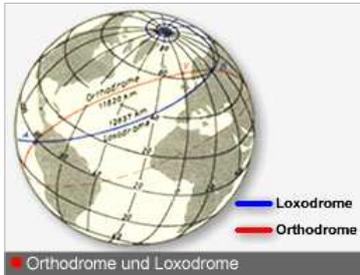
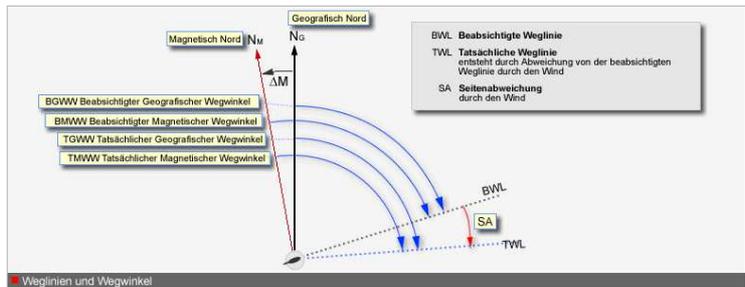


Wendedevisation

- Räumlich begrenzte Störungen des Erdmagnetfeldes
- Magnetstürme
 - im äußeren Erdmagnetfeld, ausgelöst durch UV-Emission (Protuberanzen der Sonne)
- Deviationen
 - Konstante Deviation
 - Ursache: Kompaktes Weicheisen in der Nähe des Kompass'. Es erzeugt durch das Erdmagnetfeld eine konstante Ablenkung. Abhilfe ist die geschickte räumliche Anordnung.
 - Viertelkreisdeviation
 - Ursache: Weicheisenstäbe in großer Entfernung zur Kompassrose. Die erreicht ihr Maximum bei 45° , 135° , 225° , 315°
 - Halbkreisdeviation
 - Ursache: Magnetisches Harteisen, welches ein permanentes Magnetfeld hervorruft.
 - Wendedevisation
 - Vor und Nachlauf des Magnetkompass beim Kurvenflug. Die Wendedevisation hat sehr große Auswirkungen beim Kurvenflug nach einem "echten" Magnetkompass (Schnapskompass). Dabei muss der Punkt des Ausleitens der Kurve in Abhängigkeit vom angestrebten Kurs korrigiert werden.
 - Neigungsdeviation

Abweichung des Magnetkompass in Abhängigkeit von Steigen oder Sinken und dem jeweiligen Kurs. So werden angezeigt:

- Steigflug 090° - größerer Kurs
- Steigflug 270° - kleinerer Kurs
- Sinkflug 090° - kleinerer Kurs
- Sinkflug 270° - größerer Kurs

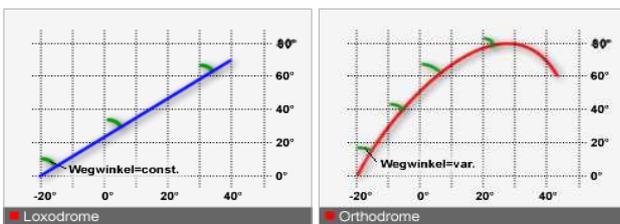


4.2. Weglinien und Wegwinkel

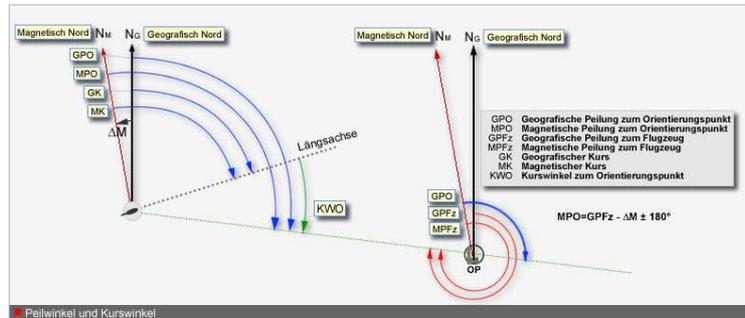
Die Weglinie ist die Projektion der Flugbahn eines Luftfahrzeuges auf die Erdoberfläche.

Als Wegwinkel wird der Winkel zwischen einer Nordrichtung (magnetisch, geografisch, Gitter) und einer Weglinie bezeichnet. Für große Flugstreckenentfernungen auf der Erdkugel (von der vereinfachend ausgegangen wird; das Geoid ist nur in der Gedäsie interessant) ergeben sich mehrere mögliche Wege zwischen 2 Punkten. Es gibt den **orthodromen** und den **loxodromen** Kurs (und Wegwinkel), welche durch das geografische Gradnetz auf der Erde und die Anwendung des sphärischen Koordinatensystems entstehen.

- Orthodromer Kurs/ Wegwinkel
Die Orthodrome ist stets ein Teilstück eines Großkreises (also eines "geneigten Meridians", der stets die Länge des Erdumfangs hat). Die Orthodrome ist die kürzeste Verbindung zwischen 2 Punkten auf der Erdoberfläche. Die Orthodrome schneidet alle Meridiane unter unterschiedlichen Winkeln, der Kurs wechselt also ständig - sieht man von Sonderfall entlang des Äquators oder des Meridians ab. Der Flug auf der Orthodrome wird durch besondere Betriebsarten (GPK - Kreiselhalbkompass) von Kurssystemen sichergestellt.



- Loxodromer Kurs/Wegwinkel
Die Loxodrome schneidet alle Meridiane unter gleichen Winkeln. Die Loxodrome liegt stets zwischen der Orthodrome und dem Äquator, also auf der Nordkugel südlich der Orthodrome. Durch den Flug mit konstantem Kurs (Magnet- oder



geografischer Kurs) wird die Loxodrome eingehalten. Die Loxodrome ist i.d.R. nicht der kürzeste Weg zwischen 2 Punkten auf der Erdoberfläche.

4.3. Peil- und Kurswinkel

Peilwinkel entstehen durch das Messen der entsprechenden Winkel vom Standort des Hubschraubers aus zum Orientierungspunkt. Die Kurswinkel werden bestimmt durch die Winkel zwischen der Luftfahrzeuglängsachse und der Richtung zum OP. Damit lassen sich die Richtungen zu Orientierungspunkten als absolute oder relative Peilung angeben.

In der Praxis lassen sich die Orientierungspunkte auch gegen Funkfeuer austauschen; damit kommt man zu den grundlegenden Größen der Funknavigation: KWF (Kurswinkel zum Funkfeuer), GPFZ (Geografische Peilung zum Funkfeuer) usw.

4.4. Die Nutzung von Sonne und Mond zur allgemeinen Flugrichtungsbestimmung

Bestimmung nach der Sonne

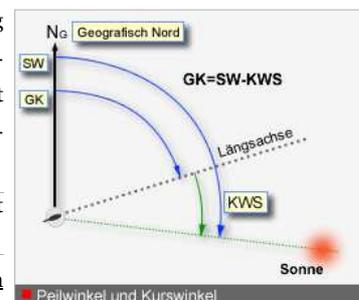
Die scheinbare Bewegung der Sonne führt diese jede Stunde um 15° in Richtung Westen. Damit ist in Abhängigkeit von der Tageszeit die Richtung relativ gut bestimmbar:

Uhrzeit (in h) * 15°/h ergibt den Sonnenwinkel.

Bestimmung nach dem Mond

Bestimmung zu- oder abnehmend wieviel Zwölftel sind zu sehen?

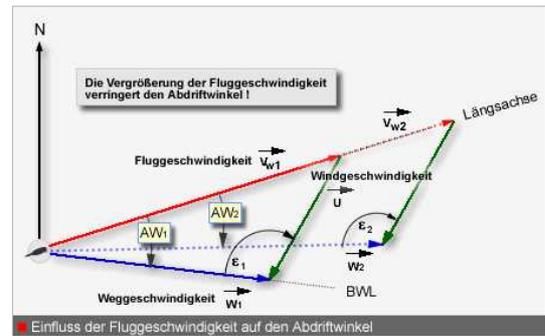
die Anzahl der Zwölftel gibt die Dimension der Stunden an



bei zunehmendem Mond die Stunden von der Uhrzeit abziehen,
bei abnehmendem addieren - das führt zu einem fiktiven Sonnen-
winkel

(MW = Mondwinkel)

GK=MW-KWM



5. Der Einfluss des Windes auf den Flug

5.1. Navigatorisches Geschwindigkeitsdreieck

Der Wind treibt das Luftfahrzeug von seiner seiner Flugbahn über Grund ab, die es normalerweise mit dem eingestellten Kurs anstrebt. Der unberücksichtigte Einfluss des Windes führt zu unterschiedlichen Wegwinkeln. In der Praxis wird dagegen die Berücksichtigung des Windes erforderlich, um auf der beabsichtigten Weglinie zu bleiben. Die beabsichtigte und die tatsächliche Weglinie müssen in Übereinstimmung gebracht werden. Dazu muss ein berechneter Windvorhalt eingenommen werden. Der Wind treibt das Luftfahrzeug um einen bestimmten Winkel ab, so dass dieses nun in eine andere Richtung als der Kurs bewegt. Durch die Berechnung wird sichergestellt, dass die Abdrift durch den Wind das Luftfahrzeug genau auf die beabsichtigte Weglinie führt.

Grundlage der Windberechnung ist das navigatorische Geschwindigkeitsdreieck. Dabei werden alle Geschwindigkeiten gemäß ihrer mathematischen Struktur als Vektor betrachtet (Betrag, Richtung, Richtungssinn). Damit ist das Dreieck nichts weiter als eine reine Vektoraddition. Für den Flieger wichtig sind jedoch die numerischen Werte, damit sie im Flug entsprechend berücksichtigt werden können.

Die Windrichtung wird als meteorologische Windrichtung vom Meteorologischen Dienst bekannt gegeben. Diese gibt an, *woher* der Wind kommt und ist damit nicht brauchbar. Mit einer Addition von 180° erhält man die navigatorische Windrichtung, die anzeigt, *wohin* der Wind weht. Der so entstandene Windvektor u wird mit dem Vektor der Eigengeschwindigkeit v addiert. Beides führt als Summe zu der Weggeschwindigkeit w , die im Idealfall richtungsmäßig auf der BWL verläuft. Aus der Darstellung ist zu erkennen, dass der Wind Einfluss sowohl auf die Abdrift und damit den einzunehmenden Kurs als auch auf den Betrag der Geschwindigkeit über Grund nimmt.

Der Abdriftwinkel und die Weggeschwindigkeit werden anhand der nebenstehenden Formeln bestimmt. Für den Abdriftwinkel existiert eine Näherungsformel, da dieser relativ klein ist und damit der Näherung folgt, dass der Winkel ca. $60 \times$ dem Sinus dieses Winkels entspricht. Praxisrelevanz war nur insofern gegeben, dass mit den von 20 oder 30 Jahren üblichen Mitteln nicht so schnell die Umkehrung eines Sinus berechnet werden konnte.

Die Veränderung der Fluggeschwindigkeit führt gemäß anschaulicher Vektoraddition zu einer Veränderung des Abdriftwinkels. Je größer die Fluggeschwindigkeit, desto geringer der Abdriftwinkel. Entscheidend ist also das Verhältnis von Flug- zu Windgeschwindigkeit.

In der fliegerischen Praxis in der NVA und auch den anderen Fliegern der in DDR stand zur einfachen Berechnung aller möglichen navigatorischer Aufgaben der Navigationsrechenstab NR-10 zur Verfügung. Die Streckenberechnung bzw. Windberechnung zählte zu den alltäglichen Aufgaben und musste gnadenlos beherrscht werden.

5.2. Navigatorische Elemente zur Korrektur des Flugweges

Wird der Wind während des Fluges nicht oder nicht richtig berücksichtigt, treten Abweichungen der TWL von der BWL auf. Anhand von Kontroll-Orientierungspunkten (KOP) lässt sich die Abweichung von der BWL feststellen und gegebenenfalls eine Korrektur vornehmen. Wird das Luftfahrzeug durch den Wind von der BWL abgetrieben, entsteht eine Lineare Seitenabweichung (gemessen in km) und eine Seitenabweichung als zugehöriger Winkel. Der Kurs des Hubschraubers muss im (vermeintlichen) KOP1 korrigiert werden, indem vom Kurs die Seitenabweichung (die einen Flug parallel zur BWL sicherstellen würde) und darüber hinaus eine Zusatzverbesserung abgezogen wird. Die Zusatzverbesserung ergibt sich aus der linearen Seitenabweichung und der zurückzulegenden Reststrecke bis zum KOP2. Aufgrund der Winkelbeziehung ist hier der Einsatz einer Tangens-Funktion nötig, die nicht so ohne weitere Hilfsmittel bestimmbar ist. Günstig ist, wenn hier die Reststrecke genau so lang wie die zurückgelegte Strecke ist, da dann die Zusatzverbesserung genau so groß wie die Seitenabweichung ist. Die Seitenabweichung und die Zusatzverbesserung ergeben die Kursberichtigung, die im KOP1 vorgenommen wird. Darüber wird sichergestellt, dass im KOP2 sich das Luftfahrzeug wieder auf der BWL befindet. Hier muss nun der Kurs wieder um die Zusatzverbesserung erhöht werden, was mathematisch dem ursprünglichen Kurs abzüglich der Seitenabweichung entspricht.

Die aufgezeigten Elemente sind Voraussetzung für das Erfliegen des Windes, d.h. der Bestimmung des Windes aus den aufgetretenen Abweichungen. Ausgehend vom BMWW und der bekannten v werden nach Bestimmung der Weggeschwindigkeit w und der Seitenabweichung SA die Daten des Windes (Geschwindigkeit, Richtung) bestimmt. Hilfreich ist hierbei der Navigationsrechenstab NR-10.

Richtung) bestimmt. Hilfreich ist hierbei der Navigationsrechenstab NR-10.

