

Karten, GPS & Projektionen

Licht in den Dschungel der Kartenprojektionen

von Herbert Schirmer

Die Neugier vieler Bergsteiger auf Satellitennavigation nimmt stetig zu, und die am Markt befindlichen Geräte erfüllen längst die Bedingungen, die Bergsteiger stellen: Klein, handlich, erschwinglich. Und auch der Umgang mit dem „High Tech Kompaß“ ist rasch erlebbar. Über Probleme, die sich im Zusammenspiel mit der Alpenvereinskarte ergeben, wissen nur wenige Bescheid. Herbert Schirmer gibt Einblick in die sehr komplexen Grundlagen der Kartenprojektionen und berichtet über die Zukunftspläne der Alpenvereinskartographie:

GPS-Navigation für Bergsteiger

Die Meinungen über das Navigationsgerät GPS (Global Positioning System) gehen ziemlich auseinander. In alpinen Lehrbüchern wird fast durchwegs vor übertriebener Euphorie gewarnt - sogar als „technisches Spielzeug“ wurde es abgestempelt. Auch wir Kartographen des Alpenvereins bevorzugen bei unseren Geländeerhebungen den Höhenmesser und Kompaß und versuchen anhand des Höhenlinienmodells, die Situation (Wegenetz, Häuser, Hinweistafeln usw.) in der Arbeitskarte möglichst exakt zu plazieren. Es gibt aber auch Landschaftsformen, wo der Einsatz von GPS-Geräten den herkömmlichen Instrumenten eindeutig überlegen ist. Auf Plateaubergen und Gletschern ist der Höhenmesser aussagelos und die Richtung einer Messung mit dem Kompaß unbefriedigend, wenn nicht vor Nebelbruch

eine Standortbestimmung durchgeführt wurde.

Bei Segeltörns, Wüstendurchquerungen und Streckenflügen mit dem Segelflugzeug hat sich GPS längst als Standard-Navigation durchgesetzt. Die Weiträumigkeit des umgebenden Mediums verzeiht hier Positionsfehler bis zu 100 Meter. Im Gebirge können 4 mm Lagefehler in der Karte im Maßstab 1:25 000 schon zu fatalen Verwechslungen führen. Fairerweise muß man allerdings erwähnen, daß Ungenauigkeiten in dieser Größenordnung auch mit den traditionellen Navigationsgeräten möglich sind. Die Methode des Differential-GPS (DGPS) würde hier Abhilfe schaffen. Die von einer GPS-Referenzstation über UKW ausgesendeten Korrektursignale können anhand eines Empfangsdecoders an das GPS-Gerät weitergeleitet werden. Die Signale werden auf der gleichen Frequenz wie das Rundfunkprogramm „Ö1“ ausgesendet und haben daher auch das gleiche Verbreitungsgebiet. Die

Es gibt Landschaftsformen, wo der Einsatz von GPS-Geräten den herkömmlichen Instrumenten eindeutig überlegen ist: Auf Plateaubergen und flachen Gletschern zum Beispiel. Die heute am Markt befindlichen Geräte erfüllen zudem längst die Bedingungen, die Bergsteiger stellen: Klein, handlich, erschwinglich.

erzielte Genauigkeit von 2 - 5 m macht euphorisch, allein die Kosten (etwa ATS 10.000,- für das Empfangsgerät, ATS 4.800,- Jahresabgabe), die Unhandlichkeit des Empfangsgerätes und die doch eingeschränkte Verbreitung der UKW-Korrektursignale machen diese Möglichkeit in der Bergsteigerpraxis unmöglich.

Das Manko älterer GPS-Geräte, durch Abschattung von Geländeerhebungen, Vegetation oder anderen Hindernissen keine Positionsbestimmungen zuzulassen, ist durch Steigerung der Empfangsensibilität wesentlich verbessert worden. Moderne Geräte erlauben sogar im dichtesten Urwald Satellitensignale zu empfangen, nur in engen V-Tälern wird weiterhin der Sinn für das Kartenlesen gefordert. Der Batterieverschleiß ist beim Einsatz von GPS-Geräten nicht unerheblich. Die Ladekapazität der Batterien nimmt bei großer Kälte und hoher Luftfeuchtigkeit rasch ab.

Ich möchte daher die dringende Empfehlung aussprechen, sich bei der Orientierung niemals allein auf das GPS-Gerät zu ver-

lassen. Das Gefühl der Sicherheit, mit einem GPS-Gerät immer das Ziel zu finden, ist ebenso trügerisch, wie das Einfahren in lawinengefährdete Hänge mit dem Airbag.

Lagegenauigkeit der AV-Karte

Das stete Verlangen, die Alpenvereinskarte GPS-tauglich zu machen, hat in der Alpenvereinskartographie zur Umsetzung neuer Wege geführt. Zunächst zögerten wir noch, um nicht einem kurz aufflackernden Trend zu erliegen. Der Arbeitsaufwand, die AV-Karte mit einem durchgezogenen geodätischen Netz zu versehen, ist weitaus größer als es vermuten läßt. Um die Problematik zu beleuchten, ist ein Rückblick auf die Entstehung der Karte notwendig.

Die photogrammetrische Aufnahme und Auswertung der meisten AV-Karten erfolgte in der Zeit bis Mitte der Fünfziger Jahre. Die Technik der Luftbildvermessung war damals noch wenig entwickelt und fand auch bei den amtlichen Karten keine Anwendung. So wurde das Gelände statt aus der Luft von der gegenüberliegenden Talseite fotografiert, ein Verfahren, das als terrestrische Aufnahme oder Erdbildmessung bezeichnet wird. Leider ist dieses Verfahren fehlerhaft, besonders was die Lagegenauigkeit betrifft. Von jedem Stereopaar, das von einer Talseite aufgenommen wurde, konnte ein Höhenlinienmodell ausgewertet werden. Die ganze Karte setzte

sich daher aus einer Vielzahl solcher Modelle zusammen, die aneinandergesetzt werden müssen. Und hier kann es, je nach Qualität der Aufnahme und Auswertung zu Spannungen (Klaffungen, Überlappungen) kommen. Beim Vergleich mit modernen Vermessungen ergeben sich im Extremfall Lagefehler bis zu einem Zentimeter in der Karte - das heißt, wenn ich die Lage des darüber zu legenden Netzes optimiere, kann es in der Karte immer noch einen Punkt geben, der gegenüber seiner koordinativ richtigen Lage um 1 cm verschoben ist. Ein Umstand, der für den Bergsteiger, der mit Karte, Höhenmesser und Bussole unterwegs ist, kaum Auswirkungen zeigt. Er wird seine Richtungsmessungen innerhalb eines kleinen Teilgebietes der Karte vornehmen, wo der relative Lagefehler der anvisierten Punkte zueinander geringer ist. Anders ist die Situation für den GPS-Benutzer, der sich allein am geodätischen (UTM, Gauß-Krüger usw.) oder geographischen Netz¹ orientiert. Es wäre nicht verantwortlich, ein Netz über eine AV-Karte zu legen, deren maximaler Lagefehler in der Karte 1 cm (bei 1:25 000 entspricht dies 250 m in der Natur) beträgt. Die Alpenvereinskartographie ist bestrebt, neue Wege zu gehen. Karten, bei denen der Aufdruck eines geodätischen Netzes nicht vertretbar ist, sollen nun entzerrt werden. Erste Versuche werden bereits durchgeführt.

Wichtig: AV-Karten im Maßstab 1:50 000 sind Zusammendrucke von Blättern des Bundesamtes, die aus Luftbildern ausgewertet worden sind. Sie unterliegen daher nicht den angeführten Lageungenauigkeiten. (Übersicht über bereits vorliegende, GPS-taugliche Alpenvereinskarten siehe Seite 12.)

Gauß-Krüger-Projektion

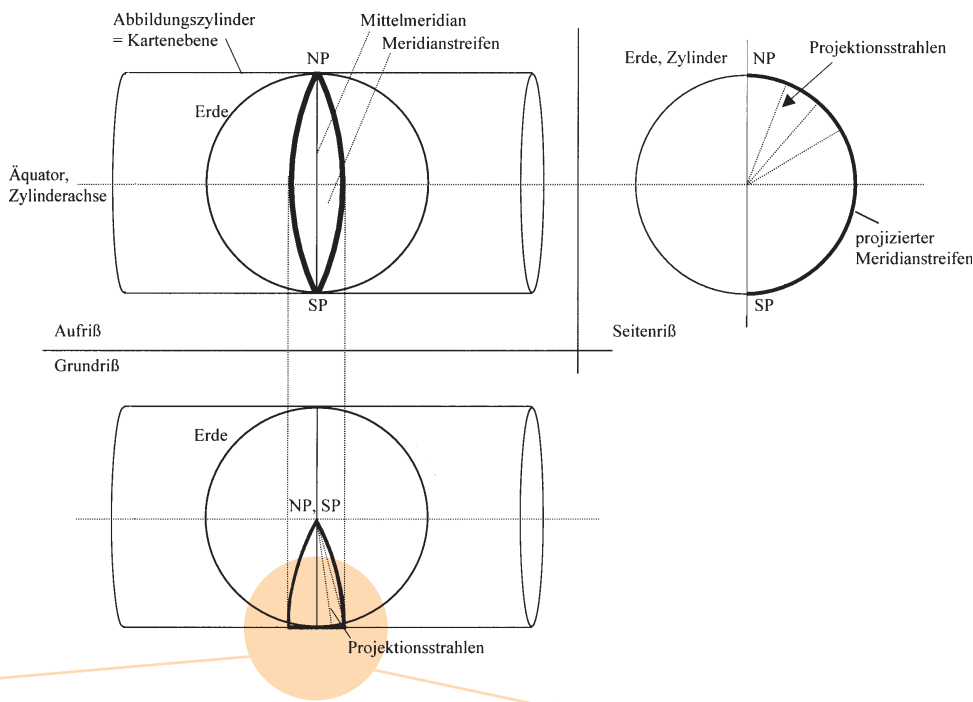
Um einen Teil der Erdoberfläche in einer Karte abbilden zu können, bedient man sich diverser Kartenprojektionen. Für großmaß-

stäbige Karten werden vorwiegend konforme (= winkeltreue) Zylinderprojektionen verwendet, die es erlauben, einen in der Natur gemessenen Winkel direkt in die Karte zu übertragen. Die bekanntesten Vertreter dieser Projektionsart sind die „Gauß-Krüger-Projektion“ und die „Universale Transversale Merkatorprojektion“ (UTM).

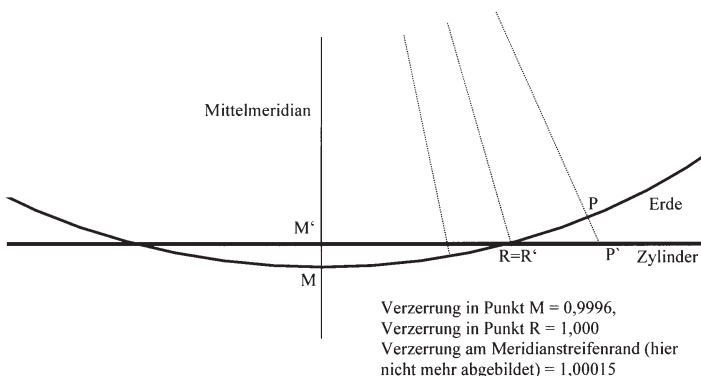
In Österreich, Deutschland und Italien (hier heißt sie Gauß-Boaga) baut sich das Netz der Landesvermessung auf Gauß-Krüger-Koordinaten auf. Die Erdoberfläche wird hier auf einen Zylinder

der abgebildet, dessen Achse in der Äquatorebene (transversale Abbildung; siehe Abb. 1) liegt. Der Zylinder berührt das Erdellipsoid entlang eines Meridians, dem sogenannten Mittelmeridian, der sich als einzige Linie längentreu abbildet. Sämtliche andere Strecken in dieser Abbildung sind minimal längenverzerrt, was jedoch für den Kartenbenutzer aufgrund der sehr kleinen Größe unbedeutend ist. Eine absolut längentreue Abbildung eines Ellipsoides in eine Ebene ist unmöglich. Um die Verzerrungen möglichst gering zu halten, wer-

Konforme, transversale Zylinderprojektion



Universale Transversale Merkatorprojektion (UTM)



Gauß-Krüger-Projektion

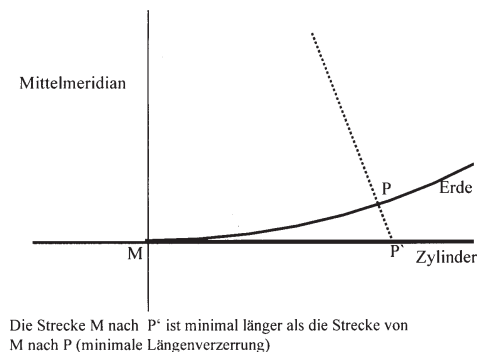


Abb.1: Das Grundproblem der Kartographie: Eine gekrümmte Fläche (Erde) muß in eine Ebene (Karte) abgebildet werden. Die beiden wichtigsten Projektionsverfahren – Gauß-Krüger und UTM – sind hier schematisch dargestellt. Beiden gemeinsam ist dabei, daß eine „Orangenspalte“ (=Meridianstreifen) der Erdoberfläche auf einen Zylinder projiziert wird. Dabei entstehen Längenverzerrungen. Der Unterschied zwischen den beiden Projektionen besteht darin, daß bei der Gauß-Krüger-Projektion der Zylinder die Erde berührt, beim UTM-Verfahren die Erde durchschneidet.

1 Ein Unterschied zwischen einem geodätischen Netz und einem geographischen Netz ist der, daß ersteres mit der Einheit Meter arbeitet, letzteres mit der Einheit Grad, Minuten und Sekunden.

GPS-taugliche Alpenvereinskarten

AV-Karten mit einem durchgezogenen geodätischen Netz:

Gauß-Krüger-Projektion:

- Innsbruck-Umgebung, 1:50 000 (1996)
- Brennerberge, 1:50 000 (1994)
- Niedere Tauern I, 1:50 000 (1995)
- Niedere Tauern II, 1:50 000 (1993)
- Niedere Tauern III, 1:50 000 (1994)

UTM-Projektion:

- Ötztaler Alpen, Nauderer Berge, 1:25 000 (1998)
- Ötztaler Alpen, Kaunergrat, 1:25 000 (erscheint September 1999)
- Ötztaler Alpen, Geigenkamm, 1:25 000 (erscheint September 1999)
- Kitzbüheler Alpen, Ost, 1:50 000 (1997)
- Venedigergruppe, 1:25 000 (1998)
- Ötztaler Alpen, Kaunergrat, 1:25 000 (erscheint September 1999)
- Ötztaler Alpen, Geigenkamm, 1:25 000 (erscheint September 1999)
- Silvretta, 1:25 000 (erscheint Dezember 1999)
- Zillertaler Alpen, West, 1:25 000 (erscheint Juli 1999)
- Steinernes Meer, 1:25 000 (erscheint September 1999)

AV-Karten aus Luftbildern ausgewertet – und daher GPS-tauglich – mit Gradeinteilung des geographischen Netzes am Kartenrahmen (nicht durchgezogen):

- Rofengebirge, 1:25 000
- Steinernes Meer, 1:25 000
- Hochkönig, Hagengebirge, 1:25 000
- Totes Gebirge, West, 1:25 000
- Totes Gebirge, Mitte, 1:25 000
- Totes Gebirge, Ost, 1:25 000
- Ennstaler Alpen, Gesäuse, 1:25 000
- Verwallgruppe, Mitte, 1:25 000
- Hochalmspitze, Ankogel, 1:25 000

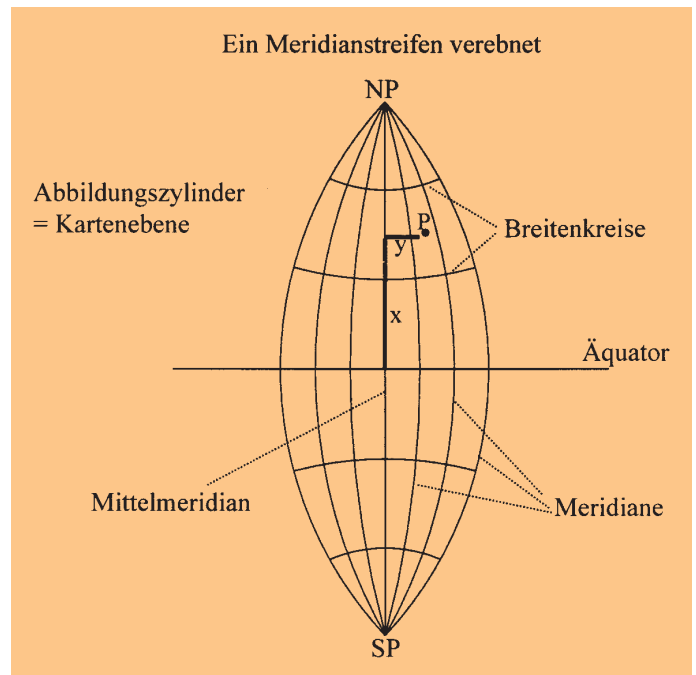


Abb. 2: Die Festlegung der x- und y-Koordinaten im Meridianstreifen. Die x-Werte werden vom Äquator entlang des Mittelmeridians gemessen, die y-Werte rechtwinklig vom Mittelmeridian.

den jeweils nur 3° breite Meridianstreifen auf den Zylinder abgebildet (in Italien 6°). Die Meridianstreifen werden nach der geographischen Länge M28, M31, M34 benannt. Durch die Verjüngung der Meridianstreifen zu den Polen hin, sieht die Abbildung der Erde wie eine in Spalten geschnittene Orangenschale aus.

Die in Österreich verwendeten Meridianstreifen M28, M31 und M34 beruhen auf der alten Zählung der geographischen Länge vom Bezugspunkt Ferro (Insel im Atlantik, 17° 40' westlich von Greenwich). Der Grund für die Beibehaltung dieser Einteilung liegt in der ungünstigen Verteilung nach der Greenwich-Zählung. Österreich würde demnach nicht auf drei, sondern auf vier Meridianstreifen abgebildet werden. Der Meridian 28° östlich von Ferro entspricht einer geographischen Länge von 10° 20' östlich von Greenwich.

Die in österreichischen Karten mit Gauß-Krüger-Projektion angegebenen Koordinaten unterliegen den Vorgaben des Bundesmeldenetzes. Die x-Koordinate wird als Entfernung vom Äquator entlang des Mittelmeridians gemessen, die y-Koordinate vom Mittelmeri-

dian rechtwinklig auf die x-Achse nach Osten (siehe Abb. 2). Westlich des Mittelmeridians wäre die y-Koordinate negativ. Um diesen Umstand zu vermeiden und Verwechslungen unter den Meridianstreifen vorzubeugen, wird jedem y-Wert eine Konstante, die vom Meridianstreifen abhängig ist, dazu addiert. Der Streifen M28 hat die Additionskonstante 150 000 m, M31 450 000 m und M34 750 000 m. Die Entfernung vom Äquator nach Österreich beträgt mehr als 5 000 km (5 000 000 m). Der Einfachheit halber läßt man bei der x-Koordinate die 5 Millionen Meter meist weg. Beim Bundesmeldenetz wird die x-Koordinate als Hochwert, die y-Koordinate als Rechtswert bezeichnet.

Das Bundesmeldenetz ist ein rechtwinkliges Koordinatensystem. Der Abstand der Gitterlinien beträgt 4 cm (bei 1:25 000 entspricht dies 1 km, bei 1:50 000 2 km). Mit Hilfe des AV-Planzeigers ist jeder Punkt rasch koordinativ bestimmbar.

Bei Verwendung eines GPS-Gerätes ist die Eingabe eines Kartendatums erforderlich. Unter Kartendatum versteht man die Festlegung einer mathematischen

Bezugsfläche, die möglichst genau dem Geoid angepaßt ist (hier ein Rotationsellipsoid). In der Gebrauchsanleitung der GPS-Geräte werden unterschiedliche Kartendaten für die jeweiligen Staaten angeboten. Die gemessenen Koordinaten können durch die unterschiedliche Wahl des Datums um etwa 30 m differieren. Für Österreich bietet sich das Kartendatum Austria oder WGS 84 (World Geodetic System 1984) an.

Bei der Wahl der Kartenprojektion ist ein Behelf notwendig, da im Menü des GPS-Gerätes die Gauß-Krüger-Projektion nicht enthalten ist. Wir wählen das „USER GRID“, geben unter „Longitude origin“ die geographische Länge des Mittelmeridians östlich von Greenwich ein (z. B. bei M31 13° 20'), unter „Scale“ die Längenverzerrung des Mittelmeridians, also „1,0“, bei „False Easting“ die Additionskonstante des Mittelmeridians in Metern (z. B. bei M31 450 000 m) und bei „False Northing“ die 5 Millionen Meter, die normalerweise in der Karte weggelassen werden. Nun steht der Messung auf Knopfdruck nichts mehr im Wege.

Die in den meisten AV-Karten noch eingezeichneten Suchgitter mit Rechts- und Hochwert (R1, R2,...,H1, H2,...) haben keine Beziehung zu irgendeinem geodätischen Netz. Sie sind daher für GPS-Messungen wertlos. Dieses Suchgitter wurde zur leichteren Übermittlung eines Punktes in der Karte aufgedruckt.

UTM-Gitter

Die UTM-Projektion wird weltweit angewendet und eignet sich besonders als militärische Grundlage. Der Unterschied zur Gauß-Krüger Projektion besteht darin, daß der Projektionszylinder das Rotationsellipsoid nicht berührt, sondern durchschneidet (siehe Abb. 1.). Durch diese Abbildungsform ist es möglich, die Längenverzerrung über eine größere Fläche gering zu halten und somit statt der üblichen 3° breiten Gauß-Krüger-Streifen, 6° breite Meridianstreifen zu verwenden. Der Verzerrungsfaktor im Mittelmeridian beträgt hier 0,9996 (bei

Gauß-Krüger 1,0 - also keine Verzerrung), das heißt, die Abbildung nahe des Mittelmeridians ist kleiner als es der Maßstab vorgibt. Das bedeutet, daß hier eine Strecke von 1.000 Metern wie eine 999,6 m lange Strecke abgebildet wird (Bei einem Kartenmaßstab von 1:25 000 wäre das eine Verkürzung von nur 0,016 mm). Beiderseits des Mittelmeridians nimmt die Längenverzerrung zu. Bei etwa 2° beiderseits des Bezugsmeridians erreicht man so eine längentreue Abbildung, am Meridianstreifenrand, bei 3°, eine Längendehnung um den Faktor 1,00015. Das UTM-System mit den 6° breiten Meridianstreifen erlaubt es, die ganze Erde mit Ausnahme der zwei Polgebiete mit 60 Streifen abzubilden. Zur Identifizierung der einzelnen Streifen wurde eine Bezifferung eingeführt, die mit „Meridian 1“ bei 180° bis 174° westlich von Greenwich beginnt. Österreich wird durch die Meridianstreifen 32 (Mittelmeridian 9° östlich von Greenwich) und 33 (Mittelmeridian 15° östlich von Greenwich) abgedeckt. Wie beim Bundesmeldenetz vermeidet man auch hier durch Hinzufügen von Additionskonstanten negative Koordinaten. Jeder Mittelmeridian hat die y-Koordinate 500.000 m. Auf der Südhalbkugel wird der negative x-Wert um 10.000.000 m vergrößert.

Bei der UTM-Projektion wird als Kartendatum stets das WGS 84 verwendet. Neben der AV-Karte wird auch die zivile amtliche Karte (ÖK) ab dem Jahr 2000 ihre Neuauflagen auf UTM umstellen.

Geographische Koordinaten

Steht dem GPS-Benutzer kein geodätisches Netz zur Verfügung, so ist er auf das geographische Gradnetz angewiesen (siehe Abb. 4). Die Unterteilung des Gradnetzes ist bei den meisten Karten am Kartenrahmen vermerkt und ermöglicht durch Verbindungslinien identer Teilungsstriche ein Gitternetz aufzubauen. Genaugenommen sind diese Linien keine Geraden sondern gebogene Linien, wobei der Durchhang bei

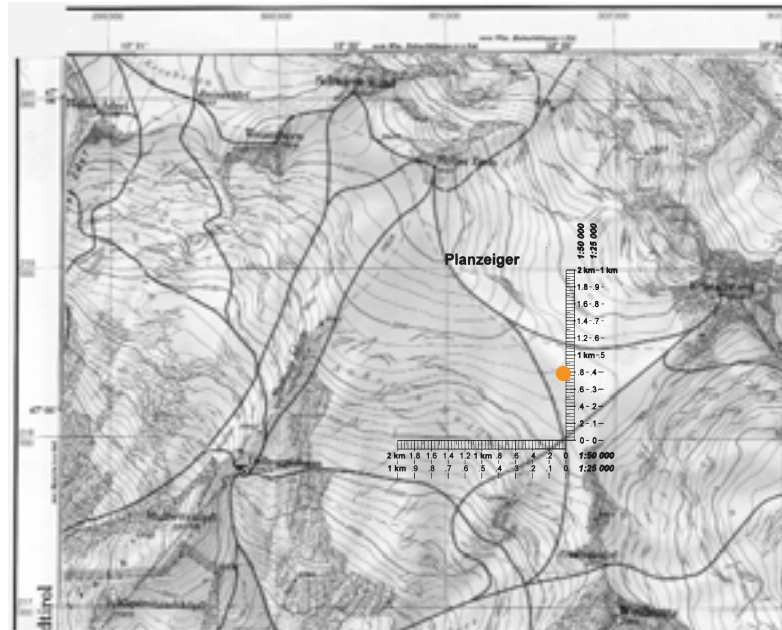


Abb. 3: Unterwegs am Gletscher, dichter Nebel. Mit Hilfe des GPS wird nun der eigene Standpunkt bestimmt und in die Karte übertragen. Die Venedigerkarte (Ausgabe 1998) ist mit deinem durchgezogenen UTM-Gitter versehen und mit Hilfe eines AV-Planzeigers kann die momentane Position rasch festgelegt und der Weiterweg geplant werden.

großmaßstäbigen Karten (bis 1:50 000) so minimal ist (kleiner als 1 mm), daß er vernachlässigt werden kann. Vor Antritt der Bergtour empfiehlt es sich, das Gradnetz in die Karte einzuzuichnen, um unterwegs eine genaue Übertragung der Koordinaten zu gewährleisten. Wer sich einen Netzteiler

selbst anfertigen will, muß die Abhängigkeit der Größe der Rechtecke des Gradnetzes von der geographischen Breite berücksichtigen.

Herbert Schirmer

Dipl. Ing. Herbert Schirmer arbeitet in der Kartographie des OeAV

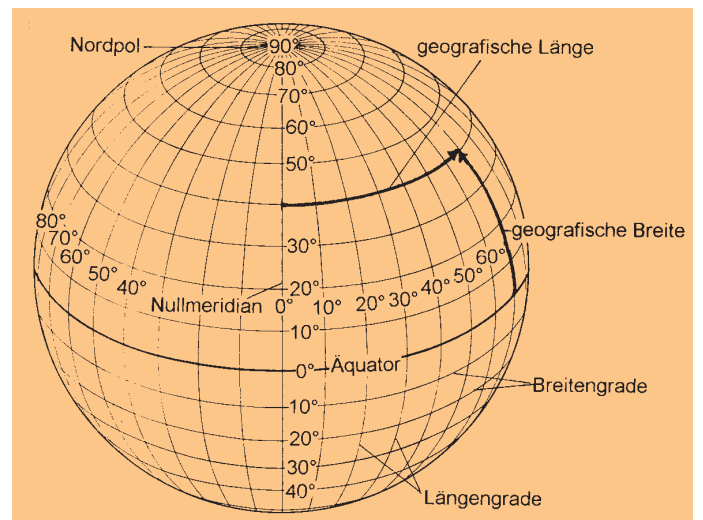


Abb. 4: Das Gradnetz der Erde. Nördlich und südlich des Äquators verlaufen die parallelen Breitenkreise. Östlich und westlich vom (senkrecht gezeichneten) Nullmeridian durch Greenwich verlaufen die Längengrade (Meridiane), die an den Polen zusammenlaufen. (Aus: Karte und Kompass, S. 13.)