

## Zusammenfassung

*Der Aufbau von Geodateninfrastrukturen (GDI) wird auf vielen Ebenen vorangetrieben - institutionell und organisatorisch gibt es Initiativen auf internationaler, nationaler bis kommunaler Ebene. Auf technischer Ebene wird dazu Interoperabilität auf der Basis von einheitlichen Standards und Datenmodellen angestrebt. Moderne und zukünftige Geodateninfrastrukturen umfassen flächendeckende zweidimensionale und dreidimensionale Geodatenbestände. Koordinaten-Referenz-Systeme und die darin enthaltenen räumlichen Koordinaten bilden das geometrische Fundament von Geoinformation und somit der Geodateninfrastrukturen.*

*Die Koordinatenmethode und die zugrunde liegenden Koordinatensysteme bilden die formale und funktionale Basis zur Beschreibung der Geometrie von Geoinformation durch Koordinaten. Der Raumbezug von Koordinatensystemen wird durch das räumliche Datum beschrieben. Dadurch entstehen Koordinaten-Referenz-Systeme (KRS).*

*Koordinaten-Referenz-Systeme liegen in vielfältiger Repräsentation vor. Sie unterscheiden sich im Typ und in ihren Eigenschaften (z.B. geodätische KRS für Lage und Höhe, Kartenprojektionen etc.) sowie in ihrer spezifischen Definition (z.B. europäische oder nationale Lagerung) und im Aufbau (einfach oder hybrid) und weiteren Charakteristika. Folglich liegt Geoinformation je nach Herkunft und Anwendung in unterschiedlichen KRS vor.*

*Um Geoinformation unterschiedlicher Herkunft und in der verteilten Geodateninfrastruktur nutzen zu können, müssen sie geometrisch im selben KRS vorliegen. Damit dies möglich wird, benötigt es ein interoperables und verteiltes KRS-Management (KRSM), basierend auf einem konzeptuellen Modell, welches auf die Bedürfnisse der Geodateninfrastruktur ausgerichtet ist. Dies fordert die Modellierung und homogene Verwaltung der KRS-Instanzen, in welchen die Geoinformation vorliegt und modellmäßig den Geodaten zugewiesen ist. Ebenso notwendig sind die KRS-Beziehungsmodelle und die entsprechende Funktionalität zur Überführung von Geoinformation zwischen unterschiedlichen KRS. Liegen die entsprechenden KRS-Informationen homogenisiert nach dem Modell vor, können etliche KRSM-Aufgaben automatisiert werden.*

*Die konzeptuelle Modellierung erfordert eine sehr strenge semantische und systemneutrale Formalisierung, Determinierung und Vereinheitlichung fachlicher Konzepte sowie der Terminologie, was einer Axiomatisierung gleichgesetzt werden kann. Diese Lösungserarbeitung gestaltet sich aufwendig und schwierig, weil verschiedene Fachdisziplinen in der interdisziplinären Geomatik Konzepte und Begriffe unterschiedlich verwenden, aber auch weil die Bedürfnisse der Anwender, der Software- und IT-Lösungsersteller und die internationale Standardisierung zu berücksichtigen sind. Das erarbeitete konzeptuelle Modell hat dies alles auf einen Nenner gebracht.*

*Das konzeptuelle Modell beschreibt einfache und hybride KRS und deren Beziehungen. Um KRS zu modellieren, werden Koordinatensysteme mit einem räumlichen Datum versehen. Die Koordinatensysteme basieren auf den Grundlagen der Differenzialgeometrie und enthalten neben dem geometrischen Referenzmodell (z.B. Ebene, Kugel, Ellipsoid) auch das Maßverhalten (Metrik), was ja für die Auswertung von Geoinformation sehr zentral ist. Bei Beziehungen zwischen KRS werden Konversionen (a priori bekannt) und Transformationen (a posteriori bestimmt) unterschieden. Einen speziellen Konversionstyp bilden die Kartenprojektionen. Zu deren Modellierung wurde eine strenge Systematisierung gefunden, welche auch eine neue Kategorisierung der Projektionsparameter umfasst. Das Modell berücksichtigt auch die Anforderungen der KRS-Verwaltung, den Zugriff und die Identifikation.*

*Im einleitenden Kapitel wird der Überblick über die Problemstellung aus Sicht Geomatik, Geodateninfrastruktur und Formalisierung gegeben. In den nachfolgenden Kapiteln werden die wesentlichen geometrischen und inhaltlichen Grundlagen der in der Geodäsie und Kartografie anfallenden KRS gegeben. Im Kapitel Geomatik werden wesentliche Aspekte und Grundlagen der konzeptuellen Modellierung für die Bedürfnisse der Geodateninfrastruktur und die auftretenden internationalen Entwicklungen vorgestellt. Die Bedürfnisse für das KRSM, die als Use Cases formuliert sind, fließen in das erarbeitete Informationskonzept ein, welches das in UML beschriebene konzeptuelle Modell "Koordinaten-Referenz-Systeme" enthält.*

*Die Lösung dient dem Zusammenführen von Geodatenätzen z.B. für regionale und staatenübergreifende flächendeckend realisierte Geodateninfrastrukturen (z.B. die europäische Geodateninfrastruktur).*

**KONZEPTUELLE MODELLIERUNG  
VON  
KOORDINATENSYSTEMEN  
FÜR  
GEODATENINFRASTRUKTUREN**

**STEFAN A. VOSER**

MIT 68 ABBILDUNGEN UND 79 TABELLEN

2007



MAPREF.ORG

# Vorwort

„Wo leben wir? Und wie dokumentieren wir unseren Lebensraum?“ Zwei Fragestellungen, die wichtig sind für die Existenzsicherung und die Erschließung des Lebensraumes. Heutzutage spricht man von Geoinformation, wenn man Informationen über unsere Umwelt meint. Und für die verbreitete und verteilte Nutzung der Geoinformation wird die Geodateninfrastruktur (GDI) aufgebaut.

Es hat schon eine lange Tradition, dass man die geografischen Informationen nach geometrischen und inhaltlichen Gesichtspunkten betrachtet, erfasst und dokumentiert. Geometrisch von Interesse sind Position, Form, Gestalt und Verbreitung der Phänomene und darauf basierende Informationen wie z.B. Distanzen, Richtungen. Die Koordinatenmethode hat ihren Ursprung in der analytischen Geometrie und deren Weiterentwicklung hin zur Differenzialgeometrie, was es erlaubt, Geometrie computertauglich zu handhaben. Somit ist dies die geometrische Grundlage für die Geomatik, der Disziplin der Grundlagen und Anwendungen von Geoinformation. Die hier genutzte Koordinatenmethode basiert auf der n-dimensionalen Differenzialgeometrie und dabei verwendeter Koordinatensysteme, um Positionen durch Koordinaten zu beschreiben und um darauf aufbauend geometrische Formen zu beschreiben. Erweitert man die Koordinatenmethode auf geografische Belange, müssen Koordinatensysteme um das räumliche Datumskonzept ergänzt werden, welches den Bezug (Lagerung) von Koordinatensystemen zur Erde herstellt. Dadurch entstehen die Koordinaten-Referenz-Systeme (KRS).

Diese Promotionschrift „Konzeptuelle Modellierung von Koordinatensystemen für Geodateninfrastrukturen“ behandelt die **Nutzung und Handhabung von Koordinaten-Referenz-Systemen in Geodateninfrastrukturen** unter Berücksichtigung der Interoperabilitätsbedürfnisse der vernetzten Informationsgesellschaft. Nach einer Einleitung in das Umfeld Koordinaten-Referenz-Systeme inklusive Formulierung der Fragestellung werden die Grundlagen, d.h. insbesondere jene der Geometrie, Geodäsie und Kartografie vorgestellt, die es braucht, um Koordinaten-Referenz-Systeme zu beschreiben respektive Geoinformation koordinatenmäßig in KRS vorzuhalten. Anschließend wird die relativ junge Disziplin der Geomatik kontextmäßig vorgestellt, welche u.a. die digitale Handhabung von Geoinformation einschließt. Es werden die wichtigen Konzepte wie Geodateninfrastruktur, Interoperabilität und Formalisierung von Information vorgestellt. In einem weiteren Schritt werden diese Grundlagen und Konzepte in einem *Informationskonzept*, dem konzeptuellen Modell auf einen gemeinsamen, mit UML formalisierten Nenner gebracht, und zwar nach Prinzipien, wie sie auch auf internationaler Ebene (z.B. ISO, OpenGIS) anzutreffen sind.

Die Idee für diese Arbeit entstand während meiner Zeit (1994-1996) am Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München, als ich mich intensiv mit Geoinformation, deren Modellierung, Austausch, Integration und Georeferenzierung von europäischen Geodaten befasste. Wichtige Ideen und Erkenntnisse wurden gewonnen, als ich das Projekt „*Untersuchung über Nutzungsmöglichkeiten verschiedener geodätischer Bezugssysteme für Geo-Informationssysteme des Naturschutzes*“ für das Bundesamt für Naturschutz in Bonn bearbeitete, wo insbesondere europäische Geodaten in ein einheitliches KRS überführt werden mussten. Eines der Probleme dabei war die Heterogenitätsvielfalt von KRS in Europa und andererseits die Erarbeitung der Lösung mit Arc/Info von ESRI. Einflüsse in das hier erarbeitete Informationskonzept KRS stammen auch aus den Erfahrungen in der SMATI-Gruppe (Semantische Modellierung und Akquisition Topografischer Information), welche von der DfG gefördert wurde, der Vorlesungserfahrung an der Westfälischen Willhelms-Universität (WWU) Münster und die Verfolgung internationaler Entwicklungen u.a. bei ISO, OpenGIS, EuroGeographics etc. Ebenso fließen meine mehrjährigen Erfahrungen in der Datenmodellierung, Modellharmonisierung und der Einführung von neuen GIS-Lösungen in der Verwaltung in diese Arbeit mit ein.

Dass diese Arbeit ermöglicht werden konnte, verdanke ich insbesondere meinen Begutachern Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Caspary, Prof. Dr.-Ing. Kurt Brunner, Wolfgang Prof. Dr.-Ing. Reinhardt der Universität der Bundeswehr in München für die Betreuung, die Motivation und den Freiraum für das Neue. Ebenso Dank erhält Prof. Dr. sc. tech. Werner Kuhn von der Westfälischen Willhelms-Universität Münster für die Impulse und Motivation, dieses Thema in seinen interdisziplinären Facetten zu durchleuchten. Ebenfalls unterstützt haben mich Kollegen insbesondere des Bereiches Geodäsie bei swisstopo in Wabern (CH) durch die fachlichen Diskussionen und praktischen Hinweisen aus dem Berufsalltag und dem Korrekturlesen.

Besonders gedenke ich Dr. Christoph Brandenberger, ehemaliger Oberassistent und langjähriger Mitarbeiter am Institut für Kartographie der ETH Zürich. Er verstarb am 14. Januar 2004 und kann so die Früchte unserer langjährigen und

vielschichtigen Diskussionen insbesondere zu Kartenprojektionen, die in die hier erarbeitete Lösung einfließen, nicht mehr selbst erleben.

Dank gehört auch allen Diskussionspartnern sowie den vielen Internet-Anfragern, die seit 1996 aufgrund meiner Webseiten [URL-MapRef] an mich gelangten und mir zeigten, wo überall Probleme im Zusammenhang mit KRS auftauchen.

Wichtige Impulse und Erfahrungen gaben mir die beiden EC-Workshops zu Koordinaten-Referenz-Systemen, die 1999 und 2000 bei Megrin/EuroGeographics in Paris stattfanden [Annoni, Luzet (Eds.) 2000, Annoni et al. 2003]. In diesem Zusammenhang konnte ich u.a. aktiv an der Ausarbeitung der neuen europäischen Kartenprojektions-KRS mitarbeiten und mit Experten und Strategen sowohl der europäischen Geodateninfrastruktur, der internationalen Standardisierung und GI-Anwender (z.B. Geostatistik, Naturschutz, EuroControl, Erdölindustrie etc.) europäische Georeferenzierungsprobleme diskutieren als auch meine Erfahrungen in der Datenmodellierung, Applikationsentwicklung einbringen und vertiefen. Namentlich bedanke ich mich diesbezüglich bei Alessandro Annoni, JRC/EC-GIS, Ispra, Dr.-Ing. habil Johannes Ihde vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, und Dr. Erich Gubler, ehemaliger Direktor von swisstopo, Wabern für die Einblicke und Inputs hinsichtlich KRS-Entwicklungen auf europäischer und internationaler Ebene.

Viele der Initiativen betreff Homogenisieren und "Interoperabilisieren" von Koordinaten-Referenz-Systemen und der damit verbundenen Georeferenzierungsfragestellungen für die Geodateninfrastruktur sind nicht bei den klassischen Disziplinen der Geodäsie und Kartografie anzutreffen, sondern bei GIS und Fernerkundung und den großräumigen Datenanwendern. Beispielsweise sind die Entwicklungen zu GeoTIFF, d.h. der Integration von KRS-Informationen in Rasterbilder auf Initiative der Fernerkundung hin entstanden und die Lösung entstand zusammen mit der KRS-Datenbank der European Petroleum Surveying Group (EPSG).

Aufgrund dieser vielfältigen Interdisziplinarität, wie sie so in der Geomatik zusammenfließt, ist eine große Hürde für den Konsens neben dem gegenseitigen Verständnis der Probleme, Suche nach gemeinsamen Konzepten eine vereinheitlichte Terminologie. Dem Problem der Terminologie wurde ein großer Stellenwert beigemessen, und ab und zu scheinen bei der Terminologie am meisten Probleme zu entstehen, weil a) Begriffe in den verschiedenen Anwendergruppen anders verstanden werden, b) Begriffe auch innerhalb einzelner Fachdisziplinen regional unterschiedlich sind, c) neue Bedürfnisse auftreten, die gewisse Begriffe wegen der Eindeutigkeit priorisieren und so ungewohnterweise die Anwendergruppen die Terminologie in Datenmodellen bestimmen, sowie d) Begriffe einem Wandel unterworfen sind.

Die hier erarbeitete Lösung basiert auf einer vernetzten Vielschichtigkeit, die auf der Zielrichtung Geodateninfrastruktur basiert. Es verlangt ein starkes Umdenken in der vernetzten Lösungsfindung und der dabei notwendigen interdisziplinären Harmonisierung. Gewisse Probleme erkennt man erst bei der Formulierung des konzeptuellen Modelles, wo Widersprüche in Systematik oder Terminologie überhaupt erst entdeckt werden.

Als Erfahrung am Meisten überrascht hat mich die Schwierigkeit, Erneuerung, operative Vereinfachung und dazu notwendige Veränderung und das nötige Umdenken überzeugend zu vertreten und den langfristigen Nutzen plausibel zu veranschaulichen. Hinzu kommt die Schwierigkeit, auch beim Lösen vieler z.T. komplexer Teilprobleme deren Einfluß auf die Gesamtlösung nicht zu übersehen.

Das langwierige Verharren an dieser Arbeit verdanke ich sicherlich meiner persönliche Freude an Geometrie und deren Anwendung für Geoinformation in Kombination mit den notwendigen Grundlagedisziplinen. Diese Arbeit ist in meiner Freizeit und ohne finanzielle Unterstützung Dritter realisiert worden.

Viele zündende Ideen entsprangen auch in den Ambiente meiner Stamm-Cafés und dem dabei entstandenen Humor. Auch mein international gewachsener Freundeskreis hat mir viel Kraft gegeben sowie das persönliche Umfeld, das in meinen doch sehr unterschiedlichen geografischen Stationen gewachsen ist.

CH-3097 Liebefeld, März 2007



Stefan A. Voser

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b> .....	<b>I</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>III</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>A EINLEITUNG</b> .....	<b>3</b>
1 GEOFORMATION UND GEOMATIK .....	5
1.1 Geoinformation, Geometrie und Koordinaten .....	5
1.1.1 Räumliche Information .....	6
1.1.2 Koordinatenmethode .....	6
1.1.3 Zusammenführung und gemeinsame Nutzung von Geoinformation .....	7
1.2 Neue Technologien und Wandel der Bedürfnisse an Geometrie von Geoinformation .....	8
1.2.1 Zusammenführen von Geoinformation .....	8
1.2.2 Relative und absolute Positionierung .....	8
1.3 Geomatik .....	8
1.3.1 Die Disziplinen .....	9
1.3.2 Interoperabilität und Geodateninfrastruktur .....	9
2 KONZEPTUELLE MODELLIERUNG .....	9
2.1 Modellierungskonzepte .....	9
2.2 Informationskonzept für die Geomatik .....	9
2.3 Formalisierung .....	10
2.4 Systematisierung und semantische Modellierung von Geoinformation .....	10
3 KOORDINATEN-REFERENZ-SYSTEME (KRS) .....	10
3.1 Das Prinzip „Georeferenz – Raumbezug durch Koordinaten“: Entstehung von Koordinaten-Referenz-Systemen 10	
3.2 Festlegung und Realisierung .....	11
3.2.1 Festlegung und Definition .....	11
3.2.2 Realisierung, Koordinaten-Referenz-Rahmen (KRR) und Messmethoden .....	11
3.2.3 Beziehungen zwischen Koordinaten-Referenz-Systemen und Koordinaten-Referenz-Rahmen .....	12
3.3 KRS und Georeferenzierung .....	12
3.4 Der Einfluss der Koordinaten-Referenz-Systeme auf Geoinformation .....	12
3.5 Informationsmanagement .....	12
4 AUSGANGSSITUATION, ZIELE UND MOTIVATION .....	13
5 AUFGABENSTELLUNG UND ABGRENZUNG .....	14
<b>B GEOMETRIE, KOORDINATEN UND MABVERHÄLTNISSE FÜR GEOFORMATION</b> .....	<b>15</b>
6 GEOMETRIE .....	17
6.1 Entwicklung der Geometrie .....	17
6.2 Doktrinen der Geometrie .....	18
6.3 Koordinaten, Koordinatensysteme und Koordinatenräume .....	19
6.4 Koordinatenmethode .....	20
6.5 Bedeutung von Geometrie und Koordinaten für Geoinformation .....	20
7 KOORDINATENSYSTEME UND KOORDINATEN .....	21
7.1 Koordinatenraum, Referenzmodell und geometrische Doktrin .....	21
7.2 Das Koordinatensystem .....	22
7.2.1 Das Koordinatensystemmodell .....	22

7.2.2	Typisierung von Koordinaten .....	23
7.2.3	Weitere Aspekte von Koordinatensystemen.....	25
8	<b>KOORDINATEN UND MAßVERHÄLTNISSE</b> .....	26
8.1	<i>Metrik</i> .....	26
8.1.1	Metrik auf Kurven und Flächen.....	26
8.1.2	Stetige metrische Räume .....	27
8.1.3	Diskrete metrische Räume .....	28
8.2	<i>Maßeinheiten</i> .....	28
9	<b>KOORDINATENRÄUME UND REFERENZMODELLE FÜR GEOINFORMATION</b> .....	29
9.1	<i>Raumbezug: Georeferenz und Geokode</i> .....	29
9.1.1	Georeferenz.....	29
9.1.2	Geokode .....	29
9.2	<i>Georeferenz und Koordinaten-Referenz-System</i> .....	30
9.3	<i>Auswirkung und Nutzen der Koordinatenmethode auf Geoinformation</i> .....	31
<b>C</b>	<b>RÄUMLICHES DATUM, FIGUR DER ERDE, ERD- UND LANDSCHAFTSMODELLE</b> .....	<b>33</b>
10	<b>RÄUMLICHE (GEOGRAFISCHE) ANWENDUNG VON KOORDINATEN</b> .....	35
10.1	<i>Geometrie und Koordinatenräume für räumliche Fragestellungen</i> .....	35
10.2	<i>3D-Geoinformation und 3D-Koordinatenräume</i> .....	35
10.3	<i>Räumliches Datum</i> .....	36
10.3.1	Räumliche Referenzmodelle .....	36
10.3.2	Lagerung und Koordinaten-Referenz-Rahmen (KRR).....	37
11	<b>FIGUR DER ERDE, GEODÄSIE UND GEODÄTISCHE REFERENZSYSTEME</b> .....	37
11.1	<i>Geodäsie</i> .....	37
11.2	<i>Figur der Erde und Erdmodelle</i> .....	38
12	<b>GEODÄTISCHE REFERENZSYSTEME</b> .....	38
12.1	<i>Mathematische Erdmodelle</i> .....	39
12.2	<i>Physikalische Erdmodelle</i> .....	40
12.2.1	Geoid .....	40
12.3	<i>Höhensysteme und Höhen-Referenz-Systeme</i> .....	41
12.4	<i>Die Lagerung von geodätischen Referenzsystemen: das geodätische Datum</i> .....	42
12.5	<i>Geodätische Hybridität und hybride Referenzsysteme</i> .....	43
12.6	<i>Geodätische Referenzrahmen</i> .....	43
13	<b>RELIEF UND TOPOGRAFISCHE LANDSCHAFTSMODELLE</b> .....	44
13.1	<i>Das Relief</i> .....	45
13.2	<i>Topografische Landschaftsmodelle</i> .....	45
14	<b>WEITERE REFERENZSYSTEME</b> .....	46
<b>D</b>	<b>KARTENPROJEKTIONEN: GEODÄTISCHE ABBILDUNGEN UND GRADNETZENTWÜRFE</b> .....	<b>47</b>
15	<b>EINFÜHRUNG IN KARTENPROJEKTIONEN</b> .....	49
16	<b>CHARAKTERISIERUNG UND SYSTEMATISIERUNG VON KARTENPROJEKTIONEN</b> .....	50
16.1	<i>Geodätische Abbildungen und Gradnetzentwürfe</i> .....	51
16.1.1	Geodätische Abbildungen .....	51
16.1.2	Gradnetzentwürfe .....	51
16.2	<i>Extrinsik: die Abbildungsflächen</i> .....	52
16.2.1	Typ von Abbildungsflächen.....	53
16.2.2	Aspekt von Abbildungsflächen .....	53
16.2.3	Koinzidenz von Abbildungsflächen.....	54
16.3	<i>Echte Abbildungen, Pseudoabbildungen und weitere Abbildungscharakteristika</i> .....	54
16.4	<i>Intrinsik: die Abbildungs- oder Verzerrungseigenschaften</i> .....	55
16.5	<i>Kartennetz und Kartengitter</i> .....	56

16.6	<i>Spezielle Probleme bei Abbildungen vom Ellipsoid</i> .....	56
17	MODELLIERUNG VON KARTENPROJEKTIONEN .....	57
17.1	<i>Die einzelnen Abbildungsschritte vom Erdmodell in die Ebene</i> .....	57
17.2	<i>Gruppierung und Systematisierung von Kartenprojektionsparametern</i> .....	58
17.3	<i>Das Ausgangserdmodell</i> .....	58
17.4	<i>Die Modellelemente der Abbildungsmethode</i> .....	59
17.4.1	Abbildungspol, natürliches geometrisches Zentrum und Symmetrien .....	60
17.4.2	Der extrinsische Einfluss.....	61
17.4.2.1	Kegelabbildungen.....	62
17.4.2.2	Zylinderabbildungen.....	63
17.4.2.3	Azimutalabbildungen .....	65
17.5	<i>Das Projektionskoordinatensystem</i> .....	66
17.5.1	Der Ankerpunkt des Projektionskoordinatensystems .....	66
17.5.2	Das abbildungsinterne Koordinatensystem .....	66
17.5.3	Das anwendungsspezifische Koordinatensystem des Ziel-KRS: das Projektionskoordinatensystem.....	67
17.6	<i>Überblick über die Projektionsparameter(sätze)</i> .....	68
17.7	<i>Projektionen, Zonen- und Streifensysteme</i> .....	69
17.8	<i>Die geografische Ausdehnung und Gebietsabdeckung</i> .....	70
17.9	<i>Zur Wahl und Parametrisierung einer Kartenprojektion</i> .....	70
<b>E</b>	<b>BEZIEHUNGEN UND ÜBERGÄNGE ZWISCHEN KOORDINATEN-REFERENZ-SYSTEMEN</b> .....	<b>73</b>
18	GEOREFERENZ UND GEOREFERENZIERUNG .....	75
19	HOMOGENISIERUNG DER GEOREFERENZ .....	75
19.1	<i>Zusammenführen von Geoinformation mittels Beziehungsmodellen zwischen KRS</i> .....	75
19.2	<i>Typische Aufgaben der Georeferenzierung</i> .....	76
19.3	<i>KRS-Übergänge, Koordinatenüberführungen und -operationen</i> .....	76
20	KRS-ÜBERGÄNGE .....	77
20.1	<i>Die räumliche Ausdehnung</i> .....	77
20.2	<i>Die räumliche Dimension</i> .....	78
20.3	<i>Geometrische Eigenschaften</i> .....	78
21	KONVERSIONEN .....	78
21.1	<i>Allgemeine Hinweise</i> .....	78
21.2	<i>Betrachtung zu KRS-Übergängen mit Kartenprojektionen und Koordinatenoperationen</i> .....	79
21.2.1	Spezielle Koordinatenoperation: Informationsdichteänderung.....	80
21.2.2	Spezielle Koordinatenoperation: Gebietsrestriktion .....	80
22	TRANSFORMATIONEN .....	80
22.1	<i>2D-Transformationen</i> .....	81
22.1.1	2D-geradentreue und nicht-geradentreue Transformationen .....	81
22.1.2	2D-Transformationen ohne Geradentreue.....	82
22.1.3	Zur Anwendung von 2D-Transformationen .....	82
22.2	<i>3D-Transformationen</i> .....	83
22.2.1	Geradentreue 3D-Transformationen .....	83
22.2.2	3D-Transformationen ohne Geradentreue.....	84
22.3	<i>Geodätische Datumstransformationen</i> .....	84
22.3.1	Geozentrisches und horizontales Datum.....	84
22.3.2	Spezielle 3D-Betrachtung: die 3. Dimension beim Ellipsoidübergang .....	85
22.3.3	Zu vertikalem Datum/Höhentransformationen .....	85
23	WEITERE BETRACHTUNGEN.....	86

<b>F</b>	<b>GEOMATIK UND KONZEPTUELLE MODELLIERUNG .....</b>	<b>87</b>
24	GEOMATIK .....	89
25	KOMMUNIKATIONSNIVEAUS IN DER GEOMATIK .....	90
25.1	<i>Die Kommunikationsniveaus</i> .....	90
25.2	<i>Die Abstraktionsniveaus: Konzepte und Modelle</i> .....	91
26	INTEROPERABILITÄT UND INFRASTRUKTUR IN DER GEOMATIK.....	92
26.1	<i>Interoperabilität in der Geomatik</i> .....	92
26.1.1	Der Weg des Open Geospatial Consortium .....	92
26.1.2	Der Weg von ISO.....	93
26.1.3	Notwendigkeiten zum Erreichen von Interoperabilität .....	93
26.1.4	Interoperabilität und Koordinaten-Referenz-Systeme .....	94
26.2	<i>Infrastruktur in der Geomatik</i> .....	95
26.2.1	Europäische und internationale Initiativen.....	95
26.2.2	Infrastruktur und Koordinaten-Referenz-Systeme .....	96
27	KONZEPTION UND KONZEPTUELLE MODELLIERUNG .....	96
27.1	<i>Konzeption</i> .....	96
27.2	<i>Konzeptuelles Modell</i> .....	96
27.3	<i>Formalisierungsmethodik</i> .....	97
27.3.1	Formalisierung und konzeptuelle Modellierung .....	97
27.3.2	Formalisierung mit UML .....	98
28	KOMMUNIKATION UND DOKUMENTATION VON GEOINFORMATION.....	98
<b>G</b>	<b>DAS INFORMATIONSKONZEPT KOORDINATEN-REFERENZ-SYSTEM .....</b>	<b>101</b>
29	KONZEPTUELLE MODELLIERUNG FÜR KOORDINATEN-REFERENZ-SYSTEME.....	103
29.1	<i>Allgemeine Anforderungen</i> .....	103
29.2	<i>Inhalte</i> .....	103
29.3	<i>Rahmenbedingungen und Annahmen</i> .....	104
29.4	<i>KRS und die Zeit</i> .....	104
30	ANWENDERSICHT KRS-INFORMATIONSMANAGEMENT.....	105
30.1	<i>Konzeption und konzeptuelles Modell</i> .....	105
30.2	<i>Die Einordnung des konzeptuellen Modells</i> .....	105
30.3	<i>Allgemeines Koordinaten-Referenz-System-Management</i> .....	106
30.4	<i>Konzeptuell-funktionales KRS-Management</i> .....	106
30.4.1	Konzeptueller Systembeschrieb durch Use Cases .....	106
30.4.2	Technisches KRS-Management-System.....	107
30.4.3	Die Nutzung von KRS-Information .....	109
30.4.4	Die Aufbereitung und Integration von KRS-Information .....	110
30.4.5	Die Verwaltung von KRS-Information.....	110
30.4.6	Zum Informationsbedarf an das KRS-Modell .....	111
31	DAS HAUPTKONZEPT KOORDINATEN-REFERENZ-MODELL.....	113
32	DAS KONZEPT KRS-OBJEKT .....	115
32.1	<i>Die Elemente zur Beschreibung von KRS-Objekten</i> .....	115
32.2	<i>Die Identifikation von KRS</i> .....	115
32.3	<i>Typisierung von KRS</i> .....	116
32.3.1	Dimension und Kompaktheit von KRS .....	116
32.3.2	Geometrisches Referenzmodell und Datumstyp.....	117
32.4	<i>Die räumlichen Komponenten von KRS</i> .....	117
32.4.1	Koordinatensysteme .....	118
32.4.1.1	Dimension von Koordinatensystemen.....	118
32.4.1.2	Koordinatenachsen .....	118
32.4.1.3	Typisierung von Koordinatensystemen .....	119



32.4.1.4	Modellierungsbeispiele con Koordinatensystemen .....	121
32.4.1.5	Maßeinheiten .....	122
32.4.1.6	Metrik .....	124
32.4.1.7	Stetigkeit .....	125
32.4.2	Das Datum .....	125
32.4.2.1	Die Typisierung und Komponenten von Datums .....	126
32.4.2.2	Die kosmisch-raumbezogenen Datums .....	127
32.4.2.3	Die sensorial-raumbezogenen Datums .....	129
32.4.2.4	Epoche und Gültigkeit von Datums .....	130
32.4.2.5	Metadaten von Datums .....	131
32.5	<i>Metadaten von Koordinaten-Referenz-Systemen</i> .....	131
32.6	<i>Beispiele von Modellierten von Koordinaten-Referenz-Systemen</i> .....	131
33	<b>DAS KONZEPT KRS-BEZIEHUNG</b> .....	133
33.1	<i>Das Konzept KRS-Übergang</i> .....	133
33.1.1	Methoden und Methodensequenz .....	133
33.1.2	Parametersätze einzelner Methoden .....	134
33.1.3	Gültigkeit und Version von KRS-Beziehungen .....	135
33.1.4	Metadaten von KRS-Beziehungen .....	135
33.2	<i>Konversionen</i> .....	135
33.3	<i>Transformationen</i> .....	136
33.4	<i>Kartenprojektionen</i> .....	139
33.4.1	Kartenprojektionsparameter .....	140
33.4.1.1	Das Referenz-Erdmodell .....	141
33.4.1.2	Die extrinsischen Parameter .....	141
33.4.1.3	Das Projektionskoordinatensystem .....	143
33.4.1.4	Modellierungsbeispiel einer Kartenprojektion .....	143
34	<b>BETRACHTUNGEN ÜBER DAS VORGESTELLTE KONZEPTUELLE MODELL</b> .....	144
<b>H</b>	<b>SCHLUSSBETRACHTUNG</b> .....	<b>147</b>
35	<b>ZUR ENTSTEHUNG DES VORGESTELLTEN KONZEPTUELLEN MODELLES</b> .....	149
36	<b>DER NUTZEN DES KONZEPTUELLEN MODELLES</b> .....	149
37	<b>DAS WEITERE UMFELD KOORDINATEN-REFERENZ-SYSTEME</b> .....	150
37.1	<i>Internationale Aspekte Koordinaten-Referenz-Systeme</i> .....	150
37.1.1	Technische Standardisierung und Harmonisierung .....	151
37.1.1.1	Die internationale Standardisierung bei ISO und Open Geospatial Consortium (OGC) .....	151
37.1.1.2	Die nationale Standardisierung .....	151
37.1.1.3	De-Facto-Standards (Quasistandards) .....	152
37.1.2	Internationale Gremien .....	153
37.1.2.1	Internationale Fachgremien und Institutionen .....	153
37.1.2.2	Staatliche, interstaatliche oder verwaltungsrelevante Institutionen .....	154
37.1.3	Weitere Informationsquellen und Entwicklungen .....	155
38	<b>AUSBLICK</b> .....	155
38.1	<i>Ein KRS für alles?</i> .....	155
38.2	<i>Koordinaten nur 3D?</i> .....	156
38.3	<i>Weiterführende Untersuchungsgegenstände</i> .....	156
38.4	<i>Koordinaten, und dann?</i> .....	156

<b>I</b>	<b>REFERENZEN</b> .....	<b>I-1</b>
39	SCHRIFTENVERZEICHNIS .....	I-3
40	WEB-SITES (URLS).....	I-8
41	AKRONYME UND ABKÜRZUNGEN .....	I-8
42	VERWENDETE SOFTWARE ODER MANUALS.....	I-10
43	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	I-10
44	TABELLENVERZEICHNIS .....	I-12
<b>J</b>	<b>APPENDIX</b> .....	<b>J-1</b>
45	ZUR DEFINITION VON GEOMATIK .....	J-3
46	DIE EUKLIDISCHEN AXIOME UND POSTULATE.....	J-5
47	ZUR EVOLUTION VON KOORDINATEN.....	J-7
47.1	<i>Allgemeines</i> .....	J-7
47.2	<i>Hellenistische Zeit, Spätantike, Rom und Byzanz</i> .....	J-7
47.3	<i>Koordinatenmethode, algebraische und analytische Geometrie</i> .....	J-8
48	MAßEINHEITEN UND MAßSYSTEME.....	J-9
48.1	<i>Längenmaße</i> .....	J-9
48.2	<i>Flächenmaße</i> .....	J-9
48.3	<i>Volumenmaße</i> .....	J-10
48.4	<i>Winkelmaße</i> .....	J-10
48.5	<i>Raumwinkel</i> .....	J-11
48.6	<i>Zeiteinheiten</i> .....	J-11
49	ERGÄNZUNGEN ZU „GEODÄTISCHE REFERENZSYSTEME“ .....	J-12
49.1	<i>Mathematische Erdmodelle</i> .....	J-12
49.2	<i>Schwere und Schwerefeld</i> .....	J-12
49.2.1	Schwerefeld und Schwerepotenzial .....	J-12
49.2.2	Niveauellipsoid und Normalschwere.....	J-13
49.2.3	Gravitationspotenzial $V$ .....	J-14
49.2.4	Zentrifugalpotenzial $U_Z$ .....	J-14
49.2.5	Die Lotabweichung .....	J-15
49.2.6	Das Geoid in Geomatiksoftware .....	J-15
49.3	<i>Höhensysteme und Höhen-Referenz-Systeme</i> .....	J-15
49.3.1	Nivellements Höhe oder geometrische Höhe.....	J-16
49.3.2	Geopotenzielle Kote $C$ .....	J-16
49.3.3	Die dynamische Höhe $H^D$ .....	J-17
49.3.4	Normalhöhe $H^N$ .....	J-17
49.3.5	Orthometrische Höhe $H$ .....	J-17
49.3.6	Helmert'sche orthometrische Höhe.....	J-18
49.3.7	Ellipsoidische Höhe.....	J-18
49.3.8	Gebrauchshöhen.....	J-18
50	KOORDINATENSYSTEME UND ZWISCHENSCHRITTE BEI KARTENPROJEKTIONEN VOM MATHEMATISCHEN ERDMODELL IN DIE EBENE .....	J-19
51	ZU KARTENPROJEKTIONSPARAMETER: ABKÜRZUNGEN .....	J-25
52	ERGÄNZUNG ZU TRANSFORMATIONEN .....	J-26
52.1	<i>2D-Transformationen</i> .....	J-26
52.2	<i>3D-Transformationen</i> .....	J-27
52.2.1	Geradentreue Transformationen.....	J-27
52.2.2	3-Parameter-3D-Transformation.....	J-28
52.2.3	Nicht-Geradentreue Transformationen .....	J-28

52.2.3.1	Standard Molodensky .....	J-28
52.2.3.2	Abridged Molodensky .....	J-28
52.2.4	7-Parameter-3D-Transformation .....	J-29
52.2.5	Ellipsoidische Ähnlichkeitstransformation nach [Ihde, Lindstrot 1995] .....	J-29
53	MODELLIERUNG VON GEODATEN .....	J-30
53.1	<i>Modellierung von Geodaten</i> .....	J-30
53.2	<i>Semantische Wertschöpfung von Geodaten</i> .....	J-31
54	UML - UNIFIED MODELING LANGUAGE .....	J-32
54.1	<i>Sichten und Diagramme</i> .....	J-32
54.2	<i>UML-Nutzbarmachung für das konzeptuelle Modell</i> .....	J-34
54.3	<i>Aufbau der Klassentabellen</i> .....	J-34
54.4	<i>Aufbau der Attributtabellen</i> .....	J-34
54.5	<i>Spezielle Attributkategorien</i> .....	J-35
54.6	<i>Spezielle Abkürzungen im konzeptuellen Modell</i> .....	J-35
55	ZUM KONZEPTUELLEN MODELL KOORDINATEN-REFERENZ-SYSTEM .....	J-36
55.1	<i>Die Identifikation von KRS</i> .....	J-36
55.2	<i>Typisierung von KRS</i> .....	J-36
55.3	<i>Die räumlichen Komponenten von KRS</i> .....	J-37
55.3.1	Koordinatensysteme .....	J-37
55.3.1.1	Koordinatenachsen .....	J-37
55.3.1.2	Typisierung von Koordinatensystemen .....	J-38
55.3.1.3	Maßeinheiten .....	J-40
55.3.1.4	Metrik .....	J-41
55.3.2	Das Datum .....	J-41
55.3.3	Die kosmisch-raumbezogenen Datums .....	J-42
55.3.3.1	Das astronomische Datum .....	J-42
55.3.3.2	Das geodätische Datum .....	J-42
55.3.3.3	Engineering/lokales Datum .....	J-44
55.3.4	Die sensorial-raumbezogenen Datums .....	J-44
55.3.4.1	Das bürosensoriale Datum (auch Kartenblatt-Datum) .....	J-44
55.3.4.2	Epoche und Gültigkeit von Datums .....	J-45
55.3.4.3	Metadaten von Datums .....	J-45
55.4	<i>Metadaten von Koordinaten-Referenz-Systemen</i> .....	J-45
55.5	<i>Das Konzept KRS-Übergang</i> .....	J-46
55.5.1	Methoden .....	J-46
55.5.2	Parametersätze .....	J-47
55.6	<i>Konversionen</i> .....	J-47
55.7	<i>Transformationen</i> .....	J-48
55.8	<i>Kartenprojektionen</i> .....	J-50
55.8.1	Die extrinsischen Parameter .....	J-51
55.8.2	Das Projektionskoordinatensystem .....	J-51
56	MAPREF - THE INTERNET COLLECTION OF MAP PROJECTIONS AND REFERENCE SYSTEMS FOR EUROPE .....	J-52
56.1	<i>The MapRef Web Pages</i> .....	J-52
56.2	<i>Some Meta-Information about the MapRef Pages</i> .....	J-52
57	LEBENS LAUF .....	J-53