

Inhalt

1.	Einleitung	3
2.	Das Nationalpark-Informationssystem (NPIS).....	4
2.1.	Was ist NPIS?.....	4
2.2.	Datenbasis.....	5
2.3.	Notwendigkeit der Entwicklung eines Koordinatentransformationsprogramms ..	5
3.	Bezugssysteme	7
3.1.	Datum Rauenberg.....	8
3.1.1.	Reichsdreiecksnetz (RDN)	8
3.1.2.	Bundesrepublik Deutschland (BRD).....	8
3.1.3.	Deutsche Demokratische Republik (DDR)	9
3.2.	System 42 (S42)	9
3.3.	System jednotné trigonometrické site katastrální (S-JTSK).....	10
3.3.1.	Katastertriangulation 1821 – 1864	10
3.3.2.	Militärtriangulation 1862 – 1898.....	11
3.3.3.	Einheitliches trigonometrisches Katasternetz (JTSK).....	11
3.4.	European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS 89).....	12
4.	Abbildungen	14
4.1.	Rotationsellipsoide	14
4.1.1.	Mittleres Erdellipsoid	15
4.1.2.	Lokal bestanschließendes Ellipsoid.....	16
4.1.3.	Konventionelle Ellipsoide	16
4.1.4.	Raumfeste geozentrische kartesische Koordinaten	17
4.1.5.	Umformung ellipsoidischer Koordinaten (B,L,H) in geozentrisch kartesische Koordinaten (x, y, z)	17
4.1.6.	Umformung geozentrisch kartesischer Koordinaten (x, y, z) in ellipsoidische Koordinaten (B,L,H)	17
4.2.	Gauß-Krüger Abbildung.....	18
4.2.1.	Geschichte der Gauß-Krüger Abbildung.....	18
4.2.2.	Deutsches Gauß-Krüger Koordinatensystem	19
4.2.3.	Universal Transverse Mercator Grid System (UTM).....	19
4.2.4.	Berechnungsformeln für die Gaußsche-Abbildung.....	20
4.3.	Die Krovak-Abbildung	23
4.3.1.	Allgemeine Beschreibung.....	23
4.3.2.	Längenbezugsysteme.....	23
4.3.3.	Schiefachsige sphärische Koordinaten	23
4.3.4.	Praktische Hinweise zur Krovakabbildung und zum S-JTSK.....	26
4.3.5.	Berechnung von Kegelkoordinaten nach Krovak.....	27
5.	Transformation mit Datumsübergang.....	30
5.1.	7 Parameter Transformation	31
5.2.	Transformationsparameter und deren Genauigkeit	32
6.	Shapefiles	33
6.1.	Was sind Shapefiles?	33
6.2.	Technische Beschreibung des Shapefile-Formates	33
6.3.	Aufbau der Hauptdatei (.shp)	34
6.3.1.	Der Kopf der Hauptdatei	35
6.3.2.	Die Datensatzköpfe.....	36
6.3.3.	Die Datensatzinhalte der Hauptdatei	36
6.3.4.	Shapetyp Point.....	37

6.3.5.	Shapetyp PolyLine.....	37
6.3.6.	Shapetyp Polygon.....	38
6.4.	Aufbau der Indexdatei (.shx).....	41
6.4.1.	Der Kopf der Indexdatei.....	41
6.4.2.	Datensätze der Indexdatei.....	41
6.5.	Aufbau der dBASE Tabelle.....	42
7.	Der Aufbau des Programms KoTra.....	43
7.1.	Was ist Visual Basic.....	43
7.2.	Programmtechnischer Aufbau von KoTra.....	43
7.3.	Wichtige Funktionen.....	46
7.3.1.	Die Konstante pi.....	46
7.3.2.	Die Funktion asin.....	46
7.3.3.	Die Funktion EllToGeoZent.....	46
7.3.4.	Die Funktion GeoZentToEll.....	47
7.3.5.	Die Funktion MedBogLngKoef.....	48
7.3.6.	Die Funktion Ell_TO_GK.....	49
7.3.7.	Die Funktion GK_TO_ELL.....	50
7.3.8.	Die Funktion BesToPlnKeg.....	51
7.3.9.	Die Funktion KrovakToBL.....	52
7.3.10.	Die Funktion SevenParTrans.....	53
8.	KoTra Bedienungsanleitung.....	54
8.1.	Die Oberfläche des Programms KoTra.....	54
8.2.	Bedienung und Einstellungen im Expertenmodus.....	55
8.3.	Die Options Menues.....	57
8.3.1.	Die Registrierkarte <i>General Options</i>	57
8.3.2.	Die Registrierkarte Gauß-Krüger Projektion.....	59
8.3.3.	Die Registrierkarte <i>UTM Projektion</i>	60
8.3.4.	Die Registrierkarte <i>general Gauß Projektion</i>	60
8.4.	Aufbau der Parameterdateien.....	61
8.4.1.	Die .ell-Datei mit Ellipsoidparametern.....	61
8.4.2.	Die .7pr-Datei mit Transformationsparametern.....	62
8.4.3.	Die .par-Datei mit allen Programmparametern.....	62
8.5.	Aufbau der ASCII-Koordinatendateien.....	63
9.	Zusammenfassung und Ausblick.....	65
10.	Abkürzungsverzeichnis.....	66
11.	Quellenverzeichnis.....	68
11.1.	Literaturverzeichnis.....	68
11.2.	Internetadressen.....	70
11.3.	Abbildungsverzeichnis.....	71

1. Einleitung

Im Zuge der zunehmenden europäischen Zusammenarbeit ist es gerade in den Grenzregionen häufig notwendig, raumbezogene Informationen für Analyse, Planung und Ausführung von transnationalen Projekten auszutauschen und zusammenzuführen.

Zur grenzüberschreitenden Raumanalyse wurde vor mehr als 10 Jahren das europäische Bezugssystem ETRS89 eingeführt, das sich zunehmend als Standard durchsetzt.

Viele Daten existieren jedoch nach wie vor nur in Bezug auf alte national begrenzte Koordinatensysteme.

Seit einiger Zeit haben sich computergestützte Geographische Informationssysteme (GIS) zur raumbezogenen Datenerhebung, -verwaltung, -änderung und -auswertung durchgesetzt.

Da die Georeferenzierung jetzt also in digitaler Form erfolgt, liegt es nahe, die entsprechenden Punkte, die in einem speziellen Landeskoordinatensystem vorliegen, direkt aus den GIS Datensätzen auszulesen und nach einer Transformation in ein entsprechendes Zielkoordinatensystem in dem vorgegebenen Datenformat zu speichern.

Diese Fragestellungen tauchten auch beim Aufbau eines grenzüberschreitenden Nationalpark-Informationssystems (NPIS) in der Deutsch Tschechischen Grenzregion sächsisch-böhmische Schweiz auf. Die entsprechenden Daten liegen auf Tschechischer Seite im S-JTSK und auf deutscher Seite im sächsischen RD/83 vor.

Das von allen beteiligten Stellen eingesetzte GIS ArcView der Firma ESRI speichert seine Daten direkt im Shapefileformat.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit, soll ein Programm entwickelt und beschrieben werden, welches die Möglichkeit bietet, Koordinaten direkt aus dem Shapefileformat zu extrahieren, diese mit Hilfe einer 7 Parameter Transformation in ein gewünschtes Koordinatensystem zu überführen, und anschließend wieder in einem Shapefile zu speichern.

Im Folgenden wird nach einer Vorstellung des NPIS Projektes ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Bezugssysteme der Landeskoordinatenfestpunktfelder in Deutschland und Tschechien gegeben.

Es werden die mathematischen Formeln besprochen die den Abbildungsverfahren der Koordinatensysteme zu Grunde liegen.

Zur notwendigen Transformation mit Datumsübergang wird die 7 Parameter Transformation vorgestellt.

Nach einer detaillierten Beschreibung des Shapefileformates wird ein Überblick über den Programmaufbau des im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelten Koordinatentransformationsprogramms KoTra gegeben und in die wichtigsten Funktionen ein Einblick gewährt.

Des Weiteren werden in einer ausführlichen Bedienungsanleitung die Programmfunktionen und Möglichkeiten von KoTra erläutert.

2. Das Nationalpark-Informationssystem (NPIS)

2.1. Was ist NPIS?

Beim Nationalpark-Informationssystem (NPIS) handelt es sich um ein transnationales Projekt zwischen Deutschland und Tschechien, das die länderübergreifende Zusammenarbeit in der Nationalparkregion sächsisch-böhmische Schweiz unterstützen soll.

Es wurde vom Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Dresden unter Leitung von Prof. Csaplovics und dem Institut für Ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden zum 01. Februar 2000 initialisiert und ist Bestandteil des EU-INTERREG IIC Programms.



Abbildung 2-1 Überblick über die Nationalparkregion sächsisch-böhmische Schweiz

Das Nationalpark-Informationssystem soll die zentrale Grundlage für die Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation von Informationen zur Nationalparkregion darstellen. Hierfür ist eine Homogenisierung der GIS-Konzepte der beiden Nationalparkregionen sowie der einzelnen Dienststellen untereinander erforderlich. Es wird weiterhin darauf geachtet, dass sich das Nationalpark-Informationssystem der sächsisch-böhmischen Schweiz zukünftig in ein NPIS-Netzwerk im zentraleuropäischen Raum integrieren lässt.

Bei den beim NPIS Projekt beteiligten Stellen handelt es sich auf deutscher Seite um

- die Nationalparkverwaltung (NPV) Sächsische Schweiz,
- die Technische Universität Dresden (TUD) - Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung,

- und das Institut für Ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden (IÖR), und auf tschechischer Seite um
- die Landschaftsschutzgebietverwaltung „Labské pískovce“, Decín,
- und die Nationalparkverwaltung „České Švýcarsko“, Krásná Lípa.

2.2. Datenbasis

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Aufbau eines Nationalpark-Informationssystems ist eine umfassende Grundlage raumbezogener Daten. Diese hat sich natürlich in den beiden Ländern unterschiedlich entwickelt und steht somit auch in unterschiedlicher Qualität zur Verfügung. Neben einer Reihe analoger kartografischer Darstellungen werden folgende digitale Daten in den beteiligten Institutionen verwendet:

Die NPV Sächsische Schweiz als untere Naturschutzbehörde kann Basisdaten des Freistaates Sachsen nutzen, wie z.B. die gescannten, georeferenzierten, topografischen Karten unterschiedlicher Maßstäbe oder auch die Daten des Amtlichen Topografischen Informationssystems ATKIS.

Des Weiteren existieren von den Mitarbeitern selbst aufgebaute Datenbestände, z.B. über die Infrastruktur des Nationalparks oder die Fauna und Flora.

Diese Datengrundlagen beziehen sich auf das Datum Rauenberg und sind als Gauß-Krüger Koordinaten abgebildet.

Den Schutzgebietsverwaltungen auf tschechischer Seite lagen anfangs Daten der topografischen Basiskarte ZABAGED/2 im digitalen Rasterformat sowie einige ausgewählte digitalisierte Vektordaten zu verschiedenen Grundthemen im Maßstab 1:500 000 (so genannte ArcCR 500) vor.

ZABAGED/1 entspricht bezüglich des Inhalts dem ATKIS der deutschen Landesvermessungsämter und steht erst jetzt den tschechischen Beteiligten zur Verfügung.

Auch auf der tschechischen Seite existieren selbst erhobene Datensätze, wie die GPS Aufnahmen der Staatsgrenze und der beiden Flüsse Kamenice und Kyrnitzsch sowie Daten zur Fauna und Flora.

Die tschechischen Behörden verwenden als Bezugssystem das S-JTSK und als Abbildung in der Ebene die Projektion nach Krovak.

2.3. Notwendigkeit der Entwicklung eines Koordinatentransformationsprogramms

Um mit unterschiedlichen Datengrundlagen eine gemeinsame Nutzung und Analyse zu ermöglichen, ist es notwendig, dass diese sich auch in einem einheitlichen Bezugs- und Abbildungssystem befinden. Da dies aber nicht der Fall ist, muss es ermöglicht werden, die Daten des Nachbarlandes in das jeweils eigene Bezugssystem bzw. Abbildungssystem zu transformieren. Da sich als zukünftiges europaweit einheitliches Bezugssystem das ETRS89 mit der UTM Abbildung durchsetzen wird, ist es ebenfalls wichtig, eine Transformation aus diesem und in dieses System zu gewährleisten.

Eine große Anzahl von Datenbeständen liegt im Shapefileformat des Geografischen Informationssystems ArcView der Firma ESRI vor. Da entsprechende Transformationen dieser

Datensätze zum Beispiel mit ArcInfo eine relativ aufwendige Umwandlung des Datenformates mit Informationsverlust erfordern und die entsprechende recht teure Software nicht allen beteiligten Partnern zur Verfügung steht, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, eine Transformation aus dem Shapefileformat in selbiges, in das zu schaffende Transformationsstool zu einzubinden.

Somit wurde der Anstoß gegeben, im Rahmen dieser Diplomarbeit das Koordinatentransformationsprogramm KoTra zu entwickeln, das über eine 7 Parameter Transformation beliebige Bezugssysteme mit einer für die Anforderungen des NPIS Projektes ausreichenden Genauigkeit (dm Bereich) ineinander transformieren kann. Es unterstützt alle auf der Gaußschen Abbildung beruhenden Koordinatensysteme, also in diesem Fall speziell die deutsche Gauß-Krüger Abbildung und die UTM Abbildung des ETRS89 sowie die Krovak-Abbildung der Tschechischen Republik.

3. Bezugssysteme

Das Hauptproblem beim länderübergreifenden Austausch raumbezogener Daten stellt die historisch bedingte Verwendung unterschiedlicher Bezugssysteme in den einzelnen Staaten und Bundesländern dar.

Ein Bezugssystem ist in der Landesvermessung laut Ihde folgendermaßen definiert:

„Ein geodätisches Bezugssystem wird durch Koordinaten physischer Punkte in einem mathematisch-physikalisch definierten Koordinatensystem realisiert. Die Grundlagen für die klassischen kontinentalen Lagebezugssysteme sind Richtungs- und Streckenmessungen, die auf der Erdoberfläche ausgeführt, auf ein Referenzellipsoid projiziert und ausgeglichen werden, sowie astronomische Breiten-, Längen- und Azimutbeobachtungen. Die Koordinaten enthalten Informationen über die Lagerung und Orientierung des Koordinatensystems in Bezug auf den Erdkörper, den Maßstab des Netzes und die zwischen den Netzpunkten aus den Messungen resultierenden geometrischen Beziehungen. Die Informationen über die Lagerung und die Orientierung in Bezug auf den Erdkörper sowie den Maßstab sind im geodätischen Datum enthalten. Bei terrestrischen Lagebezugssystemen sind die Datumparameter die geodätische Breite, Länge und Höhe des gewählten Hauptpunktes der Triangulation oder die Lotabweichung und die Geoidhöhe in diesem Punkt sowie in beiden Fällen das Azimut einer Dreiecksseite zwischen zwei Punkten. Maßgebend für die Geometrie der Rechenfläche sind die Parameter des Referenzellipsoides. Diese sind deshalb zu den Datumparametern zu zählen.“

Eine weitere Definition des geodätischen Datums stammt von H. Kahmen:

„Ein geodätisches Datum besteht aus einem Satz von Parametern, die Ursprung, Orientierung und Maßstab eines anderen Bezugssystems x, y, z im Verhältnis zu einem grundlegenden absoluten System X, Y, Z angeben. Im allgemeinen wird noch ein Referenzellipsoid eingeführt, um eine praxisorientierte Nutzbarkeit der Positionsbestimmung zu gewährleisten.“

[Lit. 09]

Zur Bestimmung der Datumparameter wurden im Laufe der Zeit unterschiedliche Wege beschritten:

Im einfachsten Fall wurden jeweils astronomische und geodätische Breite, Länge und Azimut als auch geodätische physikalische und die geodätische Höhe im Hauptpunkt gleichgesetzt. Eine bessere Anpassung der Lage des Netzes an den Erdkörper wird durch eine Minimierung der Lotabweichung in mehreren astronomisch und geodätisch bestimmten Punkten erreicht. Auf Grund der begrenzten Ausdehnung zusammenhängender terrestrischer Messungen ist ein naturtreues Netz, das eine absolute Positionierung und Orientierung in Bezug auf ein mittleres geozentrisch gelagertes Erdellipsoid erfordert, für klassische Lagebezugssysteme nicht erreichbar.

Neue Bezugssysteme wie z. B. das ETRS 89 bedienen sich moderner Verfahren, wie Satellite-Laser-Ranging (SLR), Lunar-Laser-Ranging (LLR) und Very-Long-Baseline-Interferometry (VLBI) sowie Global Positioning System (GPS), und ermöglichen so eine vorher nicht gekannte Präzision in der geozentrischen Lagerung und Ausrichtung des Koordinatensystems.

Im folgenden werden die vier Bezugssysteme vorgestellt, die im Grenzgebiet sächsisch-böhmische Schweiz hauptsächlich Verwendung finden, und deren Transformation ineinander durch das Programm KoTra unterstützt werden.

3.1. Datum Rauenberg

3.1.1. Reichsdreiecksnetz (RDN)

In Deutschland setzte sich im 19. Jh. das Datum Rauenberg als Bezugspunkt für Landeskoordinatensysteme durch. Es ist mit dem Referenzellipsoid von Bessel verbunden. (siehe 4.1 Rotationsellipsoide)

Durch Lagerung und Orientierung des Netzes im Zentralpunkt der ehemaligen preußischen Landstriangulation, dem in Berlin Tempelhof gelegenen Punkt Rauenberg, wurde über die weiteren Datumparameter B_0 , L_0 und A_0 verfügt.

Der Punkt Rauenberg wurde bereits in der durch Generalleutnant Baeyer durchgeführten Küstenvermessung als Hauptpunkt 1. Ordnung bestimmt, erlangte jedoch erst nach Abschluss der Polhöhenbestimmung der Berliner Sternwarte im Jahre 1859 für die Lagerung der gesamten preußischen Triangulation seine fundamentale Bedeutung.

Für den Punkt Rauenberg ergaben sich durch geodätische Übertragung der astronomisch bestimmten Breite und Länge der alten Berliner Sternwarte die astronomischen Koordinaten. Das Azimut wurde zum Punkt Berlin, Marienkirche gemessen.

Nach der Zerstörung des Punktes Rauenberg wurde der Zwischenpunkt 1. Ordnung, Potsdam, Helmertturm, zum Zentralpunkt des damals durch Zusammenfügen der deutschen Landstriangulationen entwickelten Reichsdreiecksnetzes erklärt. Auf Grund dieser Tatsache wurde das System Rauenberg auch als Potsdamer System bezeichnet.

Die deutschen Länder entwickelten ab dem Ende des 18. Jahrhunderts eigene Netze, die untereinander nicht angeschlossen waren.

Nach der Reichsgründung wurde 1872 eine Neutriangulation des preußischen Gebietes beschlossen. 1879 übernimmt Preußen durch Vertrag die Landstriangulation für 20 deutsche Staaten.

Das eigentliche Reichsdreiecksnetz ist so durch Zusammenschluss der Teile der Landstriangulationen Preußens und der anderen deutschen Länder entstanden.

Dieses System wurde durch Ausgleichsmessungen und Lückenschließungen bis in die 1940er Jahre weiter vervollständigt.

3.1.2. Bundesrepublik Deutschland (BRD)

Nach dem 2. Weltkrieg wurde das Deutsche Hauptdreiecksnetz (DHDN) als der auf das Gebiet der britischen, amerikanischen und französischen Besatzungszone entfallende Teil des Reichsdreiecksnetzes festgelegt. Dabei wurden die vor mehr als 100 Jahren geschaffenen Netzgrundlagen (Geodätisches Datum, Netzbeobachtungen), und somit eine Reihe von Mängeln, übernommen.

Im Angesicht neuer Anforderungen der Liegenschaftsvermessung waren diese Mängel nicht mehr zu vertreten, so dass es zu einer umfassenden Erneuerung des Netzes kam. Auf Grund der föderalen Struktur der BRD gingen die einzelnen Bundesländer bei den Erneuerungsarbeiten uneinheitlich vor. [Lit.11]

3.1.3. Deutsche Demokratische Republik (DDR)

In der DDR wurde im Zuge der Realisierung des Einheitlichen Astronomisch-Geodätischen Netzes (EAGN) der Staaten Osteuropas unter Nutzung des RDN und neuer Messungen eine komplette Neubearbeitung der Lagenetze vorgenommen. (siehe 3.2 System 42 (S42)).

Für das geodätische Arbeiten mit niederer Genauigkeit wurden Mitte der siebziger und achtziger Jahre Koordinaten im System 42/63 und 42/83 in das Datum Potsdam, unter Nutzung von identischen Punkten zwischen dem Astronomisch-Geodätischen Netz (AGN) der DDR und dem RDN, transformiert.

Das Datum Potsdam wurde 1940 vom Reichsamt für Landesaufnahme durch den Reichsfestpunktfelderlass verbindlich für das RDN eingeführt. Aus diesem Grunde werden die transformierten Koordinaten mit 40/63 bzw. 40/83 bezeichnet. Diese Koordinaten wurden auch als Grundlage für die topographische Karte „Ausgabe für die Volkswirtschaft (AV)“ genutzt. [Lit. 08]

Nach der Vereinigung der beiden Deutschen Staaten wurden Untersuchungen zur Anpassung der Staatlichen Trigonometrischen Netze im System 42/83 an das DHDN vorgenommen. Im Ergebnis der Arbeiten entstanden durch Datumstransformationen mit unterschiedlichen identischen Punkten zum RDN zwei Koordinatenwerke unter der Bezeichnung RD/83 (RD-Rauenbergdatum) und PD/83 (PD-Potsdamdatum). Das Koordinatenwerk RD/83 basiert auf einer Transformation mit Parametern, die aus 106 identischen Punkten des RDN und des Systems 42/83 ermittelt wurden, und dem Koordinatenwerk PD/83 liegt eine Transformation mit Parametern, die aus 13 identischen Punkten abgeleitet wurden, zugrunde. Das Koordinatenwerk RD/83 wurde in Sachsen als vorläufiges amtliches System eingeführt, die Koordinaten PD/83 sind in Thüringen eingeführt worden. [Lit. 07]

RD/83, PD/83 und das DHDN beziehen sich mit einer Genauigkeit von 2 m auf das Potsdamer Datum, so dass für diese Koordinaten unter Berücksichtigung des angestrebten Genauigkeitsniveaus der Transformation ein einheitlicher Parametersatz verwendet werden kann. Die Realisierungen 1963 und 1983 unterscheiden sich in den Koordinaten um weniger als 2 m.

3.2. System 42 (S42)

Das System 42 ist das Lagebezugssystem der osteuropäischen Länder. Die Datumparameter des Systems 42 wurden für das Observatorium Pulkow durch eine Lotabweichungsausgleichung des Trigonometrischen Netzes des europäischen Teils der UdSSR im Jahre 1942 auf dem Krassowskij-Ellipsoid ermittelt. Im selben Jahr wurde dieses System durch Ministerratsbeschluss in der UdSSR eingeführt.

Seit der Gründung des Warschauer Vertrages wurde in den verbündeten Armeen mit Koordinaten im System 42 gearbeitet. Die Realisierung des Systems 42 erfolgte in den Ländern Osteuropas in zwei Schritten.

Erstmals wurde der Netzverband, bestehend aus Flächennetzen und Rahmenketten 1. Ordnung, in den Jahren 1956/57 gemeinsam als Astronomisch Geodätisches Netz (AGN) ausgeglichen.

1963 wurde das Astronomisch Geodätische Netz der DDR separat ausgeglichen, als zur Schaffung des Staatlichen Trigonometrischen Netzes 3. Ordnung eine verbesserte Grundlage erforderlich war. Es erhielt die Bezeichnung System 42/63. [Lit. 08]

Auf dem Gebiet der ehemaligen Tschechoslowakei wurden seit 1958 die Punkte des JTSK (siehe 3.3 System jednotné trigonometrické site katastrální (S-JTSK)) in das System 42 überführt und erneut ausgeglichen. [Lit 23]

In den siebziger Jahren wurden die nationalen AGN der Länder Osteuropas durch ergänzende Richtungsbeobachtungen 1. Ordnung, elektronische Streckenmessungen, die Ausgleichung eines astronomischen Längennetzes und durch eine weitere Erhöhung der Anzahl der Laplace-Azimute zum Einheitlichen Astronomisch Geodätischen Netz (EAGN) weiterentwickelt.

Die Ausgleichung des EAGN wurde unter Beibehaltung der Datumparameter des Systems 42 1983 abgeschlossen. Dadurch entstand eine neue Realisierung des Bezugssystems 1942, die mit der Jahresangabe der Netzausgleichung näher bezeichnet wird. (System 42/83). [Lit 08]

Da es sich beim System 42 um ein hauptsächlich militärisch genutztes System handelt, wurde es im zivilen Sektor so gut wie nicht angewandt.

Als Abbildungsverfahren für das System 42 wurde eine Gauß-Krüger Abbildung mit 3° bzw. 6° Streifenabstand gewählt.

3.3. System jednotné trigonometrické site katastrální (S-JTSK)

3.3.1. Katastertriangulation 1821 – 1864

Von 1821 bis 1840 wurde auf dem Gebiet der damaligen österreichischen Monarchie das erste zusammenhängende trigonometrische Netz I. Ordnung bestimmt. Auf Grundlage dieses Netzes wurde bis 1864 ein Stabiles Kataster im Maßstab 1:2880 gebildet.

Da die Konzeption, Sicherung und Ausgleichung dieses Netzes nicht allzu sorgfältig durchgeführt wurde, kam es zu größeren Ungenauigkeiten.

Um große Längen- und Flächendeformationen zu vermeiden, wurde das gesamte Gebiet der österreichischen Monarchie in Meridianstreifen der nicht konformen Projektion von Cassini unterteilt. Die X-Achse war jeweils identisch mit einem durch einen trigonometrischen Punkt laufenden Meridian.

Da das Bessel Ellipsoid zur damaligen Zeit noch nicht bestimmt war, wurde ein Ellipsoid mit den Ausmaßen $a = 6376045 \text{ m}$; $1/f = 310$ für die Berechnungen zu Grunde gelegt. Als Längeneinheiten dienten das Wiener Klafter = $1,896\ 483\ 843 \text{ m}$ und die Postmeile = $4\ 000$ Wiener Klafter = $7,585\ 935 \text{ km}$.

3.3.2. Militärtriangulation 1862 – 1898

Zwischen 1862 und 1898 wurde vom militärgeographischen Institut in Wien ein relativ genaues trigonometrisches Netz 1. Ordnung auf dem Gebiet der österreichisch ungarischen Doppelmonarchie aufgebaut. Diese Triangulation wurde Bestandteil der Mitteleuropäischen Gradmessung, das heißt, dass die Arbeiten von der „Permanente Kommission der Mitteleuropäischen Gradmessung“, aus der später die „Internationale geodätische und geophysikalische Union“ entstand, geregelt wurden.

Das Netz wurde auf dem Referenzellipsoid von Bessel mit dem Anfangspunkt Hermannskogel (Wien) berechnet.

3.3.3. Einheitliches trigonometrisches Katasternetz (JTSK)

Als 1918 die Tschechoslowakische Republik gegründet wurde, gab es keine einheitliche zuverlässige geodätische Grundlage, die für neue Messungen dem damaligen wissenschaftlichen Niveau entsprochen hätte.

Aus diesem Grund bildete das Finanzministerium eine Triangulationsabteilung, als deren Vorstand der Geodät Dipl.-Ing. Josef Krovak ernannt wurde. Ihre erste Aufgabe, war in kurzer Zeit das Einheitliche Trigonometrische Katasternetz (JTSK) mit Seitenlängen von etwa 5 km auf dem gesamten Gebiet der Republik zu errichten.

Der Aufbau des JTSK ist in drei Etappen in den Jahren 1920 bis 1957 verlaufen:

1. Messung des „Trigonometrischen Grundnetzes der I. Ordnung“ (1920 bis 1927)
2. Messung und Bearbeitung des „JTSK der I. Ordnung“ (1928 bis 1937)
3. Messung und Bearbeitung der restlichen Punkte des JTSK, das heißt Punkte der II., III., IV. und V. Ordnung (1928-1957).

Da der Netzaufbau während der ersten Etappe unter Zeitdruck durchgeführt wurde, konnten nicht alle damals bekannten Methoden, die ein möglichst genaues Netz gewährleistet hätten, angewandt werden. So hat man zum Beispiel keine neuen astronomischen Messungen durchgeführt, es wurden keine geodätischen Basen gemessen und das Netz wurde nicht an Netze der Nachbarstaaten angeschlossen. Ebenfalls aus Zeitmangel wurden auf einem Teil des Staatsgebietes der Tschechoslowakischen Republik Messreihen der Militärtriangulation (1862 – 1898) übernommen.

Durch die anschließende Ausgleichung dieses Trigonometrischen Netzes erster Ordnung des JTSK wurde, aufgrund der fehlenden neuen astronomischen Beobachtungen sowie der nicht neu ermittelten Basen, nur seine definitive Gestalt bestimmt. Die Ausmaße und die Orientierung des Netzes auf dem Bessel-Ellipsoid wurden indirekt aus der österreichischen Militärtriangulation abgeleitet.

Bei einer anschließenden zweiten Berechnung aller Netzpunkte wurde die Länge und das Azimut der ebenfalls aus der Militärtriangulation stammenden Seite zwischen Chmelova und Velky Choc übernommen und daraus Längen und Richtungen anderer Netzseiten abgeleitet.

Es entstanden durch die Krovak-Abbildung definitive rechtwinklige Koordinaten von allen trigonometrischen Punkten.

Sie bildeten das einheitliche trigonometrische Katasternetz, welches kurz als S-JTSK bezeichnet wird.

In den Jahren 1928 bis 1957 wurde das Netz 1. Ordnung schrittweise und unsystematisch mit Punkten der 2. bis 5. Ordnung ergänzt. Zum Abschluss der Arbeiten bedeckte das S-JTSK mit über 47900 Punkten, das gesamte Gebiet der Tschechoslowakischen Republik.

Auf dem Territorium der heutigen Tschechischen Republik befinden sich ungefähr 28900 trigonometrische Punkte.

Die relative Genauigkeit des JTSK ist hoch. Der mittlere Fehler benachbarter Punkte liegt bei zirka 1 cm. Da aber Ausmaß, Lage und Orientierung des JTSK nur durch Beobachtungen des 19. Jahrhunderts ermittelt wurden, lässt die absolute Genauigkeit des Netzes zu wünschen übrig. So hat das Netz einen uneinheitlichen Maßstabsfaktor, ist um etwa 10'' verdreht und um etwa 15'' ostwärts verschoben.

[Lit. 23]

3.4. European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS 89)

Mit der zunehmenden europäischen Zusammenarbeit sowie einer rasanten Entwicklung der technischen Möglichkeiten ergab sich die Notwendigkeit, aber auch die Möglichkeit, die isolierten nationalen Festpunktfelder in ein gemeinsames geodätisches Datum zu überführen.

Um diese Aufgabe verwirklichen zu können, war ein übergeordneter fester geodätischer Rahmen zu schaffen, der durch den Aufbau eines auf Satellite-Laser-Ranging (SLR), Lunar-Laser-Ranging (LLR) und Very-Long-Baseline-Interferometry (VLBI) sowie GPS-Stationen gestützten Festpunktfeldes gebildet wurde.

Die Parameter für ein weltumspannendes System liefert der International Earth Rotation Service (IERS) durch Beobachtung auf 109 LLR-, SLR-, und VLBI-Stationen. Über diese Messungen wird unter anderem der Massenschwerpunkt der Erde auf +/- 10 cm bestimmt. Er ist der Ursprung eines erdzentrischen, erdfesten kartesischen Systems (Conventional Terrestrial System (CTS)).

Die Orientierung der Achsen wurde bereits vom Vorgänger des IERS dem Bureau International de L'Heure (BIH bis 1987) übernommen, welches 1984 bereits ein BIH Terrestrial System (BTS) definiert hatte.

Zusammen bilden diese Parameter die Grundlage des IERS Terrestrial Reference System (ITRS), dessen Realisierung an der Erdoberfläche das IERS Terrestrial Reference Frame (ITRF) durch die dreidimensionalen Koordinaten der Beobachtungspunkte gegeben ist.

Diese sind jedoch nicht statisch und müssen vom IERS jährlich korrigiert werden. Gleiches gilt für die Parameter des ITRS, die durch Verbesserung der Beobachtungsmethoden, längere Beobachtungsdauer und unregelmäßiges physikalisches Verhalten des Erdkörpers fortzuschreiben sind.

Ein solches Verhalten sollte für den europäischen Anteil ausgeschlossen werden, da es für die tägliche Vermessungspraxis und den Gebrauch von Daten in Informationssystemen nicht tragbar ist, wenn die Grundlagen jährlich variieren.

Daraufhin beschloss die 1987 bei der International Association of Geodesy (IAG) eingerichtete EUREF-Subkommission (European Reference Frame) in enger Zusammenarbeit mit der neuen Arbeitsgruppe VII des Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle (CERCO) die Folgen der jährlichen Plattendrift von 1-3 cm für den eurasischen Teil durch das Festhalten der Koordinaten der 17 europäischen ITRF Stationen auf dem Stand des Jahres 1989 (ITRF 89) und der Systemparameter ITRS 89 zu vernachlässigen. Um eine bessere kontinentale Stationsverteilung zu haben, wurde der europäische Teil mit einer mobilen VLBI-Kampagne um fünf Punkte ergänzt.

Damit wurde die erste Realisierung des neuen europäischen einheitlichen Bezugssystems, European Terrestrial Reference Frame 1989 (ETRF 89), auf der Basis des European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS 89) geschaffen.

Der Punktabstand war jedoch nicht ausreichend, um den beteiligten Ländern die mindestens drei, besser sogar fünf bis acht nötigen identischen Punkte für eine Transformation der Ländernetze in das kontinentale Netz bereitzustellen. Deshalb wurden seit 1989 durch Messungen mit dem Globalen Positionierungs-System (GPS) Festpunkte im Abstand von 200 bis 500 Kilometern in das ETRF Netz eingehängt.

Die Tatsache, dass GPS eingesetzt werden konnte, erforderte einige Rahmenbedingungen, da es sich grundsätzlich um zwei verschiedene Bezugssysteme handelt. Das WGS 84 (World Geodetic System), ein 3-D System, in dem durch die Messungen zu den GPS Satelliten Daten gewonnen werden, und das ETRS 89, in dem Daten bereitgestellt werden sollen.

Da die geozentrischen dreidimensionalen Koordinaten des ETRS 89 für die praktische Anwendung mangels Anschaulichkeit wenig geeignet waren, beschloss die EUREF-Subkommission im März 1992 zur Berechnung geografischen Koordinaten und ellipsoidischen Höhen das 1980 von der IAG eingeführte Ellipsoid des Geodetic Reference System (GRS80) zu verwenden. Dieses stimmt praktisch mit dem dem WGS 84 zu Grunde liegendem Ellipsoid überein, auf das sich die Bahnparameter der GPS-Satelliten beziehen.

Weil aber ETRS 89 und WGS 84 nicht nur bezüglich ihrer Ellipsoide, sondern auch in Maßstab, Orientierung und Lagerung nahezu übereinstimmen, weichen die Koordinaten in beiden Systemen auch nur rund einen Meter von einander ab. Dies ist ausreichend für eine Überführung der im WGS 84 bestimmten Koordinaten über eine Transformation mit identischen Punkten in das ETRS 89, dessen Realisierung immerhin mit einer Absolutgenauigkeit von 4 bis 5 cm angelegt ist.

Für geodätische Zwecke, bei denen Zentimetergenauigkeit gefragt ist, wird das Differential GPS (DGPS) mit mindestens zwei Empfängern eingesetzt. Hierfür ist es nötig, in der Nachbarschaft des einzumessenden Punktes Referenzpunkte zu haben, die bereits über ETRS 89 Koordinaten verfügen. [Lit. 11]

Aus diesem Grunde wurde in Deutschland ein Deutsches Referenznetz (DREF), das in das EUREF Netz eingehängt ist, gebildet.

Um alte Bezugssysteme (DHDN, S42) in das ETRS 89 zu überführen, wurde eine große Anzahl von bestehenden Festpunkten als Stützpunkte im neuen System aufgenommen, so dass Punktkoordinaten transformiert werden können.

Auf dem Gebiet der jetzigen Tschechischen Republik begann man 1991 mit dem Einmessen der ersten Punkte für das ETRS89 im Rahmen der Kampagne EUREF-CZ/H-91.

Es wurde unverzüglich mit dem Aufbau eines Verdichtungsnetzes begonnen, dessen erste Stufe als NULRAD und dessen Zweite Stufe als DOPNUL bezeichnet wird.

Als Abbildungssystem für das ETRS 89 wurden UTM Koordinaten gewählt. (siehe 4.2.3 Universal Transverse Mercator Grid System (UTM))

4. Abbildungen

Die Erdoberfläche oder besser die Äquipotentialfläche auf Meeresniveau, die das sogenannte Geoid bildet, das mathematisch nur schwer zu erfassen ist, wird durch ein Rotationsellipsoid, welches mathematisch relativ einfach zu handhaben ist, annähernd beschrieben.

Da diese ellipsoidischen Koordinaten nicht verzerrungsfrei in der Ebene abgebildet werden können, ist es notwendig, entsprechende Abbildungsvorschriften zu definieren. Es ist nicht möglich, ellipsoidische Koordinaten gleichzeitig längentreu, winkeltreu und flächentreu in die Ebene zu übertragen.

Auf Grund der unterschiedlichen Topographie, Lage und Ausdehnung der einzelnen Staaten benutzen diese auch durchaus verschiedene Abbildungsvorschriften (z.B. Gauß-Krüger Abbildung in Deutschland und Krovak-Abbildung in Tschechien).

Ein Punkt auf der Erde kann durch raumfeste kartesische Koordinaten, durch ellipsoidische Koordinaten oder durch eine Abbildung in der Ebene näher beschrieben werden.

Im Folgenden wird gezeigt, wie die einzelnen Koordinatenarten ineinander überführt werden können.

4.1. Rotationsellipsoide

Das mathematisch schwer zu erfassende Geoid, bzw. die Niveaulächen der Erdoberfläche, können am besten durch ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid approximiert werden. Durch die Definition einer Bezugsfläche mit Hilfe eines entsprechenden Ellipsoids, kann man Punkte der Erdoberfläche, z.B. entlang der Ellipsoidnormalen, auf das Ellipsoid projizieren.

Damit sind ellipsoidische bzw. geographische Koordinaten bestimmt.

Die Gestalt eines Rotationsellipsoides ist durch zwei Parameter definiert. Im Allgemeinen werden hierfür die große Halbachse a und die kleine Halbachse b bzw. die Abplattung f angegeben.

Es existieren eine Reihe weiterer Parameter, welche das Rechnen mit und auf dem Ellipsoid erleichtern.

Die einzelnen Ellipsoidparameter lassen sich wie folgt ineinander umwandeln:

$$\begin{array}{ll} \text{große Halbachse:} & a \\ \text{kleine Halbachse:} & b \\ \text{Abplattung:} & f = \frac{a-b}{a} \end{array} \quad (4.01)$$

$$\text{lineare Exzentrizität:} \quad \varepsilon = \sqrt{a^2 - b^2} \quad (4.02)$$

$$\text{1. numerische Exzentrizität:} \quad e = \frac{\varepsilon}{a} \quad (4.03)$$

$$\text{2. numerische Exzentrizität:} \quad e' = \frac{\varepsilon}{b} \quad (4.04)$$

Polkrümmungsradius:
$$c = \frac{a^2}{b} \quad (4.05)$$

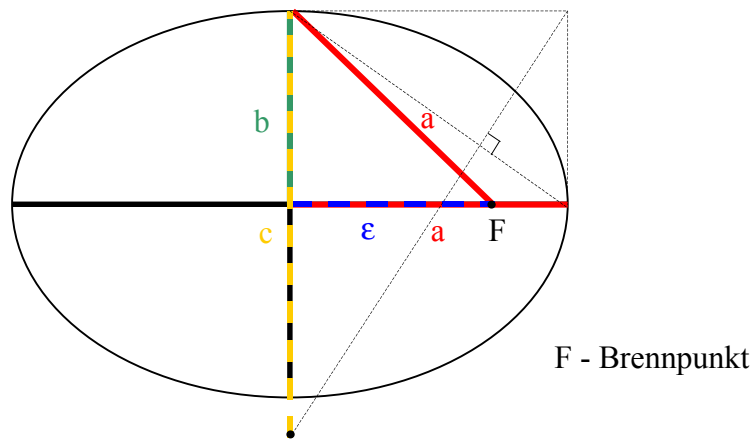


Abbildung 4-1 Ellipsenparameter

Auf dem Rotationsellipsoid sind einige Hilfsfunktionen definiert, die die nachfolgenden Berechnungen erleichtern sollen.

$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} \quad (4.06)$$

$$V = \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B} \quad (4.07)$$

$$\eta = e' \cos B \quad (4.08)$$

$$t = \tan B \quad (4.09)$$

$$n = \frac{a - b}{a + b} \quad (4.10)$$

Weiterhin sind die beiden Hauptkrümmungsradien (M – Meridiankrümmungsradius, N – Quer- oder Normalkrümmungsradius) insbesondere bei der Berechnung von ebenen Projektionen von entscheidender Bedeutung.

Meridiankrümmungsradius:
$$M = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} (1 - e^2) = \frac{c}{V^3} = \frac{a}{W^3} (1 - e^2) \quad (4.11)$$

Querkrümmungsradius:
$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} = \frac{c}{V} = \frac{a}{W} \quad (4.12)$$

4.1.1. Mittleres Erdellipsoid

Das Rotationsellipsoid, welches das Geoid global am besten approximiert und dessen Mittelpunkt im Erdschwerpunkt liegt, wird als mittleres Erdellipsoid bezeichnet. Aufgrund der geozentrischen Lagerung fallen hier die Richtungen der kleinen Halbachse und der mittleren Erdrotationsachse zusammen.

Die maximalen vertikalen Abweichungen zwischen Geoid und mittlerem Erdellipsoid liegen global in der Größenordnung von +/- 100 m.

4.1.2. Lokal bestanschließendes Ellipsoid

Ein lokal bestanschließendes Ellipsoid ergibt sich durch die Anpassung an ein begrenztes Stück der Geoidoberfläche. Im allgemeinen sind die Richtungen ihrer kleinen Halbachse und der mittleren Erdrotationsachse parallel. Im Gegensatz zum mittleren Erdellipsoid sind bestanschließende Ellipsoide nicht geozentrisch gelagert.

4.1.3. Konventionelle Ellipsoide

Beim Aufbau der Landesvermessungsnetze im 19. und 20. Jahrhundert wurden konventionelle Ellipsoide zugrunde gelegt. Ihre numerischen Parameter wurden aus Gradmessungen abgeleitet und repräsentieren mehr oder weniger gut die Geometrie in dem betreffenden Bereich. Konventionelle Ellipsoide besitzen weder eine geozentrische Lagerung, noch ist ihre kleine Halbachse streng parallel zur mittleren Erdrotationsachse. Dieser Umstand ist hauptsächlich auf die Methodik der klassischen Landesvermessung zurückzuführen.

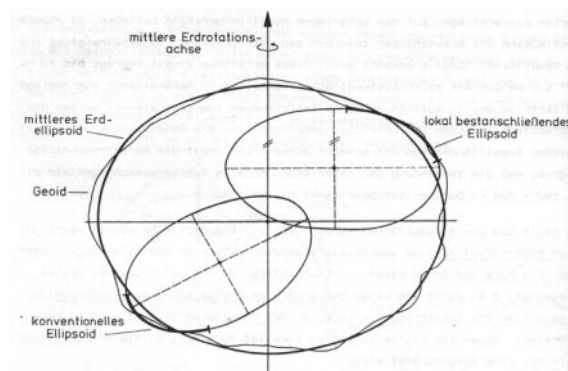


Abbildung 4-2 mittleres Erdellipsoid, lokal bestanschließendes Ellipsoid und konventionelle Ellipsoide

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Parameter einiger der wichtigsten Bezugsellipsoide.

Ellipsoid	Kategorie	große Halbachse [m]	kleine Halbachse [m]	Abplattung 1/
Bessel	konventionell	6377397.155	6356078.96282	299.15281285
Krassowski	regional bestanschließend	6378245.0	6356863.01877	298.3
WGS-84	mittleres Erdellipsoid	6378137.0	6356752.31424	298.257223563
GRS-80	mittleres Erdellipsoid	6378137.0	6356752.31414	298.257222101

Abbildung 4-3 wichtige Ellipsoide

4.1.4. Raumfeste geozentrische kartesische Koordinaten

Das raumfeste geozentrische kartesische Koordinatensystem hat seinen Ursprung im Geozentrum, bzw. im Ellipsoidzentrum des jeweiligen Bezugsellipsoids. Seine Z-Achse stimmt mit der Erdrotationsachse überein und die X-Achse durchstößt am Äquator den Nullmeridian von Greenwich.

4.1.5. Umformung ellipsoidischer Koordinaten (B, L, H) in geozentrisch kartesische Koordinaten (x, y, z)

Zur Berechnung der geozentrischen kartesischen Koordinaten aus der ellipsoidischen Breite B , Länge L und Höhe H muss der Querkrümmungsradius (Formel 3.12) herangezogen werden.

$$\begin{aligned}x &= (N + H) \cos B \cos L \\y &= (N + H) \cos B \sin L \\z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B\end{aligned}\tag{4.13}$$

Die programmtechnische Umsetzung wird in 7.3.3 Die Funktion EllToGeoZent näher beschrieben.

4.1.6. Umformung geozentrisch kartesischer Koordinaten (x, y, z) in ellipsoidische Koordinaten (B, L, H)

Zur Berechnung der ellipsoidischen Koordinaten, aus geozentrischen kartesischen Koordinaten, ist die Formel für den Querkrümmungsradius (Formel 3.12) zu berücksichtigen.

Berechnung der ellipsoidischen Länge L aus

$$L = \arctan \frac{x}{y}\tag{4.14}$$

Bei der Berechnung der ellipsoidischen Breite B handelt es sich um ein Iterationsverfahren. Für den Startwert B_0 wird die sphärische Näherung angenommen.

$$B_0 = \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\tag{4.15}$$

$$B_{i+1} = \arctan \frac{z + e^2 N_i \sin B_i}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad i = 0, 1, 2, \dots\tag{4.16}$$

Die ellipsoidische Höhe H ergibt sich aus

$$H = \frac{x}{\cos B \cos L} - N\tag{4.17}$$

Die programmtechnische Umsetzung wird in 7.3.4. Die Funktion GeoZentToEll näher beschrieben.

4.2. Gauß-Krüger Abbildung

4.2.1. Geschichte der Gauß-Krüger Abbildung

Neben den Grundlagen der Theorie der isothermen Koordinaten auf beliebigen Flächen und der allgemeinen Lösung der Aufgabe: „Die Teile einer gegebenen Fläche auf einer anderen gegebenen Fläche so abzubilden, dass die Abbildung dem Abgebildeten in den kleinsten Teilen ähnlich wird“ (Preisschrift 1822) stammt die Definition dieser Koordinaten von C.F. Gauß, der sie in der von ihm ausgeführten Hannoverschen Landesvermessung (1821 - 1825) benutzte. Ihre Entstehung fällt in den Zeitraum von 1816 – 1820.

Gauß hat hierüber nichts veröffentlicht. Erst nach seinem Tode hat der damalige hannoversche Hauptmann Schreiber, später als preußischer General und Geodät tätig, in seiner Schrift „Theorie der hannoverschen Landesvermessung“ im Jahre 1866 die Ableitungen der Gaußschen Formeln und eine Weiterentwicklung derselben veröffentlicht.

Grundlage der späteren vielfachen Anwendungen wurde eine umfassende Arbeit von Prof. Dr. L. Krüger unter dem Titel „Konforme Abbildung des Ellipsoids in der Ebene“ aus dem Jahre 1912. Als Folge dieser Bearbeitung bürgerte sich die Bezeichnung „Gauß-Krüger Koordinaten“ ein. [Lit. 06]

Im Jahre 1923 wurde für Deutschland die Einführung der konformen Meridianstreifen mit 3° Streifenbreite und beiderseitig zusätzlichen Überlappungszonen von 0,5° Breite bei längentreuem Mittelmeridian vom damaligen „Beirat für Vermessungswesen“ empfohlen. Dieser als „Gauß-Krüger Abbildung“ bezeichnete Entwurf bildete die Grundlage aller deutschen Landesvermessungen und kartographischen Darstellungen. Heute findet dieses konforme Abbildungssystem weltweite Anwendung. Dabei sind für die Meridianstreifen Breiten von 3° oder 6° gebräuchlich. [Lit.17]

In weiterer Folge erwiesen sich die 3° Streifen für manche Zwecke, u.a. für das militärische Vermessungswesen als zu schmal, da in einer mittleren Breite nach jeweils etwa 250 km in Ost-West-Richtung der Übergang aus dem nächsten Streifen notwendig ist. Dies führte zur Einführung von 6° Streifen, die in der russischen Landesvermessung und auch von der deutschen Kriegsvermessung benutzt wurden (Deutsches Heeresgitter).

Auf der 9. Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik in Brüssel im Jahre 1951 wurde die Einführung von 6° Streifen als einheitliches Abbildungssystem vorgeschlagen. Nach der amerikanischen Bezeichnung wird dieses UTM (Uniforme Transversal Mercator) genannt, da klassische, auf den Äquator bezogene Mercatorkoordinaten durch Kippen um $\pi/2$ in Gauß-Krüger Koordinaten übergehen. [Lit. 06]

4.2.2. Deutsches Gauß-Krüger Koordinatensystem

Beim deutschen Gauß-Krüger Koordinatensystem werden die Abszissen auf dem Hauptmeridian vom Äquator aus gezählt und als Hochwerte bezeichnet.

Die Ordinaten (Rechtswerte) erhalten, damit negative Werte vermieden werden, einen Zuschlag von 500 000 m, vor den als Kennziffer die durch 3 geteilte Längengradzahl des Hauptmeridians gesetzt wird, um die einzelnen Meridianstreifen voneinander unterscheiden zu können.

$$\begin{aligned} \text{Abszisse:} & \quad \text{Hochwert} = x \\ \text{Ordinate:} & \quad \text{Rechtswert} = y + 500\,000\text{ m} + L * 1\,000\,000\text{ m} / 3 \end{aligned} \quad (4.18)$$

(L - Längengrad des Hauptmeridians)

Dieses Kennziffersystem wird teilweise auch für das osteuropäische S42 Koordinatensystem verwendet.

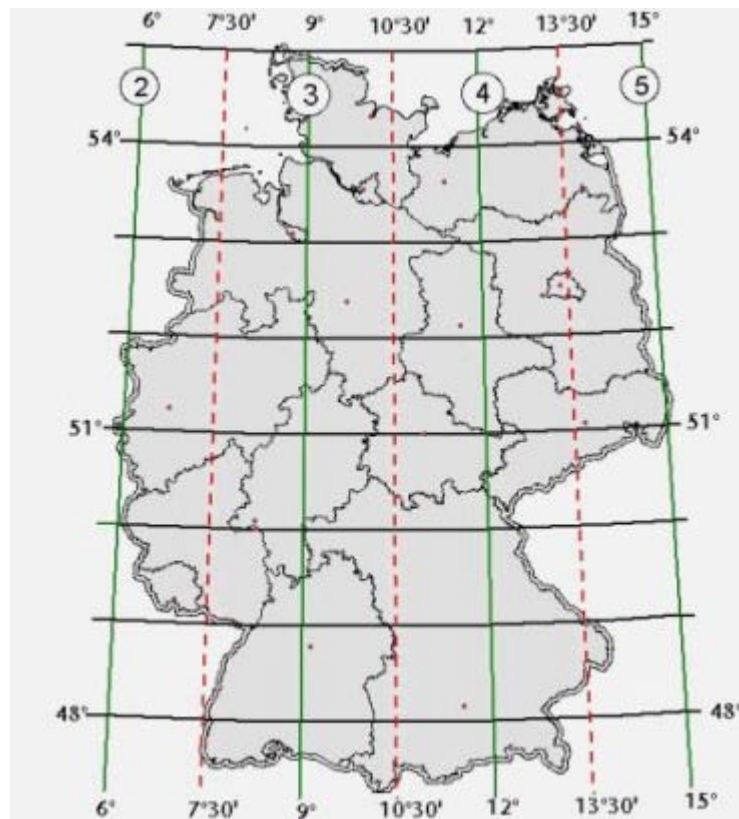


Abbildung 4-4 3° Streifen der Gauß-Krügerabbildung des DHDN

4.2.3. Universal Transverse Mercator Grid System (UTM)

Beim internationalen UTM-System werden, um dem Anwachsen des Vergrößerungsverhältnisses an den Rändern der Streifen entgegenzuwirken, der x- und der y-Wert mit dem

Faktor 0,9996 multipliziert. Die Bezugsmeridiane haben einen Abstand von 6° und werden ostwärts vom 177° westlicher Länge bei 1 beginnend gezählt.

Abszisse: Hochwert = $x * 0,9996$

Ordinate: Rechtswert = $(y * 0,9996) + 500\,000\text{ m} + k * 1\,000\,000\text{ m}$ (4.19)
 (k – Kennziffer des Bezugmeridians z. B. 15° östlicher Länge -> $k=33$)

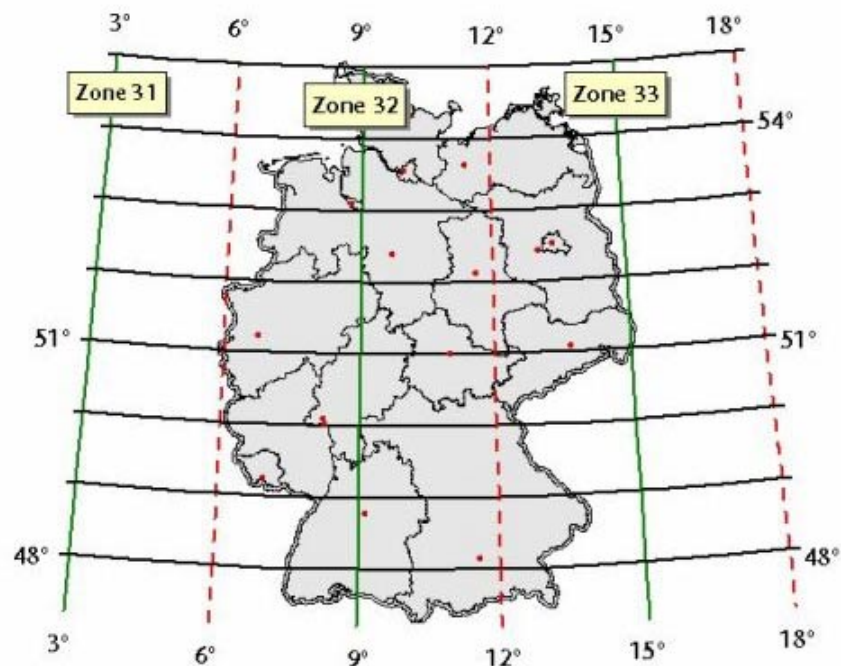


Abbildung 4-5 6° Streifen der UTM Abbildung des ETRF 89

4.2.4. Berechnungsformeln für die Gaußsche-Abbildung

Parameter des Rotationsellipsoids

Zur Berechnung der Gauß-Krüger Abbildung werden Parameter des Rotationsellipsoids, wie zum Beispiel die große Halbachse a , die erste numerische Exzentrizität e , die zweite numerische Exzentrizität e' , der Polkrümmungsradius c , Hilfsfunktionen auf dem Ellipsoid, zum Beispiel t und η und der Querkrümmungsradius N benötigt. Die entsprechenden Formeln sind in Abschnitt (siehe 4.1 Rotationsellipsoide) zu finden.

Berechnung der Meridianbogenlänge

Um Gauß-Krüger Koordinaten zu erhalten, ist die Berechnung der Meridianbogenlänge G_B des Punktes notwendig. Dieser Rechenschritt erfolgt über Meridianbogenlängenkoeffizienten, die mit Hilfe von Fourierreihen entwickelt wurden.

Die programmtechnische Umsetzung dieses Rechenschrittes ist im Kapitel 7.3.5 Die Funktion `MedBogLngKoef` zu finden.

Es gehen

e' , 2. numerische Exzentrizität,

c , der Polkrümmungsradius und
 B , die geografische Breite
als Größen in die Berechnung ein.

$$\begin{aligned}
A' &= 1 - \frac{3}{4}e'^2 + \frac{45}{64}e'^4 - \frac{175}{256}e'^6 + \frac{11025}{16384}e'^8 - \frac{43659}{65536}e'^{10} + \dots \\
B' &= + \frac{3}{4}e'^2 - \frac{15}{16}e'^4 + \frac{525}{512}e'^6 - \frac{2205}{2048}e'^8 + \frac{72765}{65536}e'^{10} - \dots \\
C' &= + \frac{15}{64}e'^4 - \frac{105}{256}e'^6 + \frac{2205}{4096}e'^8 - \frac{10395}{16384}e'^{10} + \dots \\
D' &= + \frac{35}{512}e'^6 - \frac{2205}{4096}e'^8 + \frac{31185}{131072}e'^{10} - \dots \\
E' &= + \frac{315}{16384}e'^8 - \frac{3465}{65536}e'^{10} + \dots \\
F' &= + \frac{693}{131072}e'^{10} - \dots
\end{aligned}$$

$$\alpha = A'c, \quad \beta = \frac{1}{2}B'c, \quad \gamma = \frac{1}{4}C'c, \quad \delta = \frac{1}{6}D'c, \quad \varepsilon = \frac{1}{8}E'c, \quad \zeta = \frac{1}{10}F'c \quad (4.20)$$

$$G_B = \alpha B - \beta \sin(2B) + \gamma \sin(4B) - \delta \sin(6B) + \varepsilon \sin(8B) - \zeta \sin(10B) + \dots \quad (4.21)$$

Umrechnung von ellipsoidischen in Gaußsche Koordinaten

In die Berechnung von Gaußschen Koordinaten gehen neben

B , der geografischen Breite und

l , der auf den Bezugsmeridian reduzierten geografischen Länge

auch noch

t, η , das sind Hilfsfunktionen,

N , der Querkrümmungsradius und

G_B , die Meridianbogenlänge ein.

Die programmtechnische Umsetzung wird in 7.3.6 Die Funktion Ell_TO_GK näher beschrieben.

$$a_1 = N \cos B$$

$$a_2 = \frac{1}{2}tN \cos^2 B$$

$$a_3 = \frac{1}{6}N \cos^3 B(1 - t^2 + \eta^2)$$

$$a_4 = \frac{1}{24}N \sin B \cos^3 B(5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4)$$

$$a_5 = \frac{1}{120} N \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2 + 13\eta^4 - 64\eta^4 t^2)$$

$$a_6 = \frac{1}{720} N \sin B \cos^5 B (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^4 t^2)$$

$$a_7 = \frac{1}{5040} N \cos^7 B (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6)$$

$$a_8 = \frac{1}{40320} N \sin B \cos^7 B (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6)$$

$$x = G_B + a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 + a_8 l^8 + \dots \quad (4.22)$$

$$y = a_1 l + a_3 l^3 + a_5 l^5 + a_7 l^7 + \dots \quad (4.23)$$

Umrechnung von Gaußschen in ellipsoidische Koordinaten

Die Eingangsgrößen dieser Berechnung sind

- x , der Hochwert,
- y , der Rechtswert,
- a , die große Halbachse des Rotationsellipsoids,
- e' , die zweite numerische Exzentrizität und
- n , eine Hilfsgröße.

Die programmtechnische Umsetzung wird in 7.3.7 Die Funktion GK_TO_ELL näher beschrieben.

$$G_{rad} = \frac{a}{1+n} \left(1 + \frac{1}{2} n^2 + \frac{1}{64} n^4 + \dots \right) \quad (4.24)$$

$$\sigma = \frac{x}{G_{rad}} \quad (4.25)$$

$$B_f = \sigma + \frac{3}{2} \left(n - \frac{9}{16} n^3 \right) \sin(2\sigma) + \frac{21}{16} n^2 \sin(4\sigma) + \frac{151}{96} n^3 \sin(6\sigma) + \dots \quad (4.26)$$

$$t_f = \tan B_f \quad (4.27)$$

$$\eta_f = e' \cos B_f \quad (4.28)$$

$$N_f = \frac{a}{\sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B_f}} \quad (4.29)$$

$$M_f = \frac{a}{(1 - e'^2 \sin^2 B_f)^{\frac{3}{2}}} (1 - e'^2) \quad (4.30)$$

$$b_1 = + \frac{1}{N_f \cos B_f}$$

$$b_2 = - \frac{t_f}{2M_f N_f}$$

$$b_3 = - \frac{1 + 2t_f^2 + \eta_f^2}{6N_f^3 \cos B_f}$$

$$b_4 = + \frac{t_f}{24M_f N_f^3} (5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2 - 4\eta_f^4)$$

$$b_5 = + \frac{1}{120N_f^5 \cos B_f} (5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 24t_f^6 - 6\eta_f^6 - 8\eta_f^2 t_f^2)$$

$$B = B_f + b_2 y^2 + b_4 y^4 + \dots \quad (4.31)$$

$$l = b_1 y + b_3 y^3 + b_5 y^5 + \dots \quad (4.32)$$

4.3. Die Krovak-Abbildung

4.3.1. Allgemeine Beschreibung

Die Krovak-Abbildung wurde als spezielle kartografische Projektion der Tschechoslowakei von J. Krovak für die Katasterkarten und für zivile geodätische Anwendungen entwickelt.

Es handelt sich um eine konforme Kegelabbildung (Kegel in schiefer Position) unter Berücksichtigung folgender Schritte:

4.3.2. Längenbezugsysteme

Das tschechische Landeskoordinatensystem JTSK (Krovak-Abbildung) nutzt als Nullmeridian den Meridian durch Ferro. Ferro, früherer Name der Insel Hierro, ist die westlichste der Kanarischen Inseln. Dieser Bezugsmeridian wurde 1634 von französischen Geographen durch das Kap Punta Orchilla (Leuchtturm), das schon in der Antike als westlicher Punkt der Alten Welt galt, gelegt. [Brockhaus]

Für die folgenden geodätischen Berechnungen muss der Unterschied zwischen dem Ferro- und dem Greenwich-Bezugssystem als eine Funktion des Punktes (φ, λ) und in Abhängigkeit der geodätischen Daten der verwendeten Systeme berücksichtigt werden.

Für den Fall der Umrechnung des JTSK in das geozentrische System wird im Folgenden ein Längenunterschied von $17^\circ 40'$ als Standardwert angenommen.

Gaußsche Schmiegekugel

Die Koordinaten auf dem Bessel-Ellipsoid (siehe 4.1 Bezugsellipsoide) werden mit Hilfe einer konformen Transformation auf die Gaußsche Schmiegekugel abgebildet.

Die Gaußsche Schmiegekugel wird auf dem Grundparallelkreis $\phi_0 = 49^\circ 30'$ nördlicher Breite (ungefähr mittlere Breite der ehemaligen Tschechoslowakischen Republik) gebildet und ihr Radius wird mit der Formel $R_0 = \sqrt{N_0 M_0}$ berechnet.

4.3.3. Schiefachsige sphärische Koordinaten

Es wurde ein neues Koordinatensystem für die Kegelabbildung (Kegel in schiefer Position) auf der Gaußschen Schmiegekugel berechnet.

Die neuen sphärischen Koordinaten wurden so gebildet, dass das Gebiet der ehemaligen Tschechoslowakei (1918 - 1938) mit den kleinsten Breitenunterschieden abgebildet wer-

den konnte. Dadurch kommt es zu einer Minimierung der Längenverzerrungen, da diese von der Breitendifferenz zum Grundparallelkreis abhängen.

Das neue System wurde über den Punkt A definiert, der mit den Koordinaten $\phi=48^{\circ}15'$ und $\lambda=42^{\circ}30'$ von Ferro östlich vom Gebiet der ehemaligen Tschechoslowakei liegt. Den Pol Q der neuen schiefachsigen Koordinaten hat Krovak bei $10^{\circ}30'$ (in sphärischen Koordinaten) nördlich vom Punkt A definiert.

Der neuentstandene schiefachsige Parallelkreis ($b=78^{\circ}30'$) geht durch den Punkt A und approximiert das Gebiet der Tschechoslowakei am besten in einem Steifen. Der Meridian des neuen schiefachsigen sphärischen Koordinatensystems, der den Punkt A durchläuft, wird zum Grundmeridian des Systems, auf ihn beziehen sich die schiefachsigen Längen.

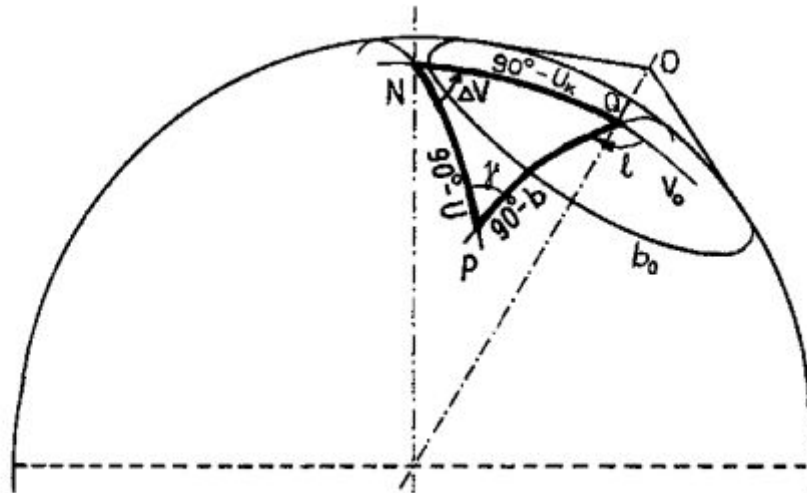


Abbildung 4-6 Normale und schiefachsige sphärische Koordinaten

Die Kegelabbildung der verkleinerten sphärischen Koordinaten

Die schiefachsigen sphärischen Koordinaten werden um den Faktor 0,9999 verkleinert und mit Hilfe einer konformen konischen Abbildung in Kegelkoordinaten umgewandelt.

Die Maßstabskorrektur des Radius der Kugel von 0,9999 ist notwendig, um die Längenverzerrungen auf dem Gebiet der ehemaligen Tschechoslowakei zu minimieren ($-10 \text{ cm/km} < \Delta s < 13 \text{ cm/km}$). Die konische Abbildung ist durch die verkleinerte Kugel und den Grundparallelkreis bei $78^{\circ}30'$ definiert. Durch die Verkleinerung entstehen zwei Parallelkreise die längentreu abgebildet werden.

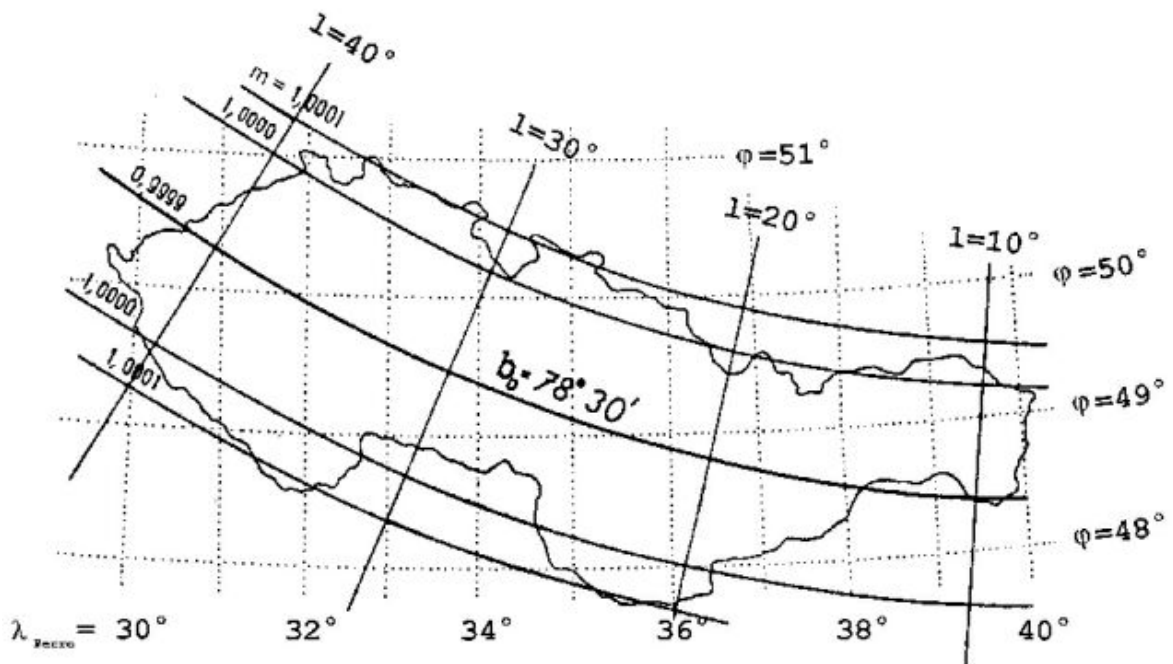


Abbildung 4-7 Maßstabsverteilung der Krovak-Abbildung im Gebiet der Tschechoslowakei (1945 - 1992)

Die Kegelkoordinaten, die vorerst als Polarkoordinaten vorliegen, werden nun in rechtwinklige Koordinaten umgewandelt.

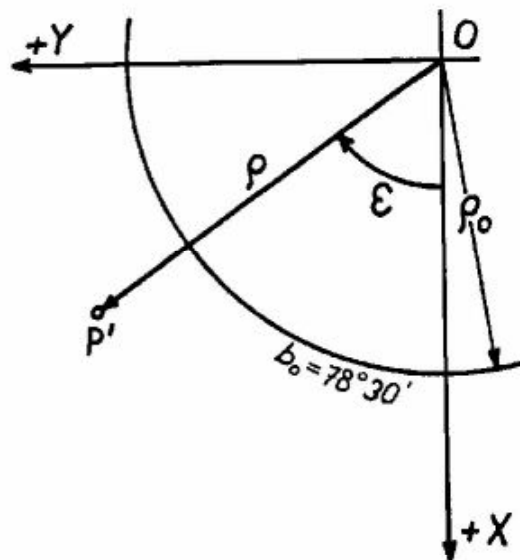


Abbildung 4-8 Projektionsfläche der Krovak Abbildung

4.3.4. Praktische Hinweise zur Krovakabbildung und zum S-JTSK

Die X-Achse der Krovakkoordinaten ist von Nord nach Süd und die Y-Achse von Ost nach West orientiert.

Das gesamte Gebiet der ehemaligen Tschechoslowakei wird im ersten Quadranten des rechtwinkligen Systems abgebildet, das heißt, dass X und Y immer positive Werte sind.

(In einigen Geografischen Informationssystemen erhalten die Koordinaten negative Vorzeichen, um die Nordausrichtung korrekt darstellen zu können).

Des Weiteren ist für das gesamte Gebiet der ehemaligen Tschechoslowakei die X-Koordinate größer als die Y-Koordinate, und mit Ausnahme von Nordböhmen ist die X-Koordinate immer größer als 1 000 000 m und die Y-Koordinate kleiner als 1 000 000 m.

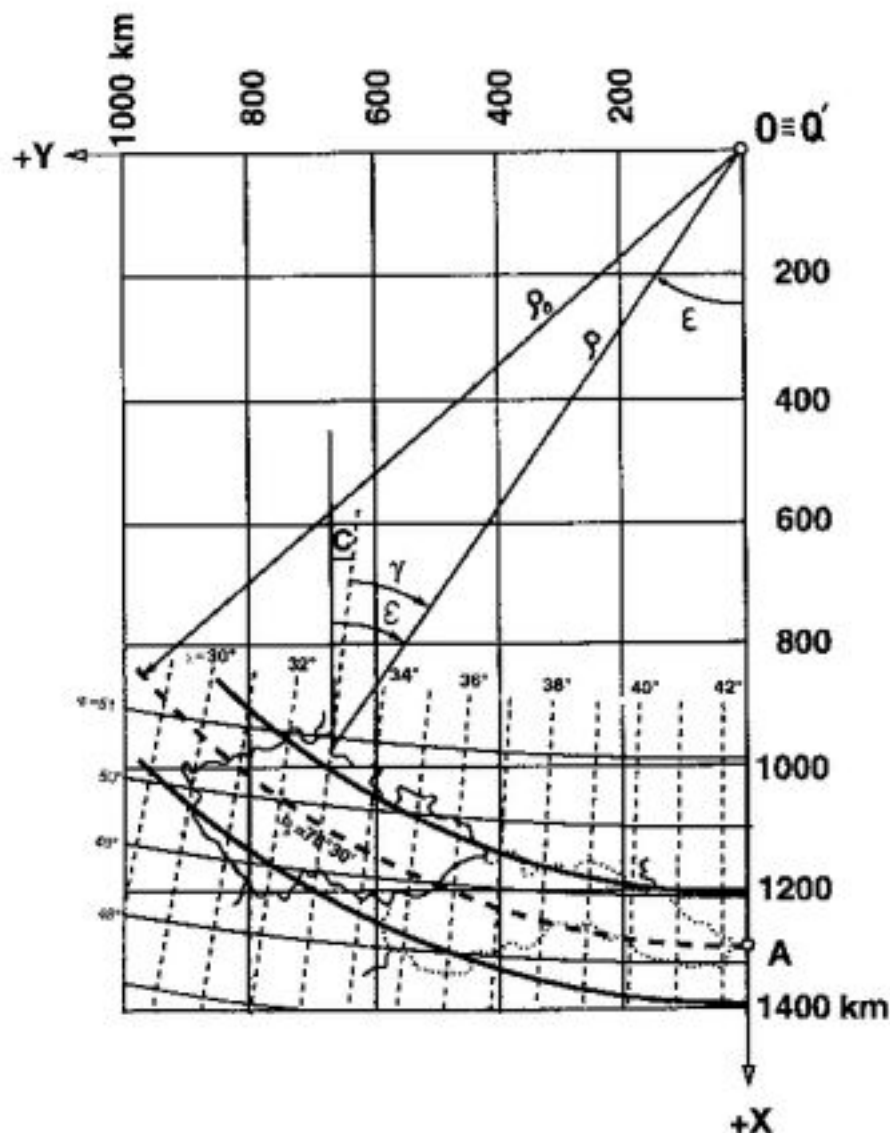


Abbildung 4-9 Krovak-Abbildung

4.3.5. Berechnung von Kegelkoordinaten nach Krovak

Konstanten und Hilfsgrößen

Zur Berechnung von Krovakkoordinaten sind neben Ellipsoidparametern (a große Halbachse, e erste numerische Exzentrizität), die in 4.1 Rotationsellipsoide näher beschrieben werden, noch einige Konstanten und Hilfsgrößen erforderlich, die im Folgenden dargestellt werden.

φ_0 Breite des Grundparallelkreises für die Berechnung der Gaußschen Schmiegkugel
 $\varphi_0 = 49^\circ 30'$

U_Q sphärische Breite des Pols des schiefachsigen sphärischen Koordinatensystems
 $U_Q = 59^\circ 42' 42,69689''$

U_0 Breite des Grundparallelkreises auf der Kugel

$$U_0 = \arcsin\left(\frac{\sin \varphi_0}{\alpha}\right) \quad U_0 = 49^\circ 27' 35,84625'' \quad (4.33)$$

R_0 Krümmungsradius der Gaußschen Schmiegkugel

$$R_0 = \sqrt{M_0 * N_0} = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 \varphi_0} \quad R_0 = 6380703,6105 \quad (4.34)$$

α, k Parameter der Abbildung auf der Gaußschen Schmiegkugel

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{e^2 \cos^4 \varphi_0}{1-e^2}} \quad \alpha = 1,00059749837155 \quad (4.35)$$

$$k = \frac{\tan\left(\frac{U_0}{2} + 45^\circ\right)}{\tan^\alpha\left(\frac{\varphi_0}{2} + 45^\circ\right)} \left(\frac{1+e \sin \varphi_0}{1-e \sin \varphi_0}\right)^{\frac{\alpha e}{2}} \quad k = 1,00341916396661 \quad (4.36)$$

S_0 Grundparallelkreis der Abbildung im schiefachsigen sphärischen Koordinatensystem

$$S_0 = 78^\circ 30'$$

k_1 Maßstabsfaktor zur Verkleinerung der schiefachsigen sphärischen Koordinaten

$$k_1 = 0,9999$$

n Sinus des Grundparallelkreises S_0

$$n = \sin S_0 \quad (4.37)$$

ρ_0 Entfernung zwischen dem Grundparallelkreis S_0 und dem Zentrum der konischen Abbildung O

$$\rho_0 = \frac{k_1 R_0}{\tan S_0} \quad (4.38)$$

Umrechnung ellipsoidischer Koordinaten in Krovakkoordinaten

Die Hilfsgrößen

α, κ Parameter der Abbildung auf der Gaußschen Schmiegkugel,

n Sinus des Grundparallelkreises S_0 ,

U_Q sphärische Breite des Pols des schiefachsigen sphärischen Koordinatensystems,

e erste numerische Exzentrizität sowie die geografische Breite Φ und geografische Länge λ bezogen auf Greenwich gehen als Eingangsgrößen in die Berechnung ein.

Im Ergebnis liegen die Krovakkoordinaten X und Y vor.

Die programmtechnische Umsetzung wird in Kapitel 7.3.8. Die Funktion BesToPlnKeg beschrieben.

$$gfi = \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right)^{\frac{\alpha e}{2}} \quad (4.39)$$

$$U = 2 \left(\arctan \left(k \frac{\tan^{\alpha} \left(\frac{\phi}{2} + 45^{\circ} \right)}{gfi} \right) - 45^{\circ} \right) \quad (4.40)$$

$$\lambda' = \lambda + 17^{\circ}40' \quad (4.41)$$

$$\Delta V = \alpha(42^{\circ}30' - \lambda') \quad (4.42)$$

$$\alpha' = 90^{\circ} - U_Q \quad (4.43)$$

$$S = \arcsin(\cos \alpha' \sin U + \sin \alpha' \cos U \cos \Delta V) \quad (4.44)$$

$$D = \arcsin \left(\frac{\cos U \sin \Delta V}{\cos S} \right) \quad (4.45)$$

$$\varepsilon = nD \quad (4.46)$$

$$\rho = \rho_0 \frac{\tan^n \left(\frac{S_0}{2} + 45^{\circ} \right)}{\tan^n \left(\frac{S}{2} + 45^{\circ} \right)} \quad (4.47)$$

$$X = \rho \cos \varepsilon \quad (4.48)$$

$$Y = \rho \sin \varepsilon \quad (4.49)$$

Umrechnung von Krovakkoordinaten in ellipsoidische Koordinaten

In die Formeln zur Umrechnung von Krovakkoordinaten in ellipsoidische Koordinaten gehen

neben den Ausgangskordinaten X und Y auch noch

S_0 der Grundparallelkreis der Abbildung im schiefachsigen sphärischen Koordinatensystem,

ρ_0 die Entfernung zwischen dem Grundparallelkreis S_0 und dem Zentrum der konischen Abbildung O ,

α Parameter der Abbildung auf der Gaußschen Schmiegkugel,

n Sinus des Grundparallelkreises S_0 ,

U_Q die sphärische Breite des Pols des schiefachsigen sphärischen Koordinatensystems und

e die erste numerische Exzentrizität ein.

Im Ergebnis liegen geografische Breite ϕ und geografische Länge λ bezogen auf Greenwich vor.

$$\rho = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (4.50)$$

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (4.51)$$

$$D = \frac{\varepsilon}{\sin S_0} \quad (4.52)$$

$$\alpha' = 90^\circ - U_0 \quad (4.53)$$

$$S = 2 \left\{ \arctan \left[\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \tan \left(\frac{S_0}{2} + 45^\circ \right) \right] - 45^\circ \right\} \quad (4.54)$$

$$U = \arcsin(\cos \alpha' \sin S - \sin \alpha' \cos S \cos D) \quad (4.55)$$

$$\Delta V = \arcsin\left(\frac{\cos S \sin D}{\cos U}\right) \quad (4.56)$$

$$\lambda = 24^\circ 50' - \frac{\Delta V}{\alpha} \quad (4.57)$$

ϕ wird durch Iteration berechnet

$$\phi_i = 2 \left\{ \arctan \left[\sqrt{\frac{\tan\left(\frac{U}{2} + 45^\circ\right)}{k} \left(\frac{1 + e \sin \phi_{i-1}}{1 - e \sin \phi_{i-1}} \right)^{\frac{e}{2}}} \right] - 45^\circ \right\} \quad (4.58)$$

wobei $\phi_0 = U, i=1,2,\dots$

Die programmtechnische Umsetzung der Rechenschritte wird unter 7.3.9 Die Funktion KrovakToBL näher beschrieben.

5. Transformation mit Datumsübergang

Zusammenfassend ist zu sagen:

Verschiedene Bezugssysteme verwenden unterschiedliche Rotationsellipsoide und unterschiedliche Abbildungsverfahren für die Darstellung von Punktkoordinaten auf der Erdoberfläche.

Die ebenen Koordinaten, z. B. in der Krovak- oder der Gauß-Krüger Abbildung, lassen sich mathematisch eindeutig in geografische Koordinaten des entsprechenden Ellipsoids umwandeln. Diese wiederum kann man eindeutig in ellipsoidzentrische (praktisch geozentrische) kartesische Koordinaten mit Hilfe der Formeln 4.13 umrechnen.

Die ellipsoidzentrischen, kartesischen Koordinaten ein und desselben Punktes, berechnet aus den Punktkoordinaten zweier unterschiedlicher Bezugssysteme, unterscheiden sich auf Grund des unterschiedlichen Datums der Bezugssysteme.

Um die kartesischen Koordinaten eines Bezugssystems in die kartesischen Koordinaten eines anderen Bezugssystems zu überführen, verwendet man eine 7 Parameter Transformation.

Anschließend werden die kartesischen Koordinaten wieder in geografische Koordinaten auf einem Rotationsellipsoid und danach in ebene Koordinaten des entsprechenden Abbildungsverfahrens umgerechnet.

Die Transformationsparameter für die 7 Parameter Transformationen lassen sich aus der Beobachtung identischer Punkte in beiden Koordinatensystemen ermitteln.

Da die Landeskoordinatensysteme benachbarter Staaten oft keine oder nur wenige identische Punkte haben, aus denen man entsprechende Transformationsparameter ableiten könnte, muss man über das relativ neue europaweite ETRS89 gehen. Im Rahmen seiner Verdichtungskampagnen in den einzelnen Ländern wurden eine große Anzahl von Punkten in alten Landeskoordinatensystemen und im ETRS89 doppelt bestimmt. Es lassen sich also in vielen Ländern Transformationsparameter in und aus dem ETRS89 berechnen.

Ein allgemeines Funktionsschema für eine 7 Parameter Transformation mit Datumsübergang müsste also folgendermaßen aussehen:

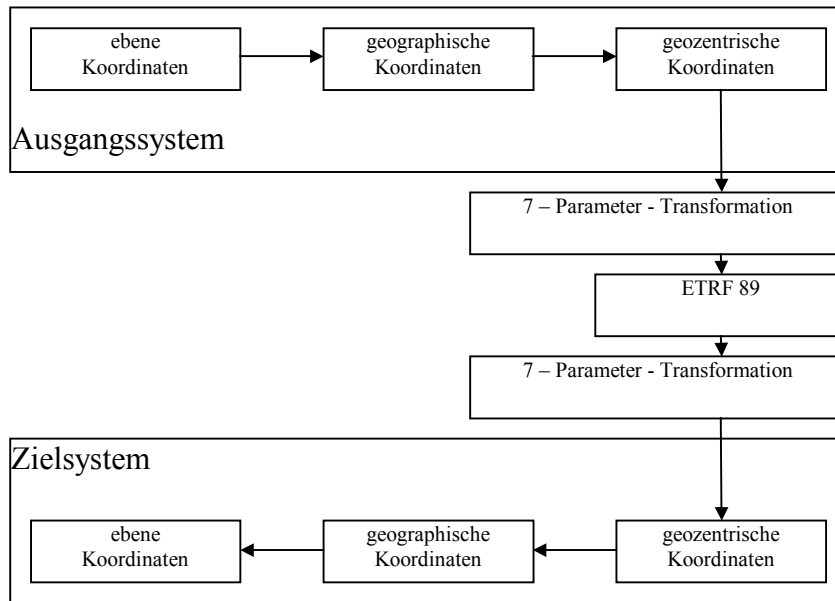


Abbildung 5-1 Funktionsschema der Transformation

5.1. 7 Parameter Transformation

Zwei räumliche Koordinatensysteme lassen sich durch drei Translationen ΔX , ΔY , ΔZ in Richtung der Achsen X , Y , Z des globalen kartesischen Koordinatensystems und drei Rotationen γ , β , α (positive Drehungen um die Z -, Y -, X -Achsen im Uhrzeigersinn vom positiven Ende der Achsen aus gesehen) in einander überführen. Ein so transformiertes Dreieck ist mit dem ursprünglichen kongruent, bei Einführung eines Maßstabfaktors m sind sie einander ähnlich. [Lit. 07]

Die Beziehung der räumlichen Ähnlichkeitstransformationen von einem Bezugssystem I in ein zweites Bezugssystem II lautet:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}'' = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+m) \cdot \underline{D} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}'$$

wobei die Rotationsmatrix \underline{D} folgendermaßen definiert ist:

$$\underline{D} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma - \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma \\ -\cos \beta \sin \gamma & \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & \sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma \\ \sin \beta & -\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}$$

Da es sich bei den Winkeln um sehr kleine Größen handelt, kann man folgendermaßen vereinfachen:

$$\underline{D} = \begin{pmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{pmatrix}$$

5.2. Transformationsparameter und deren Genauigkeit

Die Transformationsparameter für KoTra werden aus Beobachtungen ein und desselben Punktes in den beiden zu transformierenden Koordinatensystemen bestimmt.

Meistens werden hierzu Daten der EUREF-Verdichtungskampagnen benutzt. Die Qualität der Transformationsparameter hängt von der Größe des Anwendungsgebietes und von der inneren Genauigkeit der beteiligten Netze ab. Durch gezielte Beobachtungen im Nationalparkgebiet und anschließende Parameterberechnung speziell für die interessante Region wäre es möglich, die Transformationsgenauigkeit in den Zentimeterbereich zu verbessern.

Die zum Test der Software verwendeten Parameter wurden vom IFAG zur Verfügung gestellt. Sie sind für die Transformation vom DHDN ins ETRS89 mit einer Genauigkeit von 2 bis 3 m im Gebiet Südsachsens und für die Transformation vom SJTSK ins ETRS89 mit einer Genauigkeit von ca. 1 m angegeben.

Diese Genauigkeit ist für die Verwendung im NPIS Projekt vorerst ausreichend und kann gegebenenfalls durch die Ermittlung neuer, speziell auf dieses Gebiet zugeschnittener Transformationsparameter, verbessert werden.

Transformationsparameter für den Übergang vom DHDN zum ETRS89 sind laut IfAG:

$$\begin{aligned} \Delta X &= 582 \text{ m} \\ \Delta Y &= 105 \text{ m} \\ \Delta Z &= 414 \text{ m} \\ \alpha &= 1,04 \text{ ``} \\ \beta &= 0,35 \text{ ``} \\ \gamma &= -3,08 \text{ ``} \\ m &= 8,3 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Transformationsparameter für den Übergang vom S-JTSK zum ETRS89 sind laut IFAG:

$$\begin{aligned} \Delta X &= 570,8 \text{ m} \\ \Delta Y &= 85,7 \text{ m} \\ \Delta Z &= 462,8 \text{ m} \\ \alpha &= 4,998 \text{ ``} \\ \beta &= 1,587 \text{ ``} \\ \gamma &= 5,261 \text{ ``} \\ m &= 3,56 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Es ist darauf zu achten, dass sich der Drehsinn der Rotationen bei den Parametern vom IFAG und bei den von KoTra verwendeten unterscheidet. Um die Parameter also in KoTra nutzen zu können, müssen diese invertiert werden.

6. Shapefiles

6.1. Was sind Shapefiles?

Das Shapefileformat wurde von der Firma ESRI entwickelt, um Daten mit räumlichem Bezug in Programmen wie ARC/INFO oder ARC/VIEW speichern bzw. verarbeiten zu können.

Shapefiles speichern raumbezogene Informationen, das heißt deren nichttopologische Geometrie und Attribute, in einem Datensatz. Die Geometrie eines Merkmals wird in einem Shape in Form von Vektorkoordinaten gespeichert.

Da es sich bei Shapefiles um nichttopologische Datenstrukturen handelt, lassen sie sich im Gegensatz zu anderen Datenquellen schneller zeichnen und besser editieren. Shapefiles benötigen wenig Speicherplatz, sind einfach zu lesen und zu schreiben.

Shapefiles können punktförmige, linienförmige und flächenförmige Merkmale beschreiben. Nichtgeometrische Attribute werden in einer dBASE Datei gespeichert, wobei jede Datenzeile eine eins zu eins Beziehung mit dem zugehörigen Shapedatensatz hat.

Shapefiles werden normalerweise durch eine der folgenden vier Methoden erzeugt:

1. Export - Shapefiles können aus anderen Datenformaten mit Hilfe folgender Programme generiert werden: ARC/INFO ® , PC ARC/INFO ® , Spatial Database Engine™ (SDE™), ArcView ® GIS oder BusinessMAP™.
2. Digitalisierung – Durch spezielle Werkzeuge im ArcView ® GIS ist es möglich, Shapefiles direkt zu erzeugen.
3. Programmierung – Unter Verwendung folgender Programmiersprachen können Shapefiles erzeugt werden. Avenue™ (ArcView GIS), MapObjects™ , ARC Macro Language (AML™) (ARC/INFO) oder Simple Macro Language (SML™) (PC ARC/INFO).
4. Unter Verwendung der Shapefilespezifikationen, die im Folgenden teilweise erläutert werden, kann man unabhängige Programme schreiben, die Shapefiles sowohl lesen als auch schreiben können.

6.2. Technische Beschreibung des Shapefile-Formates

Ein Esri Shapefile besteht aus einer Hauptdatei (.shp), einer Indexdatei (.shx) und einer dBASE Tabelle (.dbf).

Die Hauptdatei besteht aus Datensätzen unterschiedlicher Länge, auf die direkter Zugriff möglich ist. Jeder dieser Datensätze beschreibt ein Shape über eine Liste seiner Stützpunkte.

In der Indexdatei wird jedem Datensatz der Hauptdatei ein Offset zugewiesen, welcher sich auf den Anfang der Hauptdatei bezieht und einen schnellen Zugriff auf einzelne Datensätze erlaubt.

In der dBASE Tabelle werden den Shapes nichtgeometrische Attribute zugewiesen. Die eins zu eins Beziehung zwischen Geometrie und Attributen basiert auf der Datensatznummer. Das heißt, dass die Attributdatensätze in der dBASE Datei die gleiche Reihenfolge besitzen müssen wie die Geometriedatensätze in der Hauptdatei.

Die Dateinamen entsprechen der 8.3 Namenskonvention. Die Hauptdatei, die Indexdatei und die dBASE Datei haben den selben Präfix. Dieser fängt mit einem alphanumerischen Zeichen (0-9 ; a-Z) an. Es folgen bis zu sieben Zeichen (0-9 ; a-Z ; _ ; -). Der Suffix der Hauptdatei ist .shp, der der Indexdatei ist .shx und die dBASE Datei endet auf .dbf. Bei Betriebssystemen, die zwischen Groß- und Kleinschreibung unterscheiden, wird der gesamte Dateiname klein geschrieben.

In einem Shapefile werden Zahlen als Integer (ganze Zahlen) oder als Double (doppeltgenaue Fließkommazahlen) gespeichert, wobei Integer Zahlen 4 Bytes und Double Zahlen 8 Bytes Speicherplatz belegen.

Fließkommazahlen müssen einen gültigen numerischen Wert besitzen. Positiv Unendlich, Negativ Unendlich und Not a Number (kein Wert) sind in Shapefiles nicht erlaubt.

6.3. Aufbau der Hauptdatei (.shp)

Die Hauptdatei besteht aus einem Dateikopf fester Länge und Datensätzen mit variabler Länge. Jeder Datensatz besteht ebenfalls aus einem Datensatzkopf fester Länge, gefolgt vom Datensatzinhalt mit variabler Länge.



Abbildung 6-1 Aufbau der Hauptdatei (.shp)

Der Inhalt eines Shapefiles kann in zwei Kategorien unterteilt werden. Zum Einen gibt es Inhalt mit Datenbezug, wie den Datensatzinhalt und die im Dateikopf gespeicherte Bounding Box, den Shapetyp und so weiter. Zum Anderen existieren reine Dateiverwaltungsangaben, wie zum Beispiel die Dateilänge, der Offset der Datensätze und so weiter.

Die Integer- und Double-Zahlen, die die Datenfelder im Dateikopf und in den Datensatzinhalten beschreiben, sind in der so genannten little endian byte order (PC oder Intel) abgebildet.

Die restlichen Integerzahlen im Shapefile dienen der Dateiverwaltung und sind als big endian byte order (Sun oder Motorola) definiert.

6.3.1. Der Kopf der Hauptdatei

Der Kopf der Hauptdatei ist 100 Byte groß. Folgende Tabelle zeigt die Felder des Dateikopfs nach ihrer Position. Es sind der Wert, Typ und die Byteanordnung der Felder zu sehen.

Position	Feld	Wert	Typ	Byte Anordnung
Byte 0	File Code	9994	Integer	Big
Byte 4	unbenutzt	0	Integer	Big
Byte 8	unbenutzt	0	Integer	Big
Byte 12	unbenutzt	0	Integer	Big
Byte 16	unbenutzt	0	Integer	Big
Byte 20	unbenutzt	0	Integer	Big
Byte 24	Datei Länge	Datei Länge	Integer	Big
Byte 28	Version	1000	Integer	Little
Byte 32	Shape Typ	Shape Typ	Integer	Little
Byte 36	Bounding Box	X min	Double	Little
Byte 44	Bounding Box	Y min	Double	Little
Byte 52	Bounding Box	X max	Double	Little
Byte 60	Bounding Box	Y max	Double	Little
Byte 68*	Bounding Box	Z min	Double	Little
Byte 76*	Bounding Box	Z max	Double	Little
Byte 84*	Bounding Box	M min	Double	Little
Byte 92*	Bounding Box	M max	Double	Little

* Wenn diese Werte nicht gebraucht werden, erhalten sie den Wert 0.0

Abbildung 6-2 Der Kopf der Hauptdatei

Der Wert der Dateilänge entspricht der totalen Dateilänge in 16 Bit Wörtern (einschließlich der fünfzig 16 Bit Wörter, die den Dateikopf ausmachen).

Alle in einem Shapefile enthaltenen Shapes müssen dem selben Typ entsprechen. Den einzelnen Typen werden folgende Integerzahlen zugewiesen.

Wert	Shape Typ
0	Null Shape
1	Point
3	PolyLine
5	Polygon
8	MultiPoint
11	PointZ
13	PolyLineZ
15	PolygonZ
18	MultiPointZ
21	PointM
23	PolyLineM
25	PolygonM
28	MultiPointM
31	MultiPath

Abbildung 6-3 Shapetypen

6.3.2. Die Datensatzköpfe

Der Kopf jedes Datensatzes beinhaltet die Datensatznummer und die Länge des Datensatzes. Datensatzköpfe haben eine feste Länge von 8 Byte. Die folgende Tabelle zeigt die Felder eines Datensatzkopfes nach ihrer Position, dem Wert, dem Typ und der Byteordnung. Die Position in der Tabelle bezieht sich auf den Anfang des Datensatzes.

Position	Feld	Wert	Typ	Byte nung	Anord- nung
Byte 0	Datensatznummer	Datensatznummer	Integer	Big	
Byte 4	Datensatzlänge	Datensatzlänge	Integer	Big	

Abbildung 6-4 Datensatzkopf in der Hauptdatei

Die Datensatzlänge ist die Länge des Datensatzinhaltes gemessen in 16 Bit Wörtern. Jeder Datensatz steuert deshalb (Datensatzlänge + 4) 16 Bit Wörter zur Gesamtlänge der Datei bei, wie sie in Byte 24 des Dateikopfes zu lesen ist.

6.3.3. Die Datensatzinhalte der Hauptdatei

Der Datensatzinhalt eines Shapefiles besteht aus dem Shapetyp gefolgt von den eigentlichen geometrischen Daten. Die Länge des Datensatzinhalts hängt von der Anzahl der Teile und der Anzahl der Stützpunkte des Shapes ab.

Im Folgenden werden nur die Shapeformen Point (Typ 1), PolyLine (Typ3) und Polygon (Typ 5) näher beschrieben, da diese im Rahmen dieser Arbeit als einzige in den Datenbe-

ständen der Nationalparkverwaltungen vorkamen und die restlichen Shapetypen in diesem konkreten Fall bis jetzt keine Verwendung finden.

In den folgenden Tabellen wird die Position der Datenfelder auf den Anfang des Datensatzinhaltes bezogen.

6.3.4. Shapetyp Point

Ein Point (Punkt) besteht aus doppelt genauen Koordinaten in der Reihenfolge X, Y.

```
Point
{
  Double          X          // X Koordinate
  Double          Y          // Y Koordinate
}
```

Position	Feld	Wert	Typ	Anzahl	Byte nung	Anord- nung
Byte 0	Shape Typ	1	Integer	1	Little	
Byte 4	X	X	Double	1	Little	
Byte 12	Y	Y	Double	1	Little	

Abbildung 6-5 Aufbau des Shapetyps Point

6.3.5. Shapetyp PolyLine

Eine PolyLine ist ein geordneter Satz von Vertices, die aus einem oder mehreren Parts bestehen. Ein Part ist eine verbundene Reihe von zwei oder mehr Punkten. Parts können, müssen aber nicht, miteinander verbunden sein und sie können sich kreuzen.

Da diese Beschreibung aufeinander folgende Punkte mit gleichen Koordinaten nicht verbietet, muss ein Programm, das Shapefiles verarbeitet, diesen Fall berücksichtigen. Andererseits sind Parts ohne Länge nicht erlaubt.

```
PolyLine
{
  Double[4]      Box          // Bounding Box
  Integer        NumParts    // Anzahl der Parts
  Integer        NumPoints   // Anzahl der Punkte
  Integer[NumParts] Parts    // Index des ersten Punktes eines
Parts
  Point[NumPoints] Points    // Punkte aller Parts
}
```

Die Felder der Polylinie werden wie folgt beschrieben.

Box Die Bounding Box einer PolyLine beinhaltet Minimal- und Maximalwerte in folgender Reihenfolge: Xmin, Ymin, Xmax, Ymax.

NumParts Die Anzahl der Parts einer PolyLine.

NumPoints	Die gesamte Anzahl der Punkte (Points) aller parts.
Parts	Ein Feld der Länge NumParts. Es beinhaltet für jeden Part den Index seines ersten Punktes im Punktefeld. Die Feldindizes beziehen sich auf 0.
Points	Ein Feld der Länge NumPoints. Die Punkte jedes Parts der PolyLine sind hier gespeichert. Den Punkten von Part 1 folgen die Punkte von Part 2 und so weiter. Es existierten keine Trennzeichen zwischen den Punkten unterschiedlicher Parts. Das Parts Feld beinhaltet die Startpunkte der einzelnen Parts.

Position	Feld	Wert	Typ	Anzahl	Byte Anordnung
Byte 0	Shape Typ	3	Integer	1	Little
Byte 4	Box	Box	Double	4	Little
Byte 36	NumParts	NumParts	Integer	1	Little
Byte 40	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Little
Byte 44	Part	Parts	Integer	NumParts	Little
Byte X	Points	Points	Point	NumPoints	Little

$X=44+4 * \text{NumParts}$

Abbildung 6-6 Aufbau des Shapetyps PolyLine

6.3.6. Shapetyp Polygon

Ein Polygon besteht aus einem oder mehreren Ringen. Ein Ring ist eine verbundene Reihe von vier oder mehr Punkten, die eine geschlossene, sich nicht selbst kreuzende Schleife bildet. Ein Polygon kann verschiedene Außenringe beinhalten. Die Anordnung der Vertices, also die Orientierung eines Ringes, zeigt, welche Seite des Ringes innen bzw. außen ist.

Läuft man auf einem Ring entlang der Anordnung der Vertices, so ist die rechte Seite die Innenseite des Polygons. Die Vertices der Ringe, die Löcher in Polygonen beschreiben, sind gegen den Uhrzeigersinn definiert. Vertices der Polygone, die nur aus einem einzigen Ring bestehen, verlaufen deshalb entlang dem Uhrzeigersinn.

Da diese Beschreibung aufeinander folgende Punkte mit gleichen Koordinaten nicht verbietet, muss ein Programm, das Shapefiles verarbeitet, diesen Fall berücksichtigen. Andererseits sind Parts ohne Länge nicht erlaubt.

Die Datenstruktur eines Polygons ist identisch mit der Datenstruktur einer PolyLine.

```

PolyLine
{
    Double[4]          Box          // Bounding Box
    Integer            NumParts     // Anzahl der Ringe
    Integer            NumPoints    // Anzahl der Punkte
    Integer[NumParts] Parts        // Index des ersten Punktes eines
Rings
    Point[NumPoints]  Points       // Punkte aller Ringe
}

```

Die Felder eines Polygons werden wie folgt beschrieben:

Box	Die Bounding Box eines Polygons beinhaltet Minimal- und Maximalwerte in folgender Reihenfolge: Xmin, Ymin, Xmax, Ymax.
NumParts	Die Anzahl der Ringe in einem Polygon.
NumPoints	Die gesamte Anzahl der Punkte (Points) aller Ringe.
Parts	Ein Feld der Länge NumParts. Es beinhaltet für jeden Ring den Index seines ersten Punktes im Punktefeld. Die Feldindizes beziehen sich auf 0.
Points	Ein Feld der Länge NumPoints. Die Punkte jedes Ringes des Polygons sind hier gespeichert. Den Punkten von Ring 1 folgen die Punkte von Ring 2 und so weiter. Es existieren keine Trennzeichen zwischen den Punkten unterschiedlicher Ringe. Das Parts Feld beinhaltet die Startpunkte der einzelnen Ringe.

Die Abbildung 6.7 zeigt ein Beispielpolygon. Diese Figur besteht aus einem Polygon mit einem Loch aus insgesamt acht Vertices.

Folgende Dinge sind bei einem Polygon Shape zu beachten:

- Die Ringe sind geschlossen, das heißt, der erste und der letzte Vertex eines Rings müssen identisch sein.
- Die Reihenfolge der Ringe im Punktefeld ist irrelevant.
- Polygone, die in einem Shape File gespeichert werden, müssen sauber sein. Ein „sauberes“ Polygon ist eins, dass
 1. sich nicht selbst schneidet. Das heißt, dass kein Segment eines Ringes ein Segment eines anderen Ringes schneidet. Die Ringe eines Polygons dürfen sich an Vertices, aber nicht entlang von Segmenten, berühren.
 2. seine Innenseite auf der korrekten Seite der Linie, die es definiert, hat. Läuft man auf einem Ring entlang der Anordnung der Vertices, so ist die rechte Seite die Innenseite des Polygons. Vertices der Polygone, die nur aus einem einzigen Ring bestehen, verlaufen deshalb entlang dem Uhrzeigersinn. Ringe, die Löcher in den Polygonen definieren, haben eine Orientierung entgegen dem Uhrzeigersinn. „Schmutzige“ Polygone entstehen, wenn Ringe, die als Löcher gedacht waren, ebenfalls im Uhrzeigersinn orientiert sind. Es entstehen sich überlagernde Innenflächen.

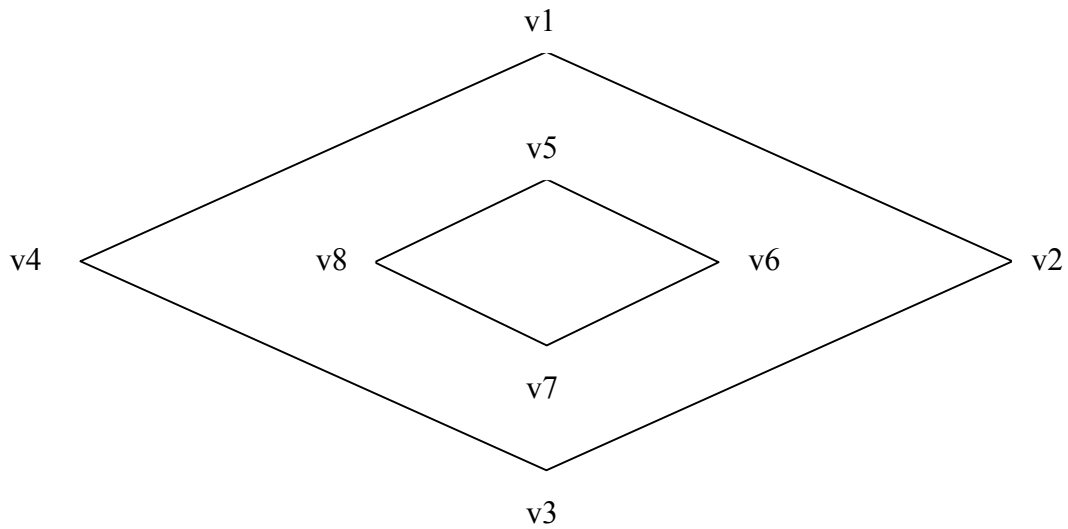
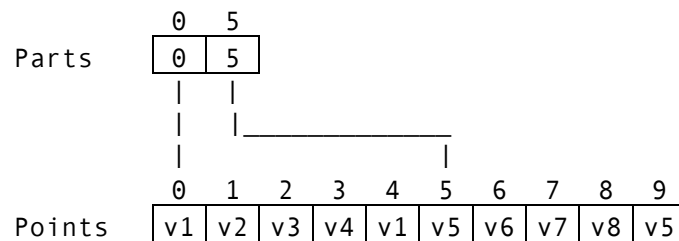


Abbildung 6-7 Beispielpolygon

In diesem Beispiel entspricht die Anzahl der Ringe bzw. Parts (NumParts) 2 und die Anzahl der Punkte (NumPoints) 10. Beachte, dass die Reihenfolge der Punkte für das Loch Polygon umgekehrt ist.



Position	Feld	Wert	Typ	Anzahl	Byte Anordnung
Byte 0	Shape Typ	5	Integer	1	Little
Byte 4	Box	Box	Double	4	Little
Byte 36	NumParts	NumParts	Integer	1	Little
Byte 40	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Little
Byte 44	Part	Parts	Integer	NumParts	Little
Byte X	Points	Points	Point	NumPoints	Little

$X=44+4 * \text{NumParts}$

Abbildung 6-8 Aufbau des Shapetyps Polygon

6.4. Aufbau der Indexdatei (.shx)

Die Indexdatei besteht aus einem 100 Byte großen Dateikopf gefolgt von 8 Byte großen Datensätzen. *Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.* zeigt den Aufbau der Indexdatei.

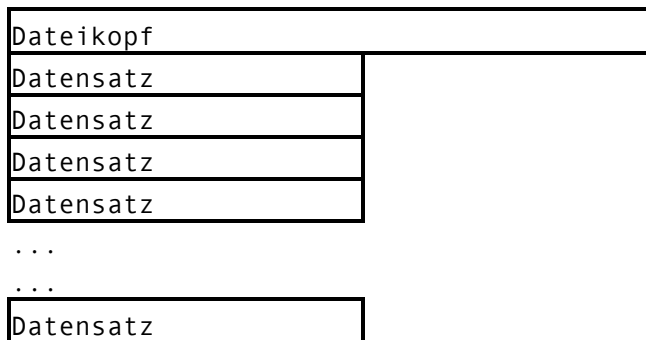


Abbildung 6-9 Aufbau der Indexdatei

6.4.1. Der Kopf der Indexdatei

Der Aufbau des Kopfes der Indexdatei ist identisch mit dem Aufbau des Kopfes der Hauptdatei, der weiter oben beschrieben wurde.

Die dort gespeicherte Dateilänge der Indexdatei wird in 16-Bit-Wörtern angegeben (die fünfzig 16-Bit Wörter des Dateikopfes plus 4 mal die Anzahl der Datensätze).

6.4.2. Datensätze der Indexdatei

Der erste Datensatz der Indexdatei enthält den Offset und die Länge des ersten Datensatzes in der Hauptdatei. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Abbildung zeigt die Aufteilung der Felder im Datensatzkopf, mit ihrer Position, ihrem Wert, ihrem Typ und ihrer Byteanordnung. Die Positionen in der Tabelle beziehen sich auf den Anfang der Datensätze in der Indexdatei.

Position	Feld	Wert	Typ	Byte Anordnung
Byte 0	Offset	Offset	Integer	Big
Byte 4	Datensatzlänge	Datensatzlänge	Integer	Big

Abbildung 6-10 Aufbau eines Datensatzes in der Indexdatei

Der Offset eines Record in der Hauptdatei ist die Anzahl der 16-Bit-Wörter vom Start der Hauptdatei bis zum ersten Byte des Kopfes des entsprechenden Datensatzes. Deshalb ist der Offset des ersten Datensatzes in der Hauptdatei 50 (der Kopf der Hauptdatei ist 100 Byte groß).

Die Datensatzlänge im Datensatz der Indexdatei entspricht dem Wert, der im Datensatzkopf der Hauptdatei gespeichert wurde.

6.5. Aufbau der dBASE Tabelle

Die dBASE Datei enthält alle möglichen Merkmale, Attribute oder Attributsschlüssel, welche die Tabelle mit anderen Tabellen verbinden. Die Datei ist nach dem DBF Dateistandard formatiert, der von vielen tabellenbasierten Anwendungen genutzt wird. Jeder mögliche Satz von Feldern kann in der Tabelle enthalten sein, wenn folgende vier Bedingungen berücksichtigt werden:

Der Dateiname muss den selben Präfix erhalten wie die Haupt- und die Indexdatei. Die Datei muss mit .dbf enden.

Die Tabelle muss eine Zeile pro Shapemerkmal enthalten.

Die Reihenfolge der Datensätze muss die gleiche sein, wie die der dazugehörigen Datensätze in der Hauptdatei (.shp).

Die Jahreszahl im Kopf der dBASE Tabelle muss einen Wert gleich oder größer 1900 haben.

Nähere Informationen über den Aufbau von dBASE Dateien sind auf der Homepage von INPRISE Corp., www.inprise.com zu finden.

7. Der Aufbau des Programms KoTra

Das Programm KoTra wurde in Visual Basic programmiert.

Visual Basic wurde als einfache Programmiersprache insbesondere für die Windowsprogrammierung seit 1991 entwickelt und wird ständig angepasst und verbessert.

Für die Diplomarbeit wurde Microsoft Visual Basic 6.0 Professional Edition verwendet.

7.1. Was ist Visual Basic

Visual Basic (kurz: VB) ist ein Entwicklungssystem zur Erstellung von Programmen für Windows 95/98 und Windows NT. Dazu werden leistungsfähige Compiler, Werkzeuge zur Gestaltung visueller Komponenten und die Möglichkeit des Erstellens von Datenbankabfragen in einem System vereinigt. Mit Visual Basic können Windowsprogramme einfach, sicher und schnell entwickelt werden.

Der Vorteil von Windowsprogrammen liegt in ihrer einheitlichen Bedienung. Die meisten Windowsprogramme besitzen eine Menüleiste und ein Hauptfenster und lassen sich größtenteils mit der Maus bedienen. Die Programme werden in Fenstern ausgeführt, die oft nur einen Teil des gesamten Bildschirms beanspruchen. Dieser Fenstertechnik verdankt Windows seinen Namen. Über Fenster und Dialoge, die sogenannten Benutzerschnittstellen, kommuniziert der Anwender mit dem Programm.(Visual Basic 6.0)

7.2. Programmtechnischer Aufbau von KoTra

Da Visual Basic ursprünglich nicht für die Lösung mathematischer Probleme optimiert wurde, hat sich die Notwendigkeit ergeben, spezielle mathematische Funktionen wie den Arkussinus und Konstanten wie π gesondert zu definieren und in das Programm einzubinden.

(Siehe 7.3.1 Die Konstante pi und 7.3.2 Die Funktion asin)

Als erstes wird das Hauptformular mit der Programmoberfläche geladen. Auf ihm sind alle wichtigen Schaltflächen und Textfelder angeordnet. Mit Hilfe dieser Elemente werden die zur Programmausführung wichtigen Einstellungen gemacht. So können zum Beispiel in den Textfeldern alle Transformationsparameter oder auch die Dateinamen der Koordinatendateien eingegeben werden. Mit Hilfe der Schaltflächen werden Hilfsfenster zum Laden und Speichern von Parameterdateien geöffnet. Alle diese Programmfunktionen sowie nötigen Eingabemöglichkeiten und Fehlerprüfungen sind in das Hauptformular integriert.

Die entscheidenden Rechenfunktionen, wie zum Beispiel die 7 Parameter Transformation und die Abbildungsgleichungen als auch die Funktionen zum Auslesen und Schreiben der Shape- bzw. ASCII-Dateien, sind in einem zusätzlichen Modul `geotra` definiert.

Nach Betätigen der (*Transform*) Schaltfläche im Hauptformular wird eine abschließende Prüfung der eingegebenen Parameter und Dateinamen durchgeführt und anschließend je nach vorheriger Auswahl die Funktion `ShpToShp` bzw. `ASCIITOASCII` im Modul `geotra` ausgeführt. Diese Funktionen extrahieren aus den Eingangsdatensätzen die Koordinaten, lassen diese durch die Funktion `trafo` transformieren und schreiben sie anschlie-

ßend in die Zieldatei. Des Weiteren werden die Teile der Eingangsdatei, die nicht aus Koordinaten bestehen bzw. nicht für den Transformationsalgorithmus benötigt werden, eins zu eins in die Zieldatei kopiert.

An die Funktion **trafo** werden die zuvor ausgelesenen Koordinaten übergeben. In Abhängigkeit der im Hauptformular gemachten Einstellungen zur Abbildung werden diese in elliptische Koordinaten umgerechnet. Die entsprechenden Unterfunktionen sind **GkToE11** bzw. **KrovakToBL**. Die notwendigen Ellipsoidparameter werden dem Hauptformular entnommen. Die elliptischen Koordinaten werden anschließend mit Hilfe der Funktion **E11ToGeoZent** in geozentrische kartesische Koordinaten umgewandelt.

Es folgen zwei 7 Parameter Transformationen der kartesischen Koordinaten. Die hierfür zuständige Funktion heißt **SevenParTrans**. Die notwendigen Transformationsparameter werden den entsprechenden Textfeldern des Hauptformulars entnommen. Nach diesem Rechenschritt liegen wieder kartesische Koordinaten vor. Anschließend werden diese wieder in elliptische Koordinaten umgewandelt. Die Funktion **GkToE11** benutzt dazu die vorher im Hauptformular definierten Ellipsoidparameter.

Entsprechend des gewünschten Ausgabekoordinatensystems werden abschließend planare Koordinaten in einer Gaußschen bzw. in der Krovakschen Abbildung berechnet. Es werden hierzu die Funktionen **E11ToGK** und **BesToPlnKeg** verwendet. Diese nun im Ausgabesystem vorliegenden Koordinaten werden von der Funktion **trafo** zurückgegeben.

Die wichtigsten der hier angeführten Funktionen werden im Folgenden aufgelistet und soweit notwendig näher beschrieben.

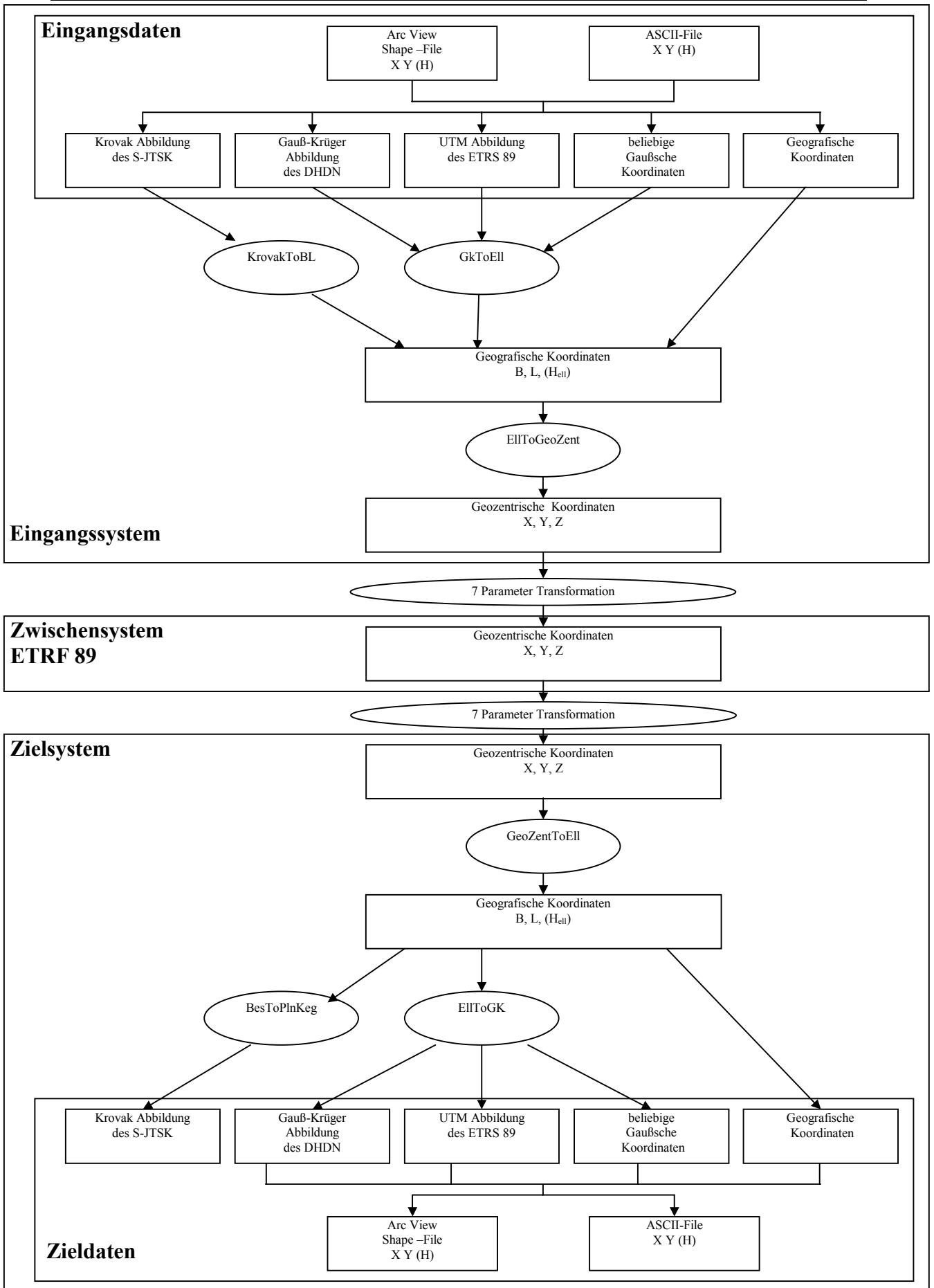


Abbildung 7-1 Allgemeiner Programmaufbau

7.3. Wichtige Funktionen

7.3.1. Die Konstante pi

Da Visual Basic nicht für mathematische Berechnungen optimiert wurde, ist π als Konstante nicht im Voraus definiert und wird im Programm KoTra im Modul geotra im allgemeinen Deklarationsteil initialisiert.

```
Option Explicit
Public Const pi# = 3.14159265358979
...
...
```

7.3.2. Die Funktion asin

Um die Funktion Arkussinus in Visual Basic nutzen zu können, wurde diese im Programm KoTra im Modul geotra mit Hilfe des Arkustangens definiert.

Es liegt die folgende mathematische Beziehung zu Grunde:

$$\arcsin(x) = \arctan\left(\frac{x}{\sqrt{1-x^2}}\right)$$

Da es bei $x = 1$ bzw. $x = -1$ zur Division durch Null kommen würde, müssen diese Fälle gesondert behandelt werden. Es wird festgelegt, dass $\arcsin(1) = \frac{\pi}{2}$ und $\arcsin(-1) = -\frac{\pi}{2}$ ist.

```
Public Function asin(xxx As Double) As Double
'xxx - Eingangswert von dem der Arkussinus gebildet wird

Dim yyy As Double           'Arkussinus von xxx als Winkel im Bogenmaß
Select Case xxx
Case 1
    yyy = pi / 2
Case -1
    yyy = -pi / 2
Case Else
    yyy = Atn(xxx / Sqr(-xxx * xxx + 1))
End Select
asin = yyy

End Function
```

7.3.3. Die Funktion EllToGeoZent

Diese Funktion wandelt geografische Koordinaten auf dem Rotationsellipsoid in geozentrische kartesische Koordinaten um.

Es werden die geografische Breite **fi** und die Länge **lambda** des Punktes als Winkel im Bogenmaß sowie die elliptische Höhe in Metern, die große Halbachse a und die 1. numerische Exzentrizität e des Rotationsellipsoids vom Hauptprogramm übergeben.

Die Funktion EllToGeoZent gibt die kartesischen Koordinaten x , y und z an das Hauptprogramm zurück.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 4.1.5 Umformung ellipsoidischer Koordinaten (B, L, H) in geozentrisch kartesische Koordinaten (x, y, z) dargestellt.

```

Public Function EllToGeoZent(fi As Double, lambda As Double, h As Double, a As Double, e As Double) As Double()
'fi - Breite ; lambda - Länge ; h - Höhe ; a - große Halbachse ; e - 1.nummerische Exzentrizität

Dim n As Double
Dim hilfsfeld(2) As Double

n = a / Sqr(1 - e ^ 2 * ((Sin(fi)) ^ 2))
hilfsfeld(0) = (n + h) * Cos(fi) * Cos(lambda)
hilfsfeld(1) = (n + h) * Cos(fi) * Sin(lambda)
hilfsfeld(2) = (n * (1 - ee) + h) * Sin(fi)
EllToGeoZent = hilfsfeld
End Function

```

7.3.4. Die Funktion GeoZentToEll

Diese Funktion wandelt geozentrische kartesische Koordinaten in geografische Koordinaten auf dem Rotationsellipsoid um.

Es werden die kartesischen Koordinaten x , y und z , die große Halbachse a und die 1. numerische Exzentrizität e des Rotationsellipsoids vom Hauptprogramm übergeben.

Die Funktion *GeoZentToEll* gibt die geografische Breite fi und die Länge $lambda$ des Punktes als Winkel im Bogenmaß sowie die elliptische Höhe in Metern an das Hauptprogramm zurück.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 4.1.6 Umformung geozentrisch kartesischer Koordinaten (x, y, z) in ellipsoidische Koordinaten (B, L, H) dargestellt.

```

Public Function GeoZentToEll(x As Double, y As Double, z As Double, a As Double, e As Double) As Double()
'x y z kartesische geozentrische Koordinaten; a - große Halbachse ; e - 1.nummerische Exzentrizität

Dim lambda As Double
Dim fi As Double
Dim h As Double
Dim n As Double
Dim b1 As Double
Dim ee As Double
Dim hilfsfeld(2) As Double

ee = e * e
lambda = Atn(y / x)
If x < 0 And y < 0 Then lambda = lambda - pi
If x < 0 And y > 0 Then lambda = lambda + pi
fi = Atn(z / (Sqr(x ^ 2 + y ^ 2)))
n = a / (Sqr(1 - ee * (Sin(fi)) ^ 2))
b1 = 99999

Do While Abs(b1 - fi) > 0.000000000001
b1 = fi
fi = Atn((z + ee * n * Sin(b1)) / (Sqr(x ^ 2 + y ^ 2)))
n = a / (Sqr(1 - ee * (Sin(fi)) ^ 2))
Loop

h = (x / (Cos(fi) * Cos(lambda))) - n

hilfsfeld(0) = fi
hilfsfeld(1) = lambda
hilfsfeld(2) = h
GeoZentToEll = hilfsfeld
End Function

```

7.3.5. Die Funktion MedBogLngKoef

Diese Funktion liefert die Koeffizienten, die zur Berechnung der Meridianbogenlänge notwendig sind.

Da diese Koeffizienten nur von den Parametern des Rotationsellipsoids abhängen, muss die Funktion nur einmal während eines Programmablaufs aufgerufen werden. Die errechneten Meridianbogenlängenkoeffizienten stehen anschließend in einem globalen Variablenfeld den nachfolgenden Funktionen zur Verfügung.

Der Aufruf der Funktion MedBogLngKoef erfolgt schon im Hauptformular *Form1* durch das *Click* Ereignis auf die Schaltfläche Start cmdStart. An dieser Stelle werden einmalig im Programmablauf die Koeffizientenfelder koef1 und koef2, die die Meridianbogenlängenkoeffizienten der Ellipsoide des Eingangs- und des Ausgabebezugssystems enthalten, ermittelt.

An die Funktion MedBogLngKoef werden die Ellipsoidparameter, große Halbachse a und 1. numerische Exzentrizität e , übergeben. Als Ergebnis werden die sechs Meridianbogenlängenkoeffizienten α bis ζ übergeben.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 4.2.4 Berechnungsformeln für die Gaußsche-Abbildung dargestellt.

```
Public Function MedBogLngKoef(a, e) As Double()
'a - große Halbachse ; e - 1. numerische Exzentrizität

Dim ed As Double           'zweite numerische Exzentrizität
Dim ee As Double           'Quadrat der ersten numerischen Exzentrizität
Dim c As Double            'Polkrümmungsradius
Dim Ast As Double, Bst As Double, Cst As Double, Dst As Double, Est As Double, Fst As Double
Dim hilfsfeld(5) As Double 'Ast bis Fst - Hilfsgrößen
                             'Variablenfeld zur Übergabe der Ergebnisse

ee = e * e
ed = (a * e) / (Sqr((a ^ 2) * (1 - ee)))
c = a / Sqr(1 - ee)

Ast = 1 - (3 / 4) * ed ^ 2 + (45 / 64) * ed ^ 4 - (175 / 256) * ed ^ 6 + (11025 / 16384) *
ed ^ 8 - (43659 / 65536) * ed ^ 10

Bst = (3 / 4) * ed ^ 2 - (15 / 16) * ed ^ 4 + (525 / 512) * ed ^ 6 - (2205 / 2048) * ed ^ 8
+ (72765 / 65536) * ed ^ 10

Cst = (15 / 64) * ed ^ 4 - (105 / 256) * ed ^ 6 + (2205 / 4096) * ed ^ 8 - (10395 / 16384)
* ed ^ 10

Dst = (35 / 512) * ed ^ 6 - (315 / 2048) * ed ^ 8 + (31185 / 131072) * ed ^ 10

Est = (315 / 16384) * ed ^ 8 - (3465 / 65536) * ed ^ 10

Fst = (693 / 131072) * ed ^ 10

hilfsfeld(0) = Ast * c
hilfsfeld(1) = (1 / 2) * Bst * c
hilfsfeld(2) = (1 / 4) * Cst * c
hilfsfeld(3) = (1 / 6) * Dst * c
hilfsfeld(4) = (1 / 8) * Est * c
hilfsfeld(5) = (1 / 10) * Fst * c
MedBogLngKoef = hilfsfeld

End Function
```

7.3.6. Die Funktion Ell_TO_GK

Diese Funktion wandelt geografische Koordinaten auf dem Rotationsellipsoid in Gaußsche Koordinaten in der Ebene um.

Es werden die geografische Breite fi und Längendifferenz $lambda$ des Punktes im Verhältnis zum Bezugsmeridian als Winkel im Bogenmaß, die große Halbachse a und die 1. numerische Exzentrizität e des Rotationsellipsoids sowie die zuvor durch die Funktion *MedBogLngKoe* berechneten Meridianbogenlängenkoeffizienten $alpha - zeta$ vom Hauptprogramm übergeben.

Die Funktion *Ell_TO_GK* gibt den Hochwert x und den Rechtswert y als Abstand zum Bezugsmeridian an das Hauptprogramm zurück.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 4.2.4 Berechnungsformeln für die Gaußsche-Abbildung dargestellt.

```
Public Function EllToGK(fi As Double, lambda As Double, a As Double, e As Double, alpha As Double, beta As Double, gamma As Double, delta As Double, epsilon As Double, zeta As Double) As Double()
```

```
    'fi - Breite ; lambda - Länge ; a - große Halbachse ; e - 1.numerische Exzentrizität ; alpha bis zeta - Meridianbogenlängenkoeffizienten
```

```
    Dim a1 As Double, a2 As Double, a3 As Double, a4 As Double, a5 As Double, a6 As Double, a7 As Double, a8 As Double
```

```
    'a1 bis a8 - Koeffizienten
```

```
    Dim x As Double
```

```
    'Hochwert
```

```
    Dim y As Double
```

```
    'Rechtswert
```

```
    Dim est As Double
```

```
    '2.numerische Exzentrizität
```

```
    Dim eta As Double
```

```
    'Hilfsgröße
```

```
    Dim n As Double
```

```
    'Hilfsgröße auf dem Rotationsellipsoid
```

```
    Dim t As Double
```

```
    'Hilfsgröße
```

```
    Dim GB As Double
```

```
    'Meridianbogenlänge
```

```
    Dim hilfsfeld(1) As Double
```

```
    'Variablenfeld zur Übergabe der Ergebnisse
```

```
    n = a / (Sqr(1 - e ^ 2 * (Sin(fi)) ^ 2))
```

```
    t = Tan(fi)
```

```
    est = Sqr(e ^ 2 / (1 - e ^ 2))
```

```
    eta = est * Cos(fi)
```

```
    GB = alpha * fi - beta * Sin(2 * fi) + gamma * Sin(4 * fi) - delta * Sin(6 * fi) + epsilon * Sin(8 * fi) - zeta * Sin(10 * fi)
```

```
    a1 = n * Cos(fi)
```

```
    a2 = (1 / 2) * t * n * (Cos(fi)) ^ 2
```

```
    a3 = (1 / 6) * n * (Cos(fi)) ^ 3 * (1 - t ^ 2 + eta ^ 2)
```

```
    a4 = (1 / 24) * n * Sin(fi) * (Cos(fi)) ^ 3 * (5 - t ^ 2 + 9 * eta ^ 2 + 4 * eta ^ 4)
```

```
    a5 = (1 / 120) * n * (Cos(fi)) ^ 5 * (5 - 18 * t ^ 2 + t ^ 4 + 14 * eta ^ 2 - 58 * eta ^ 2 * t ^ 2 + 13 * eta ^ 4 - 64 * eta ^ 4 * t ^ 2)
```

```
    a6 = (1 / 720) * n * Sin(fi) * (Cos(fi)) ^ 5 * (61 - 58 * t ^ 2 + t ^ 4 + 270 * eta ^ 2 - 330 * eta ^ 2 * t ^ 2)
```

```
    a7 = (1 / 5040) * n * (Cos(fi)) ^ 7 * (61 - 479 * t ^ 2 + 179 * t ^ 4 - t ^ 6)
```

```
    a8 = (1 / 40320) * n * Sin(fi) * (Cos(fi)) ^ 7 * (1385 - 3111 * t ^ 2 + 543 * t ^ 4 - t ^ 6)
```

```
    x = GB + a2 * lambda ^ 2 + a4 * lambda ^ 4 + a6 * lambda ^ 6 + a8 * lambda ^ 8
```

```
    y = a1 * lambda + a3 * lambda ^ 3 + a5 * lambda ^ 5 + a7 * lambda ^ 7
```

```
    hilfsfeld(0) = x
```

```
    hilfsfeld(1) = y
```

```
    EllToGK = hilfsfeld
```

```
End Function
```

7.3.7. Die Funktion GK_TO_ELL

Diese Funktion wandelt Koordinaten aus einer Gaußschen Abbildung in geografische Koordinaten auf dem Rotationsellipsoid um.

Es werden der Hochwert bezogen auf den Äquator x und der Rechtswert bezogen auf den Bezugsmeridian y sowie die große Halbachse a und die 1. numerische Exzentrizität e des Rotationsellipsoids vom Hauptprogramm übergeben.

Die Funktion *GK_TO_ELL* gibt die geografische Breite fi und die Längendifferenz $lambda$ als Winkel im Bogenmaß zum Hauptprogramm zurück.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 4.2.4 Berechnungsformeln für die Gaußsche-Abbildung dargestellt.

```
Public Function GkToEll(x As Double, y As Double, a As Double, e As Double) As Double()
'x - Hochwert ; y - Rechtswert ; a - große Halbachse ; e - 1. numerische Exzentrizität
```

```
Dim f As Double           'Abplattung des Rotationsellipsoid
Dim n As Double           'Hilfsgröße auf dem Rotationsellipsoid
Dim Grd As Double         'Meridianbogenlänge
Dim sigma As Double       'Hilfsgröße
Dim Bf As Double          'Fußpunktbreite
Dim Nf As Double          'Querkrümmungsradius am Fußpunkt
Dim Mf As Double          'Meridiankrümmungsradius am Fußpunkt
Dim tf As Double          'Hilfsgröße
Dim b1 As Double, b2 As Double, b3 As Double, b4 As Double, b5 As Double
                           'Koeffizienten
Dim fi As Double          'Breite
Dim lambda As Double      'Länge
Dim hilfsfeld(1) As Double 'Variablenfeld zur Übergabe der Ergebnisse
Dim est As Double         '2. numerische Exzentritäet
Dim eta As Double         'Hilfsfunktion
```

```
est = Sqr(e ^ 2 / (1 - e ^ 2))
f = 1 - Sqr(1 - (e ^ 2))
n = f / (2 - f)
Grd = (a / (1 + n)) * (1 + 0.25 * n ^ 2 + (1 / 64) * n ^ 4)
sigma = x / Grd
Bf = sigma + (3 / 2) * (n - (9 / 16) * n ^ 3) * Sin(2 * sigma) + (21 / 16) * n ^ 2 * Sin(4
* sigma) + (151 / 96) * n ^ 3 * Sin(6 * sigma)
Nf = a / Sqr(1 - e ^ 2 * (Sin(Bf)) ^ 2)
Mf = (a * (1 - e ^ 2)) / (1 - e ^ 2 * (Sin(Bf)) ^ 2) ^ (3 / 2)
tf = Tan(Bf)
eta = est * Cos(Bf)

b1 = 1 / (Nf * Cos(Bf))
b2 = -tf / (2 * Mf * Nf)
b3 = -(1 + 2 * tf ^ 2 + eta ^ 2) / (6 * Nf ^ 3 * Cos(Bf))
b4 = (tf / (24 * Mf * Nf ^ 3)) * (5 + 3 * tf ^ 2 + eta ^ 2 - 9 * eta ^ 2 * tf ^ 2 - 4 * eta
^ 4)
b5 = (1 / (120 * Nf ^ 5 * Cos(Bf))) * (28 * tf ^ 2 + 24 * tf ^ 4 + 6 * eta ^ 2 + 8 * eta ^
2 *
tf ^ 2)
fi = Bf + b2 * y ^ 2 + b4 * y ^ 4
lambda = b1 * y + b3 * y ^ 3 + b5 * y ^ 5
hilfsfeld(0) = fi
hilfsfeld(1) = lambda
GkToEll = hilfsfeld
End Function
```

7.3.8. Die Funktion BesToPlnKeg

Diese Funktion wandelt geografische Koordinaten auf dem Rotationsellipsoid in Koordinaten in der Krovak-Abbildung um.

Es werden die geografische Breite fi und die geografische Länge $lambda$, die große Halbachse a und die 1. numerische Exzentrizität e des Rotationsellipsoids vom Hauptprogramm übergeben.

Die Funktion *BesToPlnKeg* gibt die Krovak-Koordinaten x und y an das Hauptprogramm zurück.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 4.3.5. Berechnung von Kegelkoordinaten nach Krovak dargestellt.

```
Public Function BesToPlnKeg(fi As Double, lambda As Double, a As Double, e As Double) As Double()
```

```
Dim UQ As Double      'sphärische Breite auf der Gaußschen Schmiegekugel des Pols der
                       'der schiefachsigen sphärischen Koordinaten
DIM fi0 As Double     'Grundparallelkreis auf dem Ellipsoid für die Gaußsche
                       'Schmiegekugel
Dim U0 As Double      'Grundparallelkreis auf der Kugel
Dim N0 As Double      'Normalkrümmungsradius bezogen auf fi0
Dim Ad As Double      'Hilfsgröße
Dim g As Double       'Hilfsgröße für k
Dim alpha As Double   'Parameter der Abbildung
Dim d As Double       'Länge im schiefachsigen sphärischen Koordinatensystem
Dim DV As Double      'Längendifferenz zum Bezugsmeridian im sphärischen System
Dim ee As Double       'Quadrat der ersten numerischen Exzentrizität
Dim epsilon As Double 'Richtungswinkel im zum Grundmeridian auf schiefachsiger Ku-
                       'gel
Dim ro As Double      'Entfernung vom Punkt zum Zentrum der konischen Abbildung
Dim ro0 As Double     'Entfernung vom Punkt zum Grundparallelkreis der konischen
                       'Abbildung
Dim gfi As Double     'Hilfsgröße
DIM k As Double       'Parameter der Abbildung
Dim k1 As Double      'Verkleinerungsfaktor der sphärischen Koordinaten
Dim lambdaI As Double 'Längengrad bezogen auf Ferro
Dim S0 As Double      'Grundparallelkreis in sphärischen Koordinaten bezogen auf
                       'Pol Q
Dim n As Double       'Hilfsgröße - Sinus von S0
Dim S As Double       'Breite im schiefachsigen sphärischen Koordinatensystem
Dim U As Double       'sphärische Breite auf der gaußschen Schmiegekugel
Dim hilfsfeld(1) As Double 'Variablenfeld zur Übergabe der Ergebnisse
```

```
fi0 = 49.5 * pi / 180
ee = e * e
alpha = Sqr(1 + (ee * (Cos(fi0)) ^ 4) / (1 - ee))
UQ = (59 + (42 / 60) + (42.6968 / 3600)) * (pi / 180)
U0 = asin(Sin(fi0) / alpha)
g = ((1 + e * Sin(fi0)) / (1 - e * Sin(fi0))) ^ (alpha * e / 2)
k = (Tan((U0 / 2) + pi / 4)) / ((Tan((fi0 / 2) + pi / 4)) ^ alpha) * g
k1 = 0.9999
N0 = a * Sqr(1 - ee) / (1 - ee * ((Sin(fi0)) ^ 2))
S0 = (78 + 30 / 60) * pi / 180
n = Sin(S0)
ro0 = k1 * N0 / Tan(S0)

gfi = ((1 + e * Sin(fi)) / (1 - e * Sin(fi))) ^ (alpha * e / 2)
U = 2 * (Atn(k * (Tan((fi / 2) + pi / 4)) ^ alpha) / gfi) - pi / 4)
lambdaI = lambda + (17 + 40 / 60) * pi / 180
DV = alpha * (((42 + 30 / 60) * pi / 180) - lambdaI)
Ad = (pi / 2) - UQ
S = asin(Cos(Ad) * Sin(U) + Sin(Ad) * Cos(U) * Cos(DV))
d = asin(Cos(U) * Sin(DV) / Cos(S))
epsilon = n * d
ro = ro0 * ((Tan(S0 / 2 + pi / 4)) ^ n) / ((Tan(S / 2 + pi / 4)) ^ n)
hilfsfeld(0) = ro * Cos(epsilon)
hilfsfeld(1) = ro * Sin(epsilon)
BesToPlnKeg = hilfsfeld
```

End Function

7.3.9. Die Funktion KrovakToBL

Diese Funktion wandelt ebene Koordinaten der Krovak-Abbildung in geografische Koordinaten auf dem Rotationsellipsoid um.

Es werden die Krovak-Koordinaten x und y , die große Halbachse a und die 1. numerische Exzentrizität e des Rotationsellipsoids vom Hauptprogramm übergeben.

Die Funktion *KrovakToBL* gibt die geografische Breite \hat{f}_i und die geografische Länge λ an das Hauptprogramm zurück.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 4.3.5. Berechnung von Kegelkoordinaten nach Korvak dargestellt.

```
Public Function KrovakToBL(x As Double, y As Double, a As Double, e As Double) As Double()
    'x - x Koordinate (größerer Wert); y - y Koordinate (kleinerer Wert); a - große Halbachse; e -
    'erste numerische Exzentrizität
```

```
Dim UQ As Double          'sphärische Breite auf der Gaußschen Schmiegekugel des Pols der
                          'der schiefachsigen sphärischen Koordinaten
Dim fi0 As Double        'fi0 Grundparallelkreis auf dem Ellipsoid für die Gaußsche
                          'Schmiegekugel
Dim U0 As Double         'Grundparallelkreis aus der Kugel
Dim N0 As Double         'Normalkrümmungsradius bezogen auf fi0
Dim S0 As Double         'Grundparallelkreis in sphärischen Koordinaten bezogen auf
Pol Q
Dim ro As Double         'Entfernung vom Punkt zum Zentrum der konischen Abbildung
Dim epsilon As Double    'Richtungswinkel im zum Grundmeridian auf schiefachsiger Ku-
gel
Dim S As Double          'Breite im schiefachsigen sphärischen Koordinatensystem
Dim ro0 As Double        'Entfernung vom Grundparallelkreis der konischen Abbildung zum
Pol
Dim k1 As Double         'Verkleinerungsfaktor der sphärischen Koordinaten
Dim d As Double          'Länge im schiefachsigen sphärischen Koordinatensystem
Dim DV As Double         'Verkleinerungsfaktor der sphärischen Koordinaten
Dim U As Double          'sphärische Breite auf der gaußschen Schmiegekugel
Dim g As Double          'Hilfsgröße für k
Dim alpha As Double      'Parameter der Abbildung
Dim lambda As Double     'elliptisch Länge
Dim Ad As Double         'Hilfsgröße
Dim n As Double          'Hilfsgröße - Sinus von S0
Dim fi As Double         'elliptische Breite
Dim fi1 As Double        'Iterationsgröße
Dim ee As Double         'Quadrat der ersten numerischen Exzentrizität
Dim k As Double          'Parameter der Abbildung
Dim hilfsfeld(1) As Double 'Variablenfeld zur Übergabe der Ergebnisse
```

```
UQ = (59 + (42 / 60) + (42.6968 / 3600)) * (pi / 180)
```

```
Ad = pi / 2 - UQ
```

```
fi0 = 49.5 * pi / 180
```

```
S0 = 78.5 * pi / 180
```

```
ee = e * e
```

```
n = Sin(S0)
```

```
k1 = 0.9999
```

```
N0 = a * Sqr(1 - ee) / (1 - ee * ((Sin(fi0)) ^ 2))
```

```
ro0 = k1 * N0 / Tan(S0)
```

```
alpha = Sqr(1 + (ee * (Cos(fi0)) ^ 4) / (1 - ee))
```

```
ro = Sqr(x ^ 2 + y ^ 2)
```

```
epsilon = Atn(y / x)
```

```
d = epsilon / Sin(S0)
```

```
S = 2 * (Atn((ro0 / ro) ^ (1 / n) * Tan(S0 / 2 + pi / 4)) - pi / 4)
```

```
U = asin(Cos(Ad) * Sin(S) - Sin(Ad) * Cos(S) * Cos(d))
```

```
DV = asin(Cos(S) * Sin(d) / Cos(U))
```

```
lambda = (24 + 50 / 60) * pi / 180 - DV / alpha
```

```
U0 = asin(Sin(fi0) / alpha)
```

```
g = ((1 + e * Sin(fi0)) / (1 - e * Sin(fi0))) ^ (alpha * e / 2)
```

```
k = (Tan((U0 / 2) + pi / 4)) / ((Tan((fi0 / 2) + pi / 4)) ^ alpha) * g
```

```
fi = U
```

```

Do While Abs(fi - fi1) > 0.000000000001
fi1 = fi
fi = 2 * (Atn((k ^ (-1 / alpha)) * ((Tan(U / 2 + pi / 4)) ^ (1 / alpha)) * ((1 + e * Sin(fi1)) / (1 - e * Sin(fi1))) ^ (e / 2)) - pi / 4)

Loop

lambda = lambda
hilfsfeld(1) = lambda
hilfsfeld(0) = fi
KrovakToBL = hilfsfeld
End Function

```

7.3.10. Die Funktion SevenParTrans

Diese Funktion führt mit kartesischen geozentrischen Koordinaten eine 7 Parameter Transformation durch.

Das Hauptprogramm übergibt drei Translationen in X-Richtung p1, in Y-Richtung p2 und in Z-Richtung p3, einen Maßstabsfaktor p4, der für eine praktischere Handhabung mit 10^6 multipliziert wurde, sowie drei Drehwinkel in Bogensekunden um die Z-Achse p5, um die Y-Achse p6 und um die X-Achse p7. Bei den Winkeln handelt es sich um Drehungen im Uhrzeigersinn von den positiven Enden der Koordinatenachsen aus gesehen.

Die mathematischen Formeln, die dieser Funktion zu Grunde liegen, werden im Kapitel 5.1. 7 Parameter Transformation dargestellt.

```

Public Function SevenParTrans(x As Double, y As Double, z As Double, p1 As Double, p2 As Double, p3 As Double, p4 As Double, p5 As Double, p6 As Double, p7 As Double) As Double()
'x - X-Koordinate; y - Y-Koordinate; z - Z-Koordinate; p1 - DX; p2 - DY; p3 - DZ; p4 - m; p5 - gamma; p6 - beta; p7 - alpha

Dim hilfsfeld(2) As Double 'hilfsfeld - Variable zur Übergabe der Ergebnisse

p5 = p5 / 206264.806247096
p6 = p6 / 206264.806247096
p7 = p7 / 206264.806247096

hilfsfeld(0) = (1 + p4 * 0.000001) * (Cos(p6) * Cos(p5) * x + (Cos(p7) * Sin(p5) + Sin(p7) * Sin(p6) * Cos(p5)) * y + (Sin(p7) * Sin(p5) - Cos(p7) * Sin(p6) * Cos(p5)) * z) + p1

hilfsfeld(1) = (1 + p4 * 0.000001) * (-Cos(p5) * Sin(p5) * x + (Cos(p7) * Cos(p5) - Sin(p7) * Sin(p6) * Sin(p5)) * y + (Sin(p7) * Cos(p5) + Cos(p7) * Sin(p6) * Sin(p5)) * z) + p2

hilfsfeld(2) = (1 + p4 * 0.000001) * (Sin(p6) * x + (-Sin(p7) * Cos(p6)) * y + (Cos(p7) * Cos(p6)) * z) + p3

SevenParTrans = hilfsfeld
End Function

```

8. KoTra Bedienungsanleitung

Das Programm KoTra wurde als Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung für das Projekt „Informationssystem Nationalparkregion sächsisch-böhmische Schweiz“ im Rahmen des EU-Programms INTERREG IIC entwickelt.

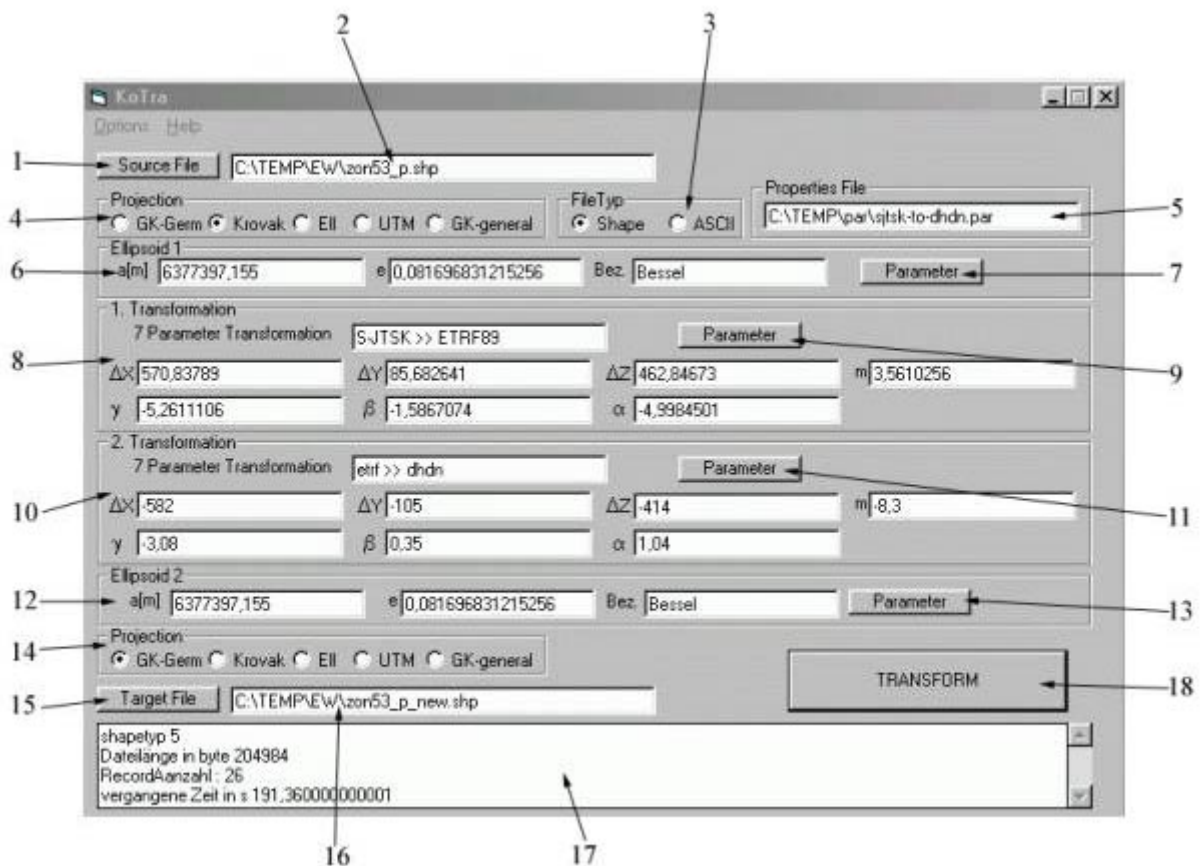
Es dient der Koordinatentransformation zwischen den Landeskoordinatensystemen S-JTSK der Tschechischen Republik und dem DHDN des Freistaates Sachsen. Darüber hinaus werden sämtliche auf der Gaußschen Abbildung beruhenden Abbildungsverfahren unterstützt, so dass auch Daten in und aus dem ETRS89 mit UTM Abbildung transformiert werden können.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Möglichkeit gelegt, nicht nur Daten im ASCII Fileformat verarbeiten zu können, sondern auch Datensätze, die im Shapefileformat des in den Nationalparkverwaltungen eingesetzten Geographischen Informationssystems Arc View vorliegen, transformieren zu können.

8.1. Die Oberfläche des Programms KoTra

Nach dem Programmstart erscheint die Standardoberfläche des Programms. In sie werden alle zur Koordinatentransformation notwendigen Angaben eingetragen bzw. in Form von Parameterdateien geladen.

Die Oberfläche enthält folgende Bedienelemente :



- 1 Schaltfläche zum Auswählen der Eingangsdatei
- 2 Textfeld zeigt die Eingangsdatei an
- 3 Optionsfeld zur Auswahl des Formates der Eingangsdatei
- 4 Optionsfeld zur Auswahl der Projektion im Eingangssystem
- 5 Name und Pfad einer eventuell geladenen Datei mit Programmparametern
- 6 Parameter a , e und die Bezeichnung des Ellipsoids des Eingangssystems
- 7 Schaltfläche zum Laden einer Parameterdatei mit Angaben zum Ellipsoid
- 8 Textfelder mit Transformationsparametern der ersten Transformation
- 9 Schaltfläche zum Laden von Transformationsparametern
- 10 Textfelder mit Transformationsparametern der ersten Transformation
- 11 Schaltfläche zum Laden von Transformationsparametern
- 12 Parameter a , e und die Bezeichnung des Ellipsoids des Zielsystems
- 13 Schaltfläche zum Laden einer Parameterdatei mit Angaben zum Ellipsoid
- 14 Optionsfeld zur Auswahl der Projektion im Zielsystem
- 15 Schaltfläche zum Auswählen der Zieldatei
- 16 Textfeld zeigt die Zieldatei an
- 17 Textfeld mit zusätzlichen Informationen
- 18 Schaltfläche, welche den Transformationsvorgang startet

8.2. Bedienung und Einstellungen im Expertenmodus

- 1 Auswählen bzw. Eingabe der Eingangsdatei mit Hilfe der Schaltfläche (1) *Source File* oder des Textfeldes (2)
- 2 im Optionsfeld (3) *File Typ* den Typ der Eingangsdatei wählen. Es kann zwischen dem Shape File Format *Shape* und dem ASCII File Format *ASCII* entschieden werden. Beim Shape File Format müssen zusätzlich zur *.shp*-Datei auch die entsprechenden *.shx*- und *.dbf*-Dateien vorhanden sein. Zur näheren Beschreibung der Dateiformate siehe unter ASCII File Format
- 3 im Optionsfeld (4) *Projection* die Abbildung des Eingangskoordinatensystems wählen. Es kann zwischen der deutschen Gauß-Krüger Abbildung *GK-Germ*, der tschechischen Abbildung nach Krovak *Krovak*, geografischen Koordinaten mit Breiten- und Längenangabe *Ell*, der internationalen Universal Transverse Mercator Abbildung *UTM* und einer Gaußschen Abbildung mit frei einstellbaren Parametern *GK-general* gewählt werden. Spezielle Einstellungen zu diesen Parametern kann man im Options-Menü vornehmen.
- 4 in den Textfeldern (6) *Ellipsoid 1* können die Parameter des Ellipsoids des Eingangsbezugssystems a – große Halbachse und e – 1. numerische Exzentrizität eingegeben oder mit Hilfe der Schaltfläche (7) *Parameter* aus einer *.ell*-Datei geladen werden. Zur näheren Beschreibung des Dateiformates siehe Parameterdateien - Die *.ell*-Datei mit Ellipsoidparametern

- 5 in den Textfeldern (8) *1. Transformation* werden die Transformationsparameter für den ersten Transformationsschritt eingegeben. Hierbei handelt es sich um die Translationen in X-Richtung ΔX , Y-Richtung ΔY und Z-Richtung ΔZ , einen Maßstabsfaktor m , der mit 10^6 multipliziert wurde, sowie die drei Winkel in Bogensekunden γ , β und α (Drehung um die Z-, Y- bzw. X-Achse), welche im Uhrzeigersinn vom positiven Ende der Achsen aus gesehen definiert sind. Meistens handelt es sich hierbei um die Transformation eines nationalen Landeskoordinatensystems in das europäische ETRF. Mit Hilfe der Schaltfläche (9) *Parameter* können die entsprechenden Transformationsparameter auch aus einer *.7pr*-Datei geladen werden. Eine nähere Beschreibung des Dateiformates ist unter *Parameterdateien* - Die *.7pr*-Datei mit Transformationsparametern zu finden.
- 6 in den Textfeldern (10) *2. Transformation* werden die Parameter für den zweiten Transformationsschritt eingegeben bzw. mit Hilfe der Schaltfläche (11) *Parameter* aus einer *.7pr* Datei geladen. In der Regel wird hier die Transformation vom europäischen ETRF in ein nationales Landeskoordinatensystem durchgeführt.
- 7 in den Textfeldern (12) *Ellipsoid 2* können die Parameter des Ellipsoids des Ausgabebezugssystems a – große Halbachse und e - numerische Exzentrizität eingegeben oder mit Hilfe der Schaltfläche (13) *Parameter* aus einer *.ell*-Datei geladen werden.
- 8 im Optionsfeld (14) *Projection* die Abbildung des Ausgabekoordinatensystems wählen. Es kann, wie beim Eingangsbezugssystem, zwischen der deutschen Gauß-Krüger Abbildung *GK-Germ*, der tschechischen Abbildung nach Krovak *Krovak*, geografischen Koordinaten mit Breiten- und Längenangabe *Ell*, der internationalen Universal Transverse Mercator Abbildung *UTM* und einer Gaußschen Abbildung mit frei einstellbaren Parametern *GK-general* gewählt werden. Auch hier kann man spezielle Einstellungen zu diesen Parametern im Options- Menü vornehmen.
- 9 Auswählen bzw. Eingabe des Ausgabedateinamens mit Hilfe der Schaltfläche (15) *Target File* oder des Textfeldes (16).
- 10 mit Hilfe der *Transform* Schaltfläche (18) wird der Transformationsvorgang gestartet. Es erscheint ein Statusfenster, welches je nach Einstellung im Optionsmenü und abhängig vom bearbeiteten Datenformat den Fortschritt der Transformation anzeigt und die Möglichkeit des Abbruchs des Rechenprozesses bietet.
- 11 im Textfeld (17) werden Informationen bezüglich des Formates des Shapetyps und der benötigten Rechenzeit ausgegeben.

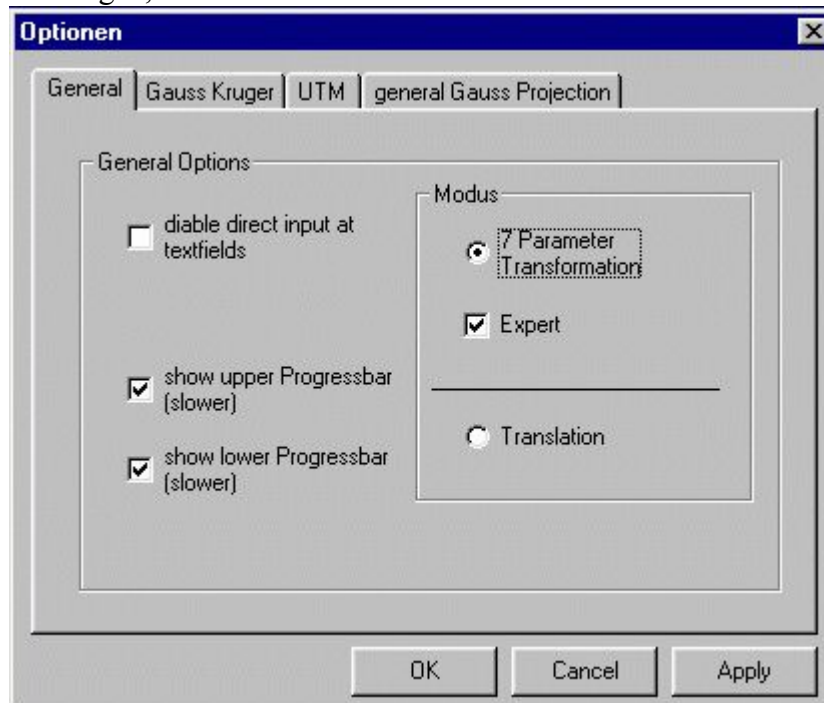
Es besteht die Möglichkeit, die oben beschriebenen Einstellungen im Menüpunkt *Options-Save Properties* zu speichern, bzw. mit *Load Properties* eine gespeicherte Einstellungsdatei (*.par*) wieder zu laden. Im Textfeld (5) *Properties File* ist zu sehen, welche Einstellungsdatei geladen wurde.

8.3. Die Options Menues

Über das Pulldownmenue *Options* und den entsprechenden Menüpunkt *Options* kommt man auf ein Registrierkartfenster, in dem man Einstellungen zum Programmablauf vornehmen kann. Alle hier gemachten Einstellungen werden beim Speichern der Programmeinstellungen im Pulldownmenue *Options* im Punkt *Save Properties* gesichert, und beim Laden über das Pulldownmenue *Options* mit dem Punkt *Load Properties* wieder geladen. Durch Druck auf die *OK*- oder die *Apply*-Schaltfläche werden die gesetzten Einstellungen für das Programm KoTra übernommen, durch Betätigen der Schaltfläche *Cancel* noch nicht bestätigte Einstellungen verworfen.

8.3.1. Die Registrierkarte *General Options*

Hier werden alle Einstellungen vorgenommen, die das Erscheinungsbild des Programms verändern und festlegen, welcher Transformationsmodus benutzt wird.



disable direct input at textfields durch Aktivieren dieses Feldes wird die Möglichkeit der direkten Bearbeitung der Textfelder auf der Arbeitsoberfläche des Programms KoTra deaktiviert. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, Parameter über die Schaltflächen *Parameter* aus den entsprechenden Dateien zu laden.

show upper Progressbar (slower) durch Aktivieren dieses Feldes wird während der Berechnung ein Fortschrittsbalken angezeigt, welcher bei der Transformation von Shapedateien mit Flächen oder Linienelementen den Berechnungsfortschritt der Punkte in einem Datensatz wiedergibt. Diese Option verlangsamt die Berechnungsgeschwindigkeit.

show lower Progressbar durch Aktivieren dieses Feldes wird während der Berechnung

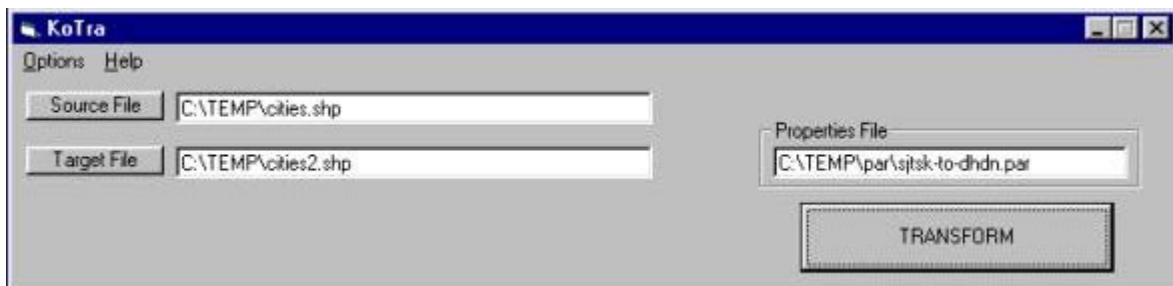
(*slower*)

ein Fortschrittsbalken angezeigt, welcher bei der Transformation von Shapedateien den Berechnungsfortschritt in Bezug auf die Datensätze, aus denen die Datei besteht, wiedergibt. Diese Option verlangsamt die Berechnungsgeschwindigkeit.

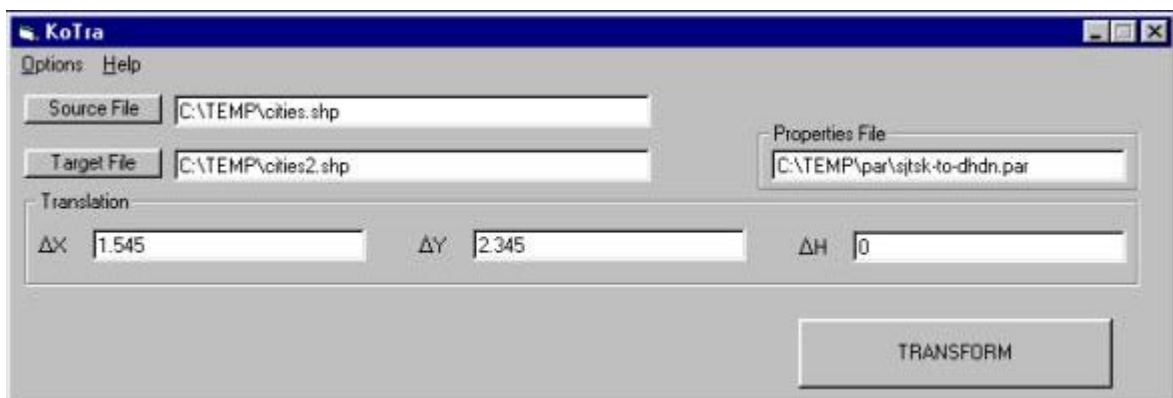
Modus

Das Programm KoTra kann in verschiedenen Modi betrieben werden. Standardmäßig wird das Programm als Transformationsprogramm mit Datumsübergang betrieben *7 Parameter Transformation*. Auf Wunsch wurde eine einfache Translationslösung *Translation* mit eingebracht.

Wenn das Programm im 7 Parameter-Transformations-Modus läuft, besteht die Möglichkeit, die Oberfläche vom oben beschriebenen Expertenmodus in einen einfachen Bedienungsmodus zu wechseln. Dies geschieht durch Deaktivieren des Kontrollkästchens *Expert*. Im einfachen Modus sind die einzelnen Transformationseinstellungen nicht sichtbar. Es können lediglich die Eingangsdatei *Source File*, die Ausgabedatei *Target File* sowie der zu ladende Parametersatz im Menüpunkt *Options – Load Properties* gewählt werden.

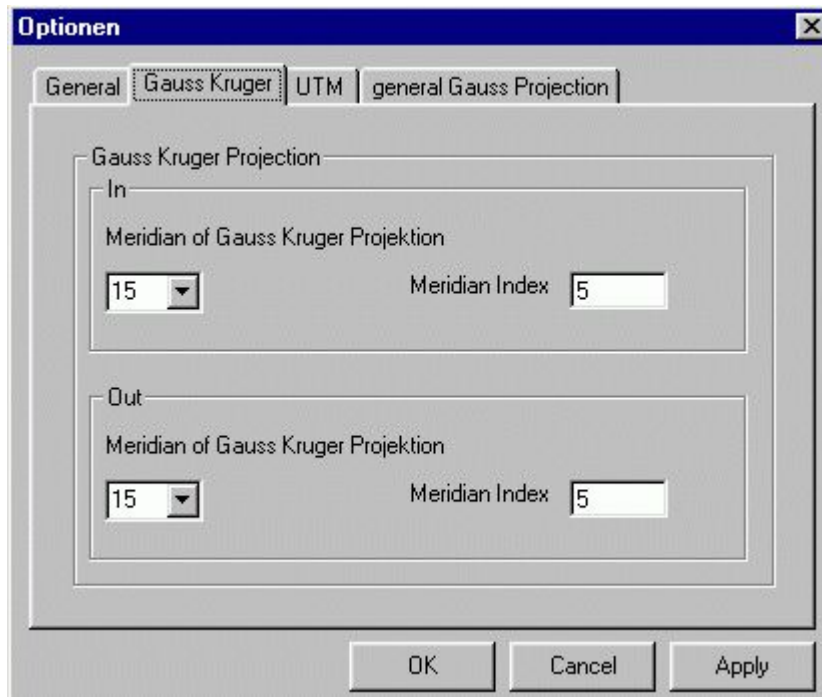


Im einfach strukturierten Translationsmenü können neben den Dateinamen der Eingangs-*Source File* und der Ausgabedatei *Target File* die entsprechenden Translationen in X-Richtung ΔX , in Y-Richtung ΔY und für die Höhe (Falls in der Eingabedatei vorhanden) ΔH eingegeben werden. Durch Druck auf die Schaltfläche *TRANSFORM* wird der Transformationsvorgang gestartet.



8.3.2. Die Registrierkarte Gauß-Krüger Projektion

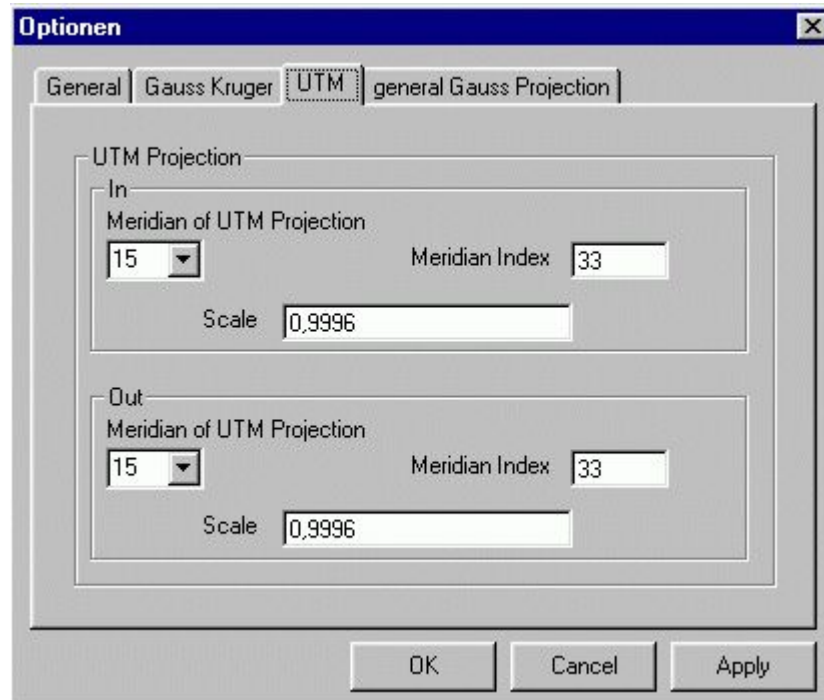
Hier wird eingestellt, auf welche Bezugsmeridiane sich die Gauß-Krüger Abbildung bezieht. Diese Einstellungen kommen zum Tragen, wenn im Schaltflächenfeld (4) *Projektion GK* für die deutsche Gauß Krüger Abbildung als Eingangssystem bzw. im Schaltflächenfeld (14) *Projektion GK* für die deutsche Gauß Krüger Abbildung als Ausgangssystem gewählt wird.



Durch Wahl oder Eingabe des Bezugslängengrades (positive Werte entsprechen Gradangaben östlicher Länge, negative Werte entsprechen Gradangaben westlicher Länge) wird automatisch die entsprechende Meridiankennziffer errechnet.

8.3.3. Die Registrierkarte *UTM Projektion*

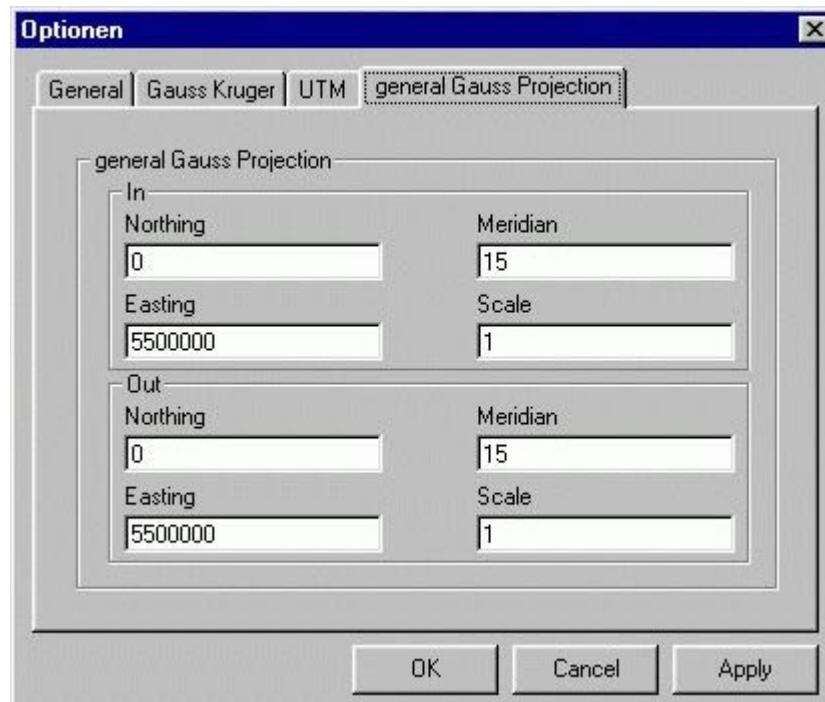
Hier wird eingestellt, auf welchen Bezugsmeridian sich die Universal Transverse Mercator Abbildung *UTM* bezieht. Diese Einstellungen kommen zum Tragen, wenn im Schaltflächenfeld (4) *Projektion UTM* für die internationale Universal Transverse Mercator Abbildung als Eingangssystem *In* bzw. im Schaltflächenfeld (14) *Projektion UTM* für die internationale Universal Transverse Mercator Abbildung als Ausgabesystem *Out* gewählt wird.



Durch Wahl oder Eingabe des Bezugs­längengrades *Meridian of UTM Projection* (positive Werte entsprechen Gradangaben östlicher Länge, negative Werte entsprechen Gradangaben westlicher Länge) wird automatisch die entsprechende Meridiankennziffer errechnet. Weiterhin kann die entsprechende Maßstabskorrektur *Scale* eingegeben werden. Standardmäßig wird die UTM Abbildung mit einer Maßstabskorrektur von 0,9996 versehen. Dieser Wert entspricht der Voreinstellung.

8.3.4. Die Registrierkarte *general Gauß Projektion*

Hier können Einstellungen vorgenommen werden, um die verschiedenen Arten von Koordinatensystemen zu unterstützen, welche sich auf die Gaußsche Abbildung beziehen. Insbesondere wurde dieser Punkt eingeführt, um Datensätze, die die 6° Streifen-Abbildung des S42 verwenden, transformieren zu können. Diese Einstellungen kommen zum Tragen, wenn im Schaltflächenfeld (4) *Projektion GK-general* als Eingangssystem *In* bzw. im Schaltflächenfeld (14) *Projektion GK-general* als Ausgabesystem *Out* gewählt wird.



Meridian Hier wird der Bezugsmeridian für die Gaußsche Abbildung festgelegt.

Scale Hier wird angegeben, mit welchem Maßstabsfaktor die Koordinaten multipliziert werden.

Northing Hier wird eine Konstante angegeben, die zum Hochwert der Gaußschen Abbildung addiert wird.

Easting Hier wird eine Konstante angegeben, die zum Rechtswert der Gaußschen Abbildung addiert wird.

8.4. Aufbau der Parameterdateien

8.4.1. Die .ell-Datei mit Ellipsoidparametern

Um die Ellipsoidparameter a – große Halbachse und e – erste numerische Exzentrizität nicht bei jedem Programmstart manuell eingeben zu müssen, besteht die Möglichkeit, diese aus einer vorher definierten Parameter-Datei im ASCII Format mit Hilfe der Schaltflächen (7) bzw. (13) zu laden.

Die .ell-Parameter-Datei ist wie folgt aufgebaut und kann mit einem einfachen Texteditor erstellt bzw. verändert werden.

01	Bessel	Bezeichnung des Ellipsoids
02	6377397.155	a - große Halbachse
03	0.081696831215256	e - 1. numerische Exzentrizität

(Die grau markierten Zeichenketten dienen lediglich der Information und dürfen in der eigentlichen Parameterdatei nicht vorkommen.)

8.4.2. Die .7pr-Datei mit Transformationsparametern

Um nicht bei jedem Programmstart die Transformationsparameter ΔX , ΔY , ΔZ – Translationen, m – Maßstabsfaktor und $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ – Rotationen um die entsprechenden Koordinatenachsen manuell eingeben zu müssen besteht die Möglichkeit, diese aus einer vorher definierten Parameter-Datei im ASCII Format mit Hilfe der Schaltflächen (9) bzw. (11) zu laden.

Die .7pr-Parameter-Datei ist wie folgt aufgebaut und kann mit einem einfachen Texteditor erstellt bzw. verändert werden.

01	dhdn >> etrf	Bezeichnung des Parametersatzes
02	582.0000	ΔX – Translation in X-Richtung
03	105.0000	ΔY – Translation in Y-Richtung
04	414.0000	ΔZ – Translation in Z-Richtung
05	8.3000	m – Maßstabsfaktor mit 10^6 multipliziert
06	3.0800	$\Delta\gamma$ – Drehwinkel in Bogensekunden um die z-Achse
07	-0.3500	$\Delta\beta$ – Drehwinkel in Bogensekunden um die y-Achse
08	-1.0400	$\Delta\alpha$ – Drehwinkel in Bogensekunden um die x-Achse

(Die grau markierten Zeichenketten dienen lediglich der Information und dürfen in der eigentlichen Parameterdatei nicht vorkommen.)

8.4.3. Die .par-Datei mit allen Programmparametern

Um alle im Programm getätigten Einstellungen bei einem Neustart reaktivieren zu können, ist es möglich, nahe zu alle Programmparameter über das Optionsmenü *Save Properties* in einer .par-Datei zu speichern. Bei dieser Datei handelt es sich um eine einfache ASCII-Datei, die im Folgenden näher beschrieben wird.

Als Beispieldatei wurde der dhdn-to-sjtsk.par Parametersatz gewählt, welcher die Transformation vom deutschen DHDN zum tschechischen SJTSK ermöglicht.

01	#TRUE#	Shapefileformat wird bearbeitet
02	#FALSE#	ASCII Fileformat wird bearbeitet
03	"Free"	Platzhalter
04	"Free"	Platzhalter
05	#TRUE#	Eingangsabbildung – Gauß Krueger
06	#FALSE#	Eingangsabbildung – Krovak
07	#FALSE#	Eingangsabbildung – geografische Koordinaten
08	#FALSE#	Eingangsabbildung – UTM
09	#FALSE#	Eingangsabbildung – allgemeine Gaußsche Abb.
10	"Free"	Platzhalter
11	"Free"	Platzhalter
12	#FALSE#	Ausgabeabbildung – Gauß Krueger
13	#TRUE#	Ausgabeabbildung – Krovak
14	#FALSE#	Ausgabeabbildung – geografische Koordinaten
15	#FALSE#	Ausgabeabbildung – UTM
16	#FALSE#	Ausgabeabbildung – allgemeine Gaußsche Abb.
17	"Free"	Platzhalter
18	"Free"	Platzhalter
19	"6377397,155"	a – große Halbachse des Eingangsellipsoids
20	"0,081696831215256"	e – 1. numerische Exzentrizität
21	"Bessel"	Bezeichnung des Eingangsellipsoids

22	"Free"	Platzhalter
23	"Free"	Platzhalter
24	"Free"	Platzhalter
25	"6377397,155"	a - große Halbachse des Eingangsellipsoids
26	"0,081696831215256"	e - 1. numerische Exzentrizität
27	"Bessel"	Bezeichnung des Ausgabeellipsoids
28	"Free"	Platzhalter
29	"Free"	Platzhalter
30	"Free"	Platzhalter
31	"dhdn >> etrf"	Bezeichnung der 1.Transformation
32	"582"	ΔX - Translation in X-Richtung
33	"105"	ΔY - Translation in Y-Richtung
34	"414"	ΔZ - Translation in Z-Richtung
35	"8,3"	m - Maßstabsfaktor mit 10^6 multipliziert
36	"3,08"	$\Delta \gamma$ - Drehwinkel in Bogensekunden um die z-Achse
37	"-0,35"	$\Delta \beta$ - Drehwinkel in Bogensekunden um die y-Achse
38	"-1,04"	$\Delta \alpha$ - Drehwinkel in Bogensekunden um die x-Achse
39	"ETRF89 >> S-JTSK"	Bezeichnung der 2.Transformation
40	"-570,83789"	ΔX - Translation in X-Richtung
42	"-85,682641"	ΔY - Translation in Y-Richtung
42	"-462,84673"	ΔZ - Translation in Z-Richtung
43	"-3,5610256"	m - Maßstabsfaktor mit 10^6 multipliziert
44	"5,2611106"	$\Delta \gamma$ - Drehwinkel in Bogensekunden um die z-Achse
45	"1,5867074"	$\Delta \beta$ - Drehwinkel in Bogensekunden um die y-Achse
46	"4,9984501"	$\Delta \alpha$ - Drehwinkel in Bogensekunden um die x-Achse
47	"0"	Sperre für direkte Eingabe 0-aus 1-an
48	"15"	Bezugsmeridian der Gauß Krueger Abb. Eingang
49	"15"	Bezugsmeridian der Gauß Krueger Abb. Ausgabe
50	"15"	Bezugsmeridian der UTM Abb. Eingang
51	"15"	Bezugsmeridian der UTM Abb. Ausgabe
52	"0,9996"	Maßstabsfaktor der UTM Abb. Eingang
53	"0,9996"	Maßstabsfaktor der UTM Abb. Ausgabe
54	"1"	Expertenmodus 0-aus 1-an
55	"1"	oberer Statusbalken 0-aus 1-an
56	"1"	unterer Statusbalken 0-aus 1-an
56	"1"	unterer Statusbalken 0-aus 1-an
57	"55000000"	Easting der allgemeinen Gaußschen Abb. Eingang
58	"15"	Meridian der allgemeinen Gaußschen Abb. Eingang
59	"0"	Northing der allgemeinen Gaußschen Abb. Eingang
60	"1"	Maßstab der allgemeinen Gaußschen Abb. Eingang
61	"55000000"	Easting der allgemeinen Gaußschen Abb. Ausgabe
62	"15"	Meridian der allgemeinen Gaußschen Abb. Ausgabe
63	"0"	Northing der allgemeinen Gaußschen Abb. Ausgabe
64	"1"	Maßstab der allgemeinen Gaußschen Abb. Ausgabe

(Die grau markierten Zeichenketten dienen lediglich der Information und dürfen in der eigentlichen Parameterdatei nicht vorkommen.)

8.5. Aufbau der ASCII-Koordinatendateien

Um auch Koordinatensätze transformieren zu können, die nicht im Shapefileformat vorliegen, besteht die Möglichkeit Koordinatendateien im ASCII Format einzulesen. Diese müssen, um eine entsprechende Zuordnung der Koordinaten gewährleisten zu können, einem gewissen Aufbau entsprechen.

Datensätze, die auf der Gaußschen Abbildung beruhen, also Gauß-Krüger-Koordinaten, UTM-Koordinaten und allgemeine Gaußschen Koordinaten, müssen wie folgt aufgebaut sein:

Rechtswert (Leerzeichen) Hochwert (Leerzeichen) Höhe

Im folgenden Beispiel sieht man diesen Aufbau exemplarisch an UTM Koordinaten:

```
33449773.708 5642981.017 409.389
33434767.665 5632261.636 530.408
```

Die Angabe der Höhe ist nicht zwingend erforderlich, sie wird bei der Rechnung nicht berücksichtigt. Es werden also auch Datensätze der Form

```
Rechtswert (Leerzeichen) Hochwert
```

akzeptiert.

```
33449773.708 5642981.017
33434767.665 5632261.636
```

Werden geografische Koordinaten verwendet, so ist eine Datenzeile wie folgt aufgebaut: Längengrad (Leerzeichen) Breitengrad (Leerzeichen) Höhe

```
14,2863318346077 50,9371549243734 409,389
14,0746710669447 50,8392646379082 530,408
```

Auch in diesem Fall ist die Höhenangabe nicht obligatorisch.

Bei tschechischen Koordinatendateien mit Krovakabbildung wird als erstes die Y-Koordinate (auf dem Gebiet der Tschechischen Republik immer der kleinere Wert), dann die X-Koordinate und anschließend, wenn vorhanden, die Höhe in eine Zeile geschrieben.

```
-568990,997000002 -1050538,643 0
-859084,700000003 -1053301,048 0
```

Die negativen Vorzeichen werden ignoriert.

Bei der Eingabekoordinatendatei werden sowohl Punkt (.) (amerikanische Notation), als auch Komma (,)(deutsche Notation) als Kommazeichen erkannt. Die von KoTra ausgegebenen Dateien enthalten jeweils das Komma (,) als Kommazeichen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden die theoretischen Grundlagen für ein Koordinatentransformationsprogramm mit Datumsübergang dargelegt, das speziell für das Nationalpark-Informationssystem (NPIS) sächsisch-böhmische Schweiz entwickelt worden ist.

Nach der Vorstellung der Bezugssysteme Datum Rauenberg, S-JTSK, System 42 und ETRS89 wurden die Projektionsverfahren der Gaußschen und der Krovak-Abbildung beschrieben.

Die zur Implementierung von ESRI Shapefiles nötigen Datenformate wurden vorgestellt und ein der Aufgabenstellung entsprechend arbeitendes Programm (KoTra) entwickelt und getestet.

Seiner Funktionsweise liegen die in dieser Arbeit beschriebenen mathematischen Grundlagen zu Grunde. Spezielle Programmroutinen sind in einem Extrakapitel erläutert worden.

Das Programm findet bereits Anwendung im NPIS Projekt und hat sich bezüglich seines Aufbaus und seiner Möglichkeiten bewährt.

Zum Beispiel wurden Kartenblätter der deutschen Topografischen Karte 1:25000 (TK 25), die im digitalen Rasterformat vorlag, mit Hilfe von KoTra ins tschechische S-JTSK und die dazugehörige Krovak-Abbildung überführt und mit den tschechischen ZABAGED/2 kombiniert.

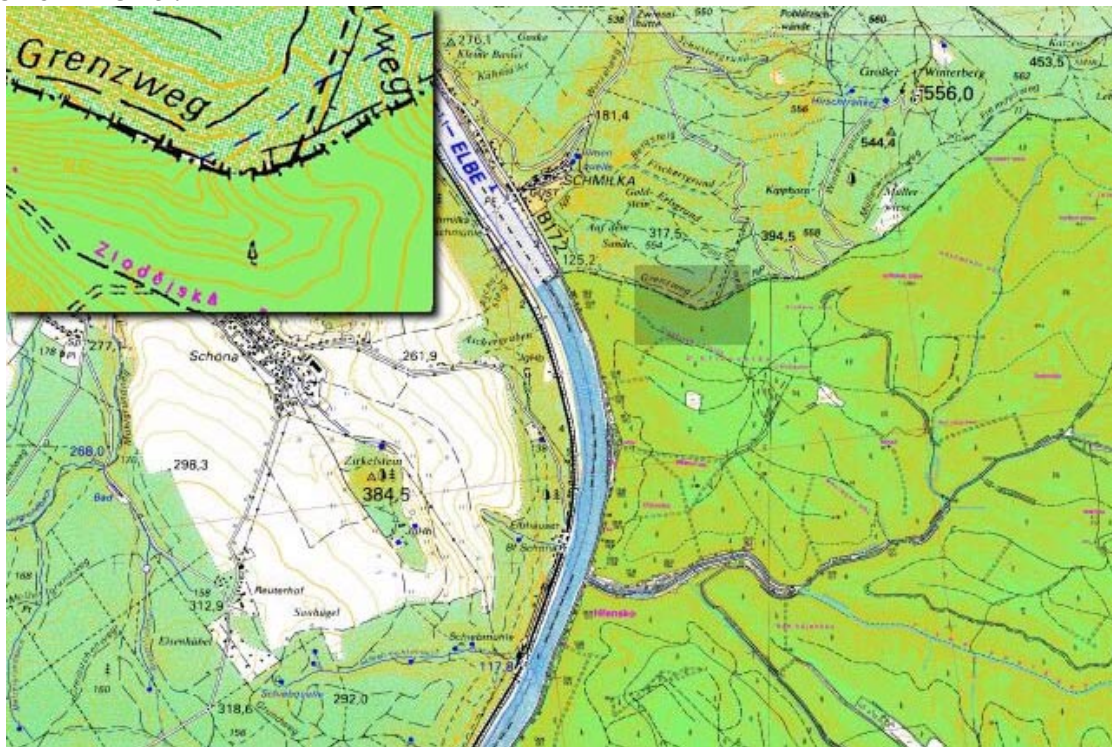


Abbildung 9-1 Beispieltransformation einer TK25 ins S-JTSK und Zusammenführung mit ZABAGED/2 Karte

Zukünftig kann die Transformationsgenauigkeit durch die Ermittlung spezieller Transformationsparameter im NPIS-Gebiet verbessert werden.

Durch den modularen Programmaufbau ist es möglich, weitere Abbildungssysteme zu integrieren und KoTra einer breiteren Nutzung, auch in anderen Gebieten, zuzuführen.

10. Abkürzungsverzeichnis

AGN	Astronomisch-Geodätischen Netz
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AV	Ausgabe für die Volkswirtschaft
BIH	Bureau International de L'Heure
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BTS	BIH Terrestrial System
CERCO	Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle
CTS	Conventional Terrestrial System
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DGPS	Differential GPS
DHDN	Deutsches Hauptdreiecksnetz
DREF	Deutsches Referenznetz
EAGN	Einheitlichen Astronomisch-Geodätischen Netzes
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETRF 89	European Terrestrial Reference Frame 1989
ETRS 89	European Terrestrial Reference System 1989
EU	Europäische Union
EUREF	Europäisches Referenznetz
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 80
IAG	International Association of Geodesy
IERS	International Earth Rotation Service
IFAG	Institut für Angewandte Geodäsie
IÖR	Institut für Ökologische Raumentwicklung e.V.
ITRF	IERS Terrestrial Reference Frame
ITRS	IERS Terrestrial Reference System
JTSK	Einheitliches trigonometrisches Katasternetz
LLR	Lunar-Laser-Ranging
NPIS	Nationalpark-Informationssystem
NPV	Nationalparkverwaltung
PD/83	PD-Potsdamdatum
RD/83	Rauenbergdatum
RDN	Reichsdreiecksnetz
S42	System 42
S-JTSK	System jednotné trigonometrické site katastrální
SLR	Satellite-Laser-Ranging
TUD	Technische Universität Dresden

UTM	Universal Transverse Mercator Grid System
VLBI	Very-Long-Baseline-Interferometry
WGS 84	World Geodetic System
ZABAGED	Základní báze geografických dat

11. Quellenverzeichnis

11.1. Literaturverzeichnis

- 01 Cai, J.: The systematic analysis of the transformation between the German geodetic reference system (DHDN, DHHN) and the ETRF system (DREF91), Geodätisches Institut, RHTW Aachen, in: Earth Planets Space, Vol. 52 (No. 11), S. 947-952, 2000, PDF-Datei von <http://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/>
- 02 Cimbálník, M., Kostelecký, J.: Geodetic Integration of Europe: Practical Problems, Beitrag zum Symposium of the IGA Subcommission for Europe (EUREF), Tromso/Norwegen, 2000
- 03 ESRI Shapefile Technical Description, An ESRI White Paper, July 1998, PDF-Datei von <http://www.esri.com>
- 04 Geobasisdaten der Landesvermessung. Lage-, Höhen- und Schwerebezugssysteme, Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern, 1998, PDF-Datei
- 05 Heck, B.: Rechenverfahren und Auswertemodelle der Landesvermessung. Klassische und moderne Methoden, 2. durchgesehene und verbesserte Auflage, Wichmann, Heidelberg, 1995
- 06 Hubeny, K.: Isotherme Koordinatensysteme und konforme Abbildungen des Rotationsellipsoides, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 27, Verlag für die Technische Universität Graz, Graz 1977
- 07 Ihde, J.; Lindstrot, W.: Datumtransformation zwischen den Bezugssystemen ETRF/WGS, DHDN und System 42, in: Deutscher Verein für Vermessungswesen e.V.: Zeitschrift für Vermessungswesen, Nr. 4, 1995
- 08 Ihde, J.; Schoch, H.; Steinich, L.: Beziehungen zwischen den geodätischen Bezugssystemen Datum Rauenberg, ED50 und System 42, Mitteilung Nr. 187 des Instituts für Angewandte Geodäsie, hrsg. von der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe B: Angewandte Geodäsie, Heft Nr. 298, Verlag für angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 1995
- 09 Kahmen, H.: Vermessungskunde, Lehrbuch, 18. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1993
- 10 Kostelecký, J.: Description of a procedure of transformation between geodetical coordinates and planar (cartographic) coordinates in "Krovak" projection, Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, von <http://panurgos.fsv.cvut.cz/~kost/krovak/krovak.htm>
- 11 Landesvermessung und Kartographie, Bundesverband der Diplomingenieure für Vermessungswesen, Bearbeitet von dem Landesverband Niedersachsen, Osnabrück, 1995

- 12 Monadjemi, P.: Visual Basic 6. Programmieren mit Windows 9x, NT und 2000, Markt + Technik Verlag, München, 2000
- 13 Reithof, A.: Koeffiziententafeln und Rechenprogramme für die Gauss-Krüger-(UTM-) Koordinaten der Ellipsoide von Bessel, Krassowsky und des Referenzellipsoids 1967, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 27, Verlag für die Technische Universität Graz, Graz 1977
- 14 Rösch, N.: Das Problem des Datumsübergangs beim grenzüberschreitenden Austausch raumbezogener Daten, Beitrag zum Symposium Computergestützte Raumplanung, Wien, 2000, PDF-Datei von <http://www.corp.at>
- 16 Schoeps, D.: Tafeln zur Berechnung der geographischen Koordinaten aus den Gauß-Krüger-Koordinaten auf dem Ellipsoid von Krassowski, Manuskript, Arbeiten aus dem Geodätischen Institut Potsdam, Nr. 9, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Geodätisches Institut Potsdam, 1965
- 17 Schröder, E.: Kartenentwürfe der Erde. Kartographische Abbildungsverfahren aus mathematischer und historischer Sicht, Mathematische Schülerbücherei, Nr. 128, BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1988
- 18 Seeger, H. u.a.: EUREF. 10 Jahre Aufbauarbeit an einem neuen geodätischen Bezugssystem für Europa, in: Geodätische Vernetzung Europas, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 1, Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 1998
- 19 Seven-parameter transformation between ETRF89(1989.0) and Czech national system S-JTSK, von <http://panurgos.fsv.cvut.cz/~kost/krovak/etrfjtsk.htm>
- 20 Teichmann, J.: Beschreibung der Krovak-Abbildung, 2000
- 21 Torge, W.: Geodäsie, Sammlung Göschen, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1975
- 22 Visual Basic 6.0 – Grundlagen Programmierung, 3. unveränderte Auflage, Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen / Universität Hannover, Hannover, 2000
- 23 Vývoj polohových základu na území České Republiky, deutscher Titel: Entwicklung der geodätischen Grundlagen auf dem Gebiet der Tschechischen Republik, Landesvermessungsamt Prag, Prag, 2000, in tschechischer, englischer und deutscher Sprache verfasst
- 24 Wendt, J.: Ellipsoidische Geodäsie, Skript der Vorlesung Theoretische und Physikalische Geodäsie von Professor Dietrich, TU Dresden, 1997/98
- 25 Witte, B., Schmidt, H.: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen, Vermessungswesen bei Konrad Wittwer, Band 17, 4. neu-bearbeitete Auflage, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 2000

11.2. Internetadressen

- 26 <http://www.corp.at>, Seite der TU Wien zum Symposium Computergestützte Raumplanung, siehe Literaturverzeichnis
- 27 <http://cousin.stud.uni-karlsruhe.de/jacobs/trafosys.html>, Online-Koordinatentransformation
- 28 <http://www.esri.com>, Seite der Firma Esri, siehe Literaturverzeichnis
- 29 <http://www.ifag.de>, Seite des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (bkg)
- 30 <http://www.inprise.com>, Seite von Inprise Corp. mit Informationen zum Aufbau von dBASE-Dateien
- 31 <http://panurgos.fsv.cvut.cz/~kost/krovak/etrftsk.htm>, siehe Literaturverzeichnis
- 32 <http://panurgos.fsv.cvut.cz/~kost/krovak/krovak.htm>, siehe Literaturverzeichnis
- 33 <http://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/>, siehe Literaturverzeichnis
- 34 <http://www.tu-dresden.de/npis/>, Seite mit Informationen zum NPIS-Projekt
- 35 <http://www.wasy.de>, Seite der Firma wasy

11.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Überblick über die Nationalparkregion sächsisch-böhmische Schweiz, Lit. 34
Abbildung 4-1	Ellipsenparameter
Abbildung 4-2	mittleres Erdellipsoid, lokal bestanschließendes Ellipsoid und konventionelle Ellipsoide, Lit. 05
Abbildung 4-3	wichtige Ellipsoide, Lit. 24
Abbildung 4-4	3° Streifen der Gauß-Krügerabbildung des DHDN, Lit. 35
Abbildung 4-5	6° Streifen der UTM Abbildung des ETRF 89, Lit.35
Abbildung 4-6	Normale und schiefachsige sphärische Koordinaten, Lit. 20
Abbildung 4-7	Maßstabsverteilung der Krovak-Abbildung im Gebiet der Tschechoslowakei (1945 - 1992), Lit. 20
Abbildung 4-8	Projektionsfläche der Krovak Abbildung, Lit.20
Abbildung 4-9	Krovak-Abbildung, Lit. 20
Abbildung 5-1	Funktionsschema der Transformation, Lit. 14
Abbildung 6-1	Aufbau der Hauptdatei (.shp), Lit. 03
Abbildung 6-2	Der Kopf der Hauptdatei, Lit. 03
Abbildung 6-3	Shapetypen, Lit. 03
Abbildung 6-4	Datensatzkopf in der Hauptdatei, Lit. 03
Abbildung 6-5	Aufbau des Shapetyps Point, Lit. 03
Abbildung 6-6	Aufbau des Shapetyps PolyLine, Lit. 03
Abbildung 6-7	Beispielpolygon, Lit. 03
Abbildung 6-8	Aufbau des Shapetyps Polygon, Lit. 03
Abbildung 6-9	Aufbau der Indexdatei, Lit. 03
Abbildung 6-10	Aufbau eines Datensatzes in der Indexdatei, Lit. 03

Abbildung 7-1 Allgemeiner Programmaufbau, Lit. 34

Abbildung 9-1 Beispieltransformation einer TK25 ins S-JTSK und Zusammenführung
mit ZABAGED/2 Karte