

Seminararbeit

Bericht über die Vermessungsarbeiten in Musawwarat es Sufra, Sudan

– Meßkampagne Februar, März 1998 –

vorgelegt am Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
der Technischen Universität Berlin
Fachgebiet Astronomische und Physikalische Geodäsie
Prof. Dr.-Ing. Dieter Lelgemann

Jörn Hatzky
Matrikelnummer 153699

Inhaltsverzeichnis

Gliederung		Seite
1.	Übersichtskarte - Der Sudan	1
2.	Das Projekt	2
3.	Die Region	3
3.1	Übersichtskarte - Der Nilbogen nördlich von Khartoum	3
3.2	Kurzer Einblick in Geschichte und Archäologie	4
3.2.1	Musawwarat es Sufra	4
3.2.2	Naqa	7
3.2.3	Meroe	9
4.	Ablauf der geodätischen Messungen	10
4.1	Anlage eines übergeordneten Festpunktfeldes	10
4.2	Tachymetrische Einmessung der archäologischen Fundstätten	11
4.3	Topographische Geländeaufnahme	12
4.4	Höhenübertragung von Shendi nach Musawwarat	13
4.5	Geomagnetische und Geoelektrische Sondagen, Archäologische Schnitte	14
5.	Auswertung der geodätischen Messungen	15
5.1	Station Zentrum	15
5.2	Referenzkoordinaten aus der Basislinienberechnung für die Stationen im Tal von Musawwarat es Sufra und die Außenstationen Meroe, Naqa, Shendi	17
5.2.1	Im Geographischen Koordinatensystem	17
5.2.2	Im UTM-Koordinatensystem (mit Geoidundulationen)	18
	Network Map 1: Tal von Musawwarat	19
	Network Map 2: Ausschnitt des zentralen Talbereiches	20
	Network Map 3: Außenstationen	21
5.2.3	Überprüfung der GPS-Streckenmessung mit Tachymeter	22
6.	Transformation der UTM-Koordinaten ins System der Großen Anlage	23
7.	Anfertigung des Kartenmaterials	23
8.	Anhang	24
8.1	Berechnungsprotokoll für die Basislinie Shendi - Musawwarat	24
8.2	Quellcode des Programmes „trafo1.c“	26
8.3	Quellcode des Programmes „trafo2.c“	29
9.	Abbildungsverzeichnis	32
10.	Literatur	33

1. Übersichtskarte - Der Sudan



Abb. 1

Sudan, Nordostafrika

2. Das Projekt

Die Vermessungsarbeiten in Musawwarat es Sufra (Sudan) wurden im Rahmen einer archäologischen Grabungskampagne der Humboldt Universität zu Berlin durchgeführt. Leiter der Ausgrabungen war Herr Prof. Dr. Steffen Wenig vom Seminar für Sudanarchäologie und Ägyptologie. Die Arbeiten vor Ort wurden von Herrn Dr. Pawel Wolf koordiniert, welcher dem gleichen Institut angehört.

Die archäologische Kampagne dauerte von Anfang Januar bis Ende März 1998. Die geodätischen Messungen wurden zwischen dem 3. Februar und dem 14. März 1998 ausgeführt, wobei ich die erste und letzte Woche allein gearbeitet habe und die restlichen vier Wochen zusammen mit Herrn Dipl.-Ing. (FH) Horst Scholz, welcher am Geodätischen Institut der Technischen Universität Berlin beschäftigt ist.

Hinsichtlich des Projektes bestand ein Kooperationsvertrag zwischen den beiden beteiligten Universitäten. Für die Auswertung der Meßdaten in Berlin und die Erstellung des Kartenmaterials wurde zwischen Herrn Prof. Wenig und mir ein Werkvertrag geschlossen.



Abb. 2

Schild am Grabungshaus in Musawwarat es Sufra

3. Die Region

3.1 Übersichtskarte - Der Nilbogen nördlich von Khartoum

Musawwarat es Sufra liegt 130 km nordöstlich der Hauptstadt Khartoum in der Wüste Butana. Der Ausgrabungsort befindet sich auf der östlichen Nilseite oberhalb des sechsten Kataraktes, 30 km von der Provinzhauptstadt Shendi entfernt.

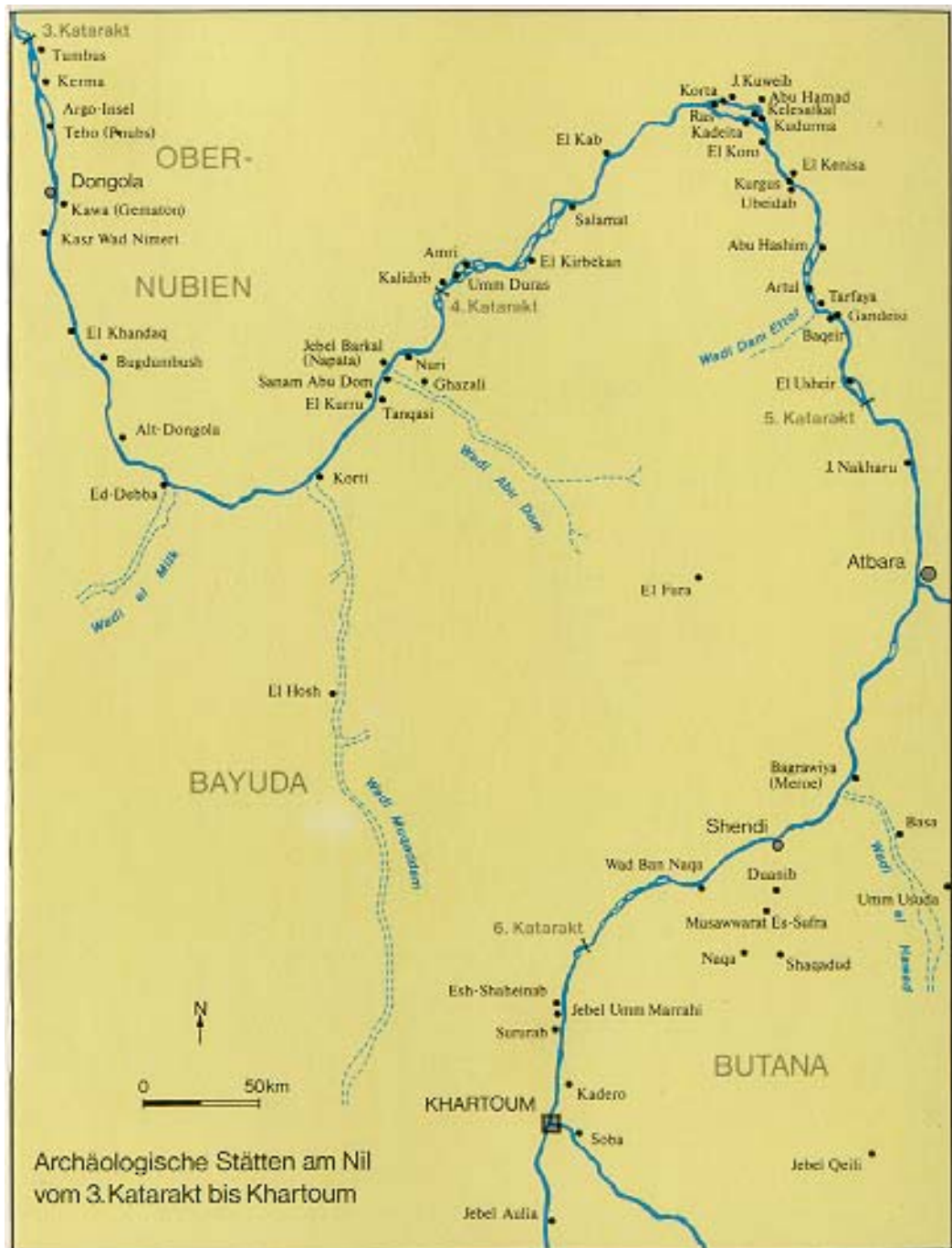


Abb. 3

Der Nilbogen nördlich des 6. Kataraktes

3.2 Kurzer Einblick in Geschichte und Archäologie

3.2.1 Musawwarat es Sufra

Um einen kleinen Einblick in die Geschichte von Musawwarat zu geben, an dieser Stelle ein Auszug aus dem Kultur-Reiseführer von Bernhard Streck:

„Musawwarat es Sufra, (‘gelbe Bilder’), das schon von Lepsius und Caillaud besucht wurde, ist berühmt für sein riesiges Gewirr monumentaler Steingebäude, die ‘Große Anlage’, die weder in Nubien noch in Ägypten eine Parallele hat (Abb. 4-6, S. 5). Im Kern dieser Anlage steht ein Tempel, den man ins 1. nachchristliche Jh. datiert. Nach dem elefantengestaltigen Mauerende, das rekonstruiert wurde, und vielen anderen Darstellungen zu urteilen, scheint der Elefant hier eine große Rolle gespielt zu haben. Möglicherweise waren die seltsamen Rampen der Anlage für lebende Exemplare gedacht, vielleicht als Trainingszentrum für zu exportierende Kriegselefanten, wie Shinnie erwägt? Die zahlreichen Darstellungen des Löwengotts Apedemak weisen aber auch auf eine religiöse Nutzung der Anlage hin, vielleicht sogar als Pilgerzentrum. Neben der ‘Zentralen Anlage’ sind bis jetzt drei kleine Tempel bekannt, ein kleiner Hof mit säkularen Gebäuden und zwei künstliche Wasserreservoirs (hafir), von denen das große 300 m Durchmesser und 6 m Tiefe aufweist. Der Tempel des Löwengotts Apedemak, auf 250-200 v.u.Z. datiert, wurde von der Ostberliner Expedition unter Hintze, die die Ausgrabungen seit 1960 vornimmt, rekonstruiert (Abb. 7, 8, S. 6). Die sehr naturalistischen Reliefdarstellungen zeigen den Hauptgott mit Pfeil und Bogen, Löwen an der Leine führend, andere Götter wie Arensnuphis, Horus und Sebiameker, den König Arnekhmani (235-218 v.u.Z.) und seinen Sohn Arka, Gefolge, Gefangene, Elefanten und Kühe. Einige jüngere Gräber zeugen von christlichen Bewohnern in der Stadt, unter denen anscheinend auch einer der Tempel -wohl als Kirche- restauriert wurde.

Der wiederaufgebaute Löwentempel von Musawwarat vermittelt ein anschauliches Bild eines typisch meroitischen Gotteshauses, das sich im Vergleich zu den riesigen Königspalästen von Meroe oder Wad Ben Naqa bescheiden ausnimmt. Es besteht in der Regel aus einer länglichen Halle, in die man durch ein Pylontor tritt. In verkleinerter Ausfertigung erscheint dieses Muster als Grabkapelle an den Pyramiden [von Meroe, d. Verf.]¹“

¹ [1] B. Streck, S. 91 ff.



Abb. 4 Hof 106, Große Anlage



Abb. 5 Hof 102, Große Anlage



Abb. 6 Zentraltempel, Große Anlage



Abb. 7

Löwentempel, Musawwarat



Abb. 8

Nordseite, Löwentempel

3.2.2 Naqa

Eine weitere Grabungsstätte in der Nähe ist Naqa, welches 20 km südwestlich von Musawwarat liegt. Dort werden seit mehreren Jahren Ausgrabungen vom Ägyptischen Museum zu Berlin durchgeführt. Hier stehen die „*die am besten erhaltenen Gebäude der meroitischen Zeit*“², u. a. der Amontempel mit seiner Allee aus Widdersphinxen (Abb. 9), der Löwentempel (Abb. 10, 11) sowie der Römische Kiosk (Abb. 12, S. 8).



Abb. 9

Amontempel



Abb. 10

Löwentempel, Naqa



Abb. 11

Nordseite, Löwentempel



Abb. 12

Römischer Kiosk

² [1] B. Streck, S. 93 f.

3.2.3 Meroe

Die Geschichte Kuschs wird nach A. Ermann in eine napatanische (806 - 295 v.Chr.) und eine meroitische Phase (295 v.Chr. - 320 n.Chr.) unterteilt. Meroe (Bagrawiya), 70 km nordöstlich von Musawwarat gelegen, war während der zweiten Epoche die Hauptstadt des Reiches von Kusch ³. Hier findet sich neben weiträumigen Tempelanlagen eine äußerst beeindruckende Grabstätte:

„Die drei Bezirke der Nekropole stellen mit ihren 40 Bauwerken die größte bekannte Pyramidenhäufung dar. Die Südgruppe ist die älteste, hier liegen vornehme Familien aus Piankhis Tagen neben drei Königen und sechs Höflingen aus späterer Zeit. Der Nordfriedhof (Abb. 13, 14) dagegen war in ganz Kusch der exklusivste: Außer sechsen gehören alle 44 Gräber Königen oder Kronprinzen; alle niederen Ränge mußten sich auf dem Westfriedhof begraben lassen, draußen in der Ebene, wo kein König liegt ⁴.“



Abb. 13 Pyramiden, Nordfriedhof



Abb. 14 Pyramiden, Nordfriedhof

³ [1] B. Streck, S. 37 ff.

⁴ [1] B. Streck, S. 89

In der Nekropole liegen alle 39 kuschitischen Königinnen und Könige der meroitischen Zeit begraben. Die Herrscherinnen und Herrscher der napatanschen Zeit wurden hingegen in Nuri und El Kurru bestattet, 270 km nordwestlich von Meroe in der Nähe des Jebel Barkal (Napata) (vgl. Karte, S. 3).

4. Ablauf der geodätischen Messungen

4.1 Anlage eines übergeordneten Festpunktfeldes

Als erstes haben wir auf dem Dach des Grabungshauses einen fest verankerten Fundamentalpunkt geschaffen (Abb. 15), durch welchen stets die gleiche Lage und Höhe der GPS-Antenne gewährleistet wurde.



Abb. 15 GPS-Fundamentalpunkt

Dieser Punkt stellte für alle folgenden Messungen die Referenzstation dar. Anschließend wurden in Nähe aller archäologischen Fundstätten jeweils zwei Basispunkte eingerichtet und auf diesen einstündige GPS-Sessions durchgeführt. Die Vermarkung der Festpunkte erfolgte mit Eisenrohren, zur Wiederauffindung wurden Einmeßskizzen angefertigt.

Im Verfahren des Differentiellen GPS ließen sich mit Hilfe von Auswertesoftware der Firma Trimble (Programmpaket „GPSurvey“⁵) Raumstrecken und Höhenunterschiede zwischen Fundamentalpunkt und Basisstationen ermitteln (Basislinienauswertung⁶). Diese Berechnungen haben wir vor Ort auf einem Laptop durchgeführt. Die erzeugten ellipsoidischen, geographischen Koordinaten im World Geodetic System 1984 (kurz WGS 84) wurden in ebene, rechtwinklige Koordinaten des UTM-Systems (Universal Transverse Mercator Projection) überführt. Auf diese Weise erhielten für die folgenden tachymetrischen Aufnahmen einen übergeordneten metrischen Referenzrahmen.

Für die GPS-Messungen verwendeten wir zwei geodätische Empfänger vom Typ 4000 SE mit zwei geodätischen Zweifrequenzantennen (L1/L2) von der Firma Trimble (Abb. 15, S. 10 u. Abb. 17, S. 13). Am Ende eines Meßtages wurden die gesammelten Daten vom Receiver auf einen Laptop übertragen, wo sie gesichert und weiterverarbeitet werden konnten.

4.2 Tachymetrische Einmessung der archäologischen Fundstätten

Wir haben jeden größeren Fundbereich in einem lokalen Koordinatensystem eingemessen, wobei die Verbindung der beiden GPS-Basispunkte als x-Achse diente. Diese Koordinaten sind anschließend mit dem von mir geschriebenen Programm „trafo1.c“ (Quellcode 6.1, S. 26) in das übergeordnete UTM-System transformiert worden.

Von wichtigen archäologischen Fundstellen wie Tempelanlagen, Steinbrüchen, Gräbern, etc. wurden Handskizzen gefertigt.

Um Aufschlüsse über die Höhenunterschiede im Tal von Musawwarat zu bekommen, haben wir eine Profillinie quer durch das Tal gelegt und mit Hilfe des Tachymeters in regelmäßigen Abständen die Höhe des Geländes bestimmt. Auf gleiche Weise wurden Neigung und Gefälle der beiden künstlichen Wasserreservoirs (Kleiner und Großer Hafir) ermittelt.

Folgende Geräte wurden verwendet:

Ein Tachymeter vom Typ Sokkia SET5A für die Richtungs- und Streckenmessung sowie ein elektronisches Feldbuch vom Typ Sokkia SDR 33 als Registriereinheit (Abb. 16, S. 12). Desweiteren waren fünf Einfachprismen, ein Dreierprisma, eine Reflektorstab sowie fünf Holzstative im Einsatz (alles von der Firma Wild). Die Stative wurden mittels optischem Lot über den Meßpunkten zentriert und mit Hilfe von Dreifußschrauben horizontiert. Für die Reflektoren waren Aufsätze mit Zwangszentrierungseinrichtung vorhanden.

⁵ [3] WAVE Software (GPSurvey)

⁶ [2] M. Bauer, S. 220 f.

Die Meßwerte übertrugen wir vom SDR 33 auf einen Laptop, wo diese gesichert und weiterverarbeitet wurden. Als Software diente das Programm „Schnitt“ der Firma technet.



Abb. 16

Tachymetrische Einmessung des
Steinbruches am Jebel el Gafalla

4.3 Topographische Geländeaufnahme

Mit Hilfe von zwei GPS-Handempfängern (Garmin GPS 45 XL) versuchten wir, die Lage des Gebirgsumringes, welcher das Tal von Musawwarat umschließt, bestmöglich zu erfassen.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung haben wir aus folgenden Gründen zu +- 50 m abgeschätzt: Zum Ersten wurde hier nicht das Verfahren des Differentiellen GPS mit einem festem Referenzpunkt benutzt (vgl. 4.1), sondern das Verfahren der freien, absoluten Punktbestimmung. Zum Zweiten bieten die Handempfänger aufgrund ihrer Technik nur ein relativ beschränktes Genauigkeitspotential. So haben wir wichtige Stätten, wie z.B. Steinbrüche, nochmals tachymetrisch aufgenommen und zusätzlich von markanten Gebirgskonturen Höhenpunkte bestimmt.

Die generierten geographischen Koordinaten der GPS-Messungen wurden unter Nutzung von Software der Firma Garmin auf einen Laptop übertragen und ins UTM-System transformiert.

4.4 Höhenübertragung von Shendi nach Musawwarat

Da in dem Wüstengebiet um Musawwarat keine vermarkten Punkte mit amtlichen Höhenangaben existierten, stellte uns das Survey Department in Shendi einen Mauerbolzen an der Eingangsseite des örtlichen Gerichtsgebäudes zur Verfügung. Für diesen Punkt wurde uns eine Höhe von 364.370 m über dem mittleren Meeresspiegel (Mean Sea Level (MSL)) mitgeteilt*.

Um ausreichenden Empfang für die GPS-Antenne gewährleisten zu können, haben wir einen Punkt auf freiem Gelände einnivelliert und provisorisch vermarktet. Durch eine gleichzeitige Messung auf diesem Punkt und der Zentrumsstation in Musawwarat ließ sich sodann der Höhenunterschied zum Fundamentalpunkt bestimmen. Da eine GPS-Messung ellipsoidische Höhen liefert, der MSL-Wert sich hingegen auf den Meeresspiegel, also auf das Geoid, bezieht, wurden mit Hilfe des Programmes „GPSurvey“ Geoidundulationen für die Station Zentrum und alle Basispunkte berechnet (vgl. 5.1, S. 16 u. 5.2.2, S. 18). Mit diesen konnten die bei der Anlage des Festpunktfeldes ermittelten ellipsoidischen Höhen in orthometrische Höhen (MSL) umgerechnet werden. Die Höhen der tachymetrischen Gelände- und Gebäudeaufnahme wurden sodann in das MSL-System überführt.

Als Instrumente dienten ein Nivelliergerät vom Typ Wild NAK-0 sowie die beiden Trimble-Receiver mit den dazugehörigen Antennen.

* Leider ist uns über die Entstehung des sudanesischen Höhensystems nichts bekannt. Wir vermuten, daß sich die Angabe auf den mittleren Pegel des Roten Meeres bezieht.



Abb. 17

GPS-Messung auf dem Jebel es Sufra

4.5 Geomagnetische und Geoelektrische Sondagen, Archäologische Schnitte

Für die im Rahmen der Kampagne durchgeführten geoelektrischen und geomagnetischen Sondagen wurden rechteckige Messgebiete abgesteckt, mit Holzpflocken vermarktet und tachymetrisch aufgenommen. Ebenso wurden die Eckpunkte der neu angelegten archäologischen Schnitte (Abb. 18) erfaßt. Hierbei konnte das bereits vorhandene lokale Koordinatensystem der Großen Anlage genutzt werden.

Schließlich haben wir die Eckpunkte von Tempel 100, 200 und 300 sowie Gebäudekomplex 400 erneut eingemessen, um Aufschlüsse über die Orientierung der Tempellängsachsen zu erhalten. (Es wird vermutet, daß auch die Meroiter ihre Bauwerke nach bestimmten Gestirnen ausgerichtet haben.)



Abb. 18 Archäologisches Schnittsystem vor Tempel 300 (Große Anlage)

5. Auswertung der geodätischen Messungen

5.1 Station Zentrum (GPS-Fundamentalpunkt auf dem Dach des Grabungshauses)

Aus 26 verschiedenen Sessions wurde ein Mittelwert für die geographischen Koordinaten des Fundamentalpunktes bestimmt.

Als Quelle dienten die Message-Dateien (*.mes) der einzelnen Sessions, welche vom Trimble-Empfänger generiert wurden. Die Dateien enthielten u.a. die berechnete mittlere Position der Station (Mean Position) im WGS 84-Datum.

Nördliche Breite	Östliche Länge	Höhe ü. Ell. [m]	Meßdauer [h]
16° 24' 44.26962" N	33° 19' 48.60854" E	446.5	3.0
16° 24' 44.20340" N	33° 19' 48.49461" E	437.0	6.0
16° 24' 44.14009" N	33° 19' 48.50312" E	448.5	2.5
16° 24' 44.19960" N	33° 19' 48.42964" E	433.1	3.5
16° 24' 44.02419" N	33° 19' 48.53228" E	443.0	4.0
16° 24' 44.32998" N	33° 19' 48.46348" E	440.6	6.0
16° 24' 43.98128" N	33° 19' 48.49949" E	437.5	3.0
16° 24' 44.12913" N	33° 19' 48.59534" E	437.0	3.0
16° 24' 44.20708" N	33° 19' 48.66204" E	447.1	3.0
16° 24' 44.18886" N	33° 19' 48.39237" E	437.4	2.5
16° 24' 44.29935" N	33° 19' 48.49919" E	434.8	7.5
16° 24' 44.18942" N	33° 19' 48.66024" E	430.4	2.5
16° 24' 44.15584" N	33° 19' 48.52388" E	435.5	6.5
16° 24' 44.26646" N	33° 19' 48.58780" E	443.3	3.5
16° 24' 44.16887" N	33° 19' 48.55122" E	452.9	2.5
16° 24' 44.27363" N	33° 19' 48.55512" E	433.4	3.0
16° 24' 44.27620" N	33° 19' 48.60569" E	438.6	8.0
16° 24' 44.23332" N	33° 19' 48.23776" E	442.4	3.5
16° 24' 44.30010" N	33° 19' 48.38914" E	448.3	1.5
16° 24' 44.33851" N	33° 19' 48.75635" E	427.7	3.0
16° 24' 44.32211" N	33° 19' 48.58022" E	445.0	2.0
16° 24' 44.07157" N	33° 19' 48.61416" E	450.7	3.5
16° 24' 44.07517" N	33° 19' 48.68697" E	438.1	1.5
16° 24' 44.03090" N	33° 19' 48.50270" E	441.6	2.5
16° 24' 44.30188" N	33° 19' 48.59443" E	442.5	4.0
16° 24' 44.25786" N	33° 19' 48.58041" E	442.2	5.0

16° 24' 44.20132" N	33° 19' 48.54255" E	(440.6 m)	Σ 96.5 h
----------------------------	----------------------------	-----------	-----------------

Für die Station Zentrum habe ich die oben angegebenen Lagekoordinaten sowie die ellipsoidische Höhe (vgl. 5.2.1, S. 17) als Festwerte bei der Basislinien-Prozessierung mit GPSurvey benutzt. Die Station wurde als „fixed control“ deklariert, was der höchsten Punktqualität entspricht ⁷.

Die geographischen Koordinaten der Station Zentrum sind:

$B = 16^{\circ} 24' 44.20132''$	(Nördliche Breite)
$L = 33^{\circ} 19' 48.54255''$	(Östliche Länge)
$h = 435.716 \text{ m}$	(ellipsoidische Höhe)

Die ellipsoidische Höhe ist die Höhe des Punktes über dem Ellipsoid, welches dem Geodätischen Datum WGS 84 zugrunde liegt.

Die UTM- Koordinaten der Station Zentrum sind:

$X = 1814568.862 \text{ m}$	(nördlich des Äquators)
$Y = 535250.167 \text{ m}$	(östlich des Mittelmeridians)
$H = 432.862 \text{ m}$	(orthometrische Höhe)

Um negative Koordinaten zu vermeiden, bekommt der Rechtswert einen Zuschlag von 500 km. Angegeben ist der Abstand des Punktes vom Mittelmeridian, in diesem Fall der Meridian mit 33° Länge. Die dazugehörige UTM-Zone hat die Bezeichnung 36 Nord.

Die orthometrische Höhe ist die Höhe des Punktes über dem Geoid. Sie entspricht näherungsweise der Höhe über dem mittleren Meeresspiegel.

Ellipsoidische Höhe h und orthometrische Höhe H sind über die Geoidundulation N miteinander verknüpft: $h = H + N$.

⁷ [3] User's Guide for GPSurvey, S. 5-4

5.2 Referenzkoordinaten aus der Basislinienberechnung für die Stationen im Tal von Musawwarat es Sufra und die Außenstationen Meroe, Naqa, Shendi

5.2.1 Im Geographischen Koordinatensystem (Ellipsoid: WGS 84)

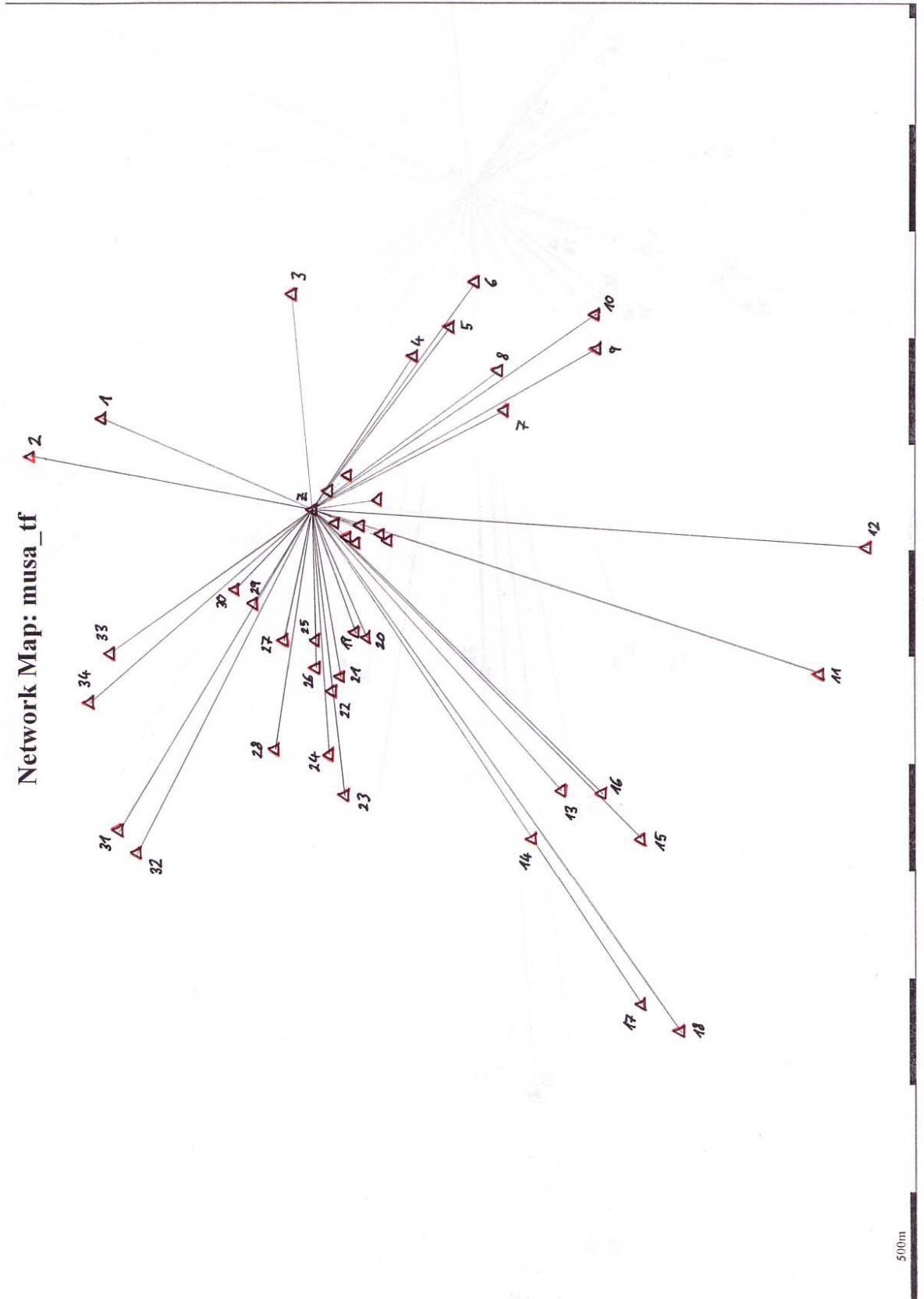
Stationsname	Nr.	Nördliche Breite [Grad, min, sec]	Östliche Länge [Grad, min, sec]	ell. Höhe [m]
Jebel el Maqur 1	13	16° 24' 06.6009004" N	33° 19' 04.0286765" E	425.683
Jebel el Maqur 2	14	16° 24' 10.9904945" N	33° 18' 56.5755533" E	428.352
Jebel el Maqur 3	15	16° 23' 54.5335826" N	33° 18' 56.5008319" E	423.203
Jebel el Maqur 4	16	16° 24' 00.4109344" N	33° 19' 03.6166815" E	424.130
Jebel es Sufra 1	3	16° 24' 47.3101835" N	33° 20' 22.6766469" E	478.499
Jebel es Sufra 2	4	16° 24' 29.0227057" N	33° 20' 12.8835727" E	474.095
Jebel Keleib 1	33	16° 25' 14.5860777" N	33° 19' 25.7663851" E	439.613
Jebel Keleib 2	34	16° 25' 17.6301470" N	33° 19' 18.0162389" E	441.740
Jebel Ma'afer 1	5	16° 24' 23.4520809" N	33° 20' 17.3956681" E	440.958
Jebel Ma'afer 2	6	16° 24' 19.6373364" N	33° 20' 24.5498473" E	437.572
Jebel Abu Qeiya 1	1	16° 25' 15.8397320" N	33° 20' 03.1679868" E	434.519
Jebel Abu Qeiya 2	2	16° 25' 26.6161514" N	33° 19' 57.1588138" E	436.731
Große Anlage A	25	16° 24' 43.6344040" N	33° 19' 27.7758938" E	429.418
Große Anlage C	27	16° 24' 43.6331893" N	33° 19' 23.3946519" E	429.565
Große Anlage O	26	16° 24' 48.5135604" N	33° 19' 27.7751168" E	430.189
Großer Hafir 1	39	16° 24' 37.0354032" N	33° 19' 45.9107534" E	436.461
Großer Hafir 2	40	16° 24' 34.3092777" N	33° 19' 50.0784912" E	437.808
Großer Hafir 3	41	16° 24' 38.8264289" N	33° 19' 54.0360066" E	439.347
Großer Hafir 4	42	16° 24' 41.7395875" N	33° 19' 51.4081939" E	439.082
Großer Hafir 5	43	16° 24' 40.7722532" N	33° 19' 46.2557170" E	437.280
Kleine Anlage 1	21	16° 24' 39.8848783" N	33° 19' 21.9566554" E	428.985
Kleine Anlage 2	22	16° 24' 41.1887735" N	33° 19' 19.7864994" E	429.625
Kleiner Hafir 1	29	16° 24' 53.0660711" N	33° 19' 33.5516056" E	432.371
Kleiner Hafir 2	30	16° 24' 55.7595671" N	33° 19' 35.8095988" E	432.870
Löwentempel 1	35	16° 24' 32.8232865" N	33° 19' 43.5530790" E	429.650
Löwentempel 2	36	16° 24' 33.9937919" N	33° 19' 44.5753589" E	430.317
Qoz Barmilo 1	17	16° 23' 54.4440794" N	33° 18' 30.5433683" E	431.861
Qoz Barmilo 2	18	16° 23' 48.7104627" N	33° 18' 26.2152431" E	425.418
Querprofil W	28	16° 24' 49.8377436" N	33° 19' 10.6476935" E	434.170
Steinbruch I J 1	31	16° 25' 13.3422129" N	33° 18' 57.8134917" E	455.325
Steinbruch I J 2	32	16° 25' 10.5970401" N	33° 18' 54.3733324" E	454.868
Steinbruch I K 1	23	16° 24' 39.3997622" N	33° 19' 03.3482498" E	434.682
Steinbruch I K 2	24	16° 24' 41.6538217" N	33° 19' 09.7716191" E	432.468
Jebel Qulba 1	11	16° 23' 27.6260765" N	33° 19' 22.5916615" E	425.896
Jebel Qulba 2	12	16° 23' 20.5503020" N	33° 19' 42.4863762" E	429.715
Tempel I D 1	19	16° 24' 37.7182695" N	33° 19' 28.8721912" E	428.801
Tempel I D 2	20	16° 24' 36.0378946" N	33° 19' 28.1199885" E	428.646
Tempel II A 1	37	16° 24' 37.7170266" N	33° 19' 43.1514694" E	430.369
Tempel II A 2	38	16° 24' 38.8903074" N	33° 19' 44.0022086" E	431.255
Tempel III A 1	7	16° 24' 15.2193329" N	33° 20' 04.3198232" E	432.295
Tempel III A 2	8	16° 24' 16.0856109" N	33° 20' 10.5624014" E	433.589
Gebäude III B 1	9	16° 24' 01.0778821" N	33° 20' 14.0182230" E	433.051
Gebäude III B 2	10	16° 24' 01.3572347" N	33° 20' 19.3635152" E	434.751
ZENTRUM	Z	16° 24' 44.2013200" N	33° 19' 48.5425500" E	435.716
Meroe Royal City		16° 56' 07.8944092" N	33° 42' 50.4054597" E	363.539
Naqa Vermpkt. 1514		16° 16' 07.8189175" N	33° 16' 31.2077691" E	418.429
Shendi Survey Dept.		16° 41' 37.0796920" N	33° 25' 49.9696187" E	367.061

5.2.2 Im UTM-Koordinatensystem (Ellipsoid: WGS 84, Geoidmodell: OSU 91A (global))

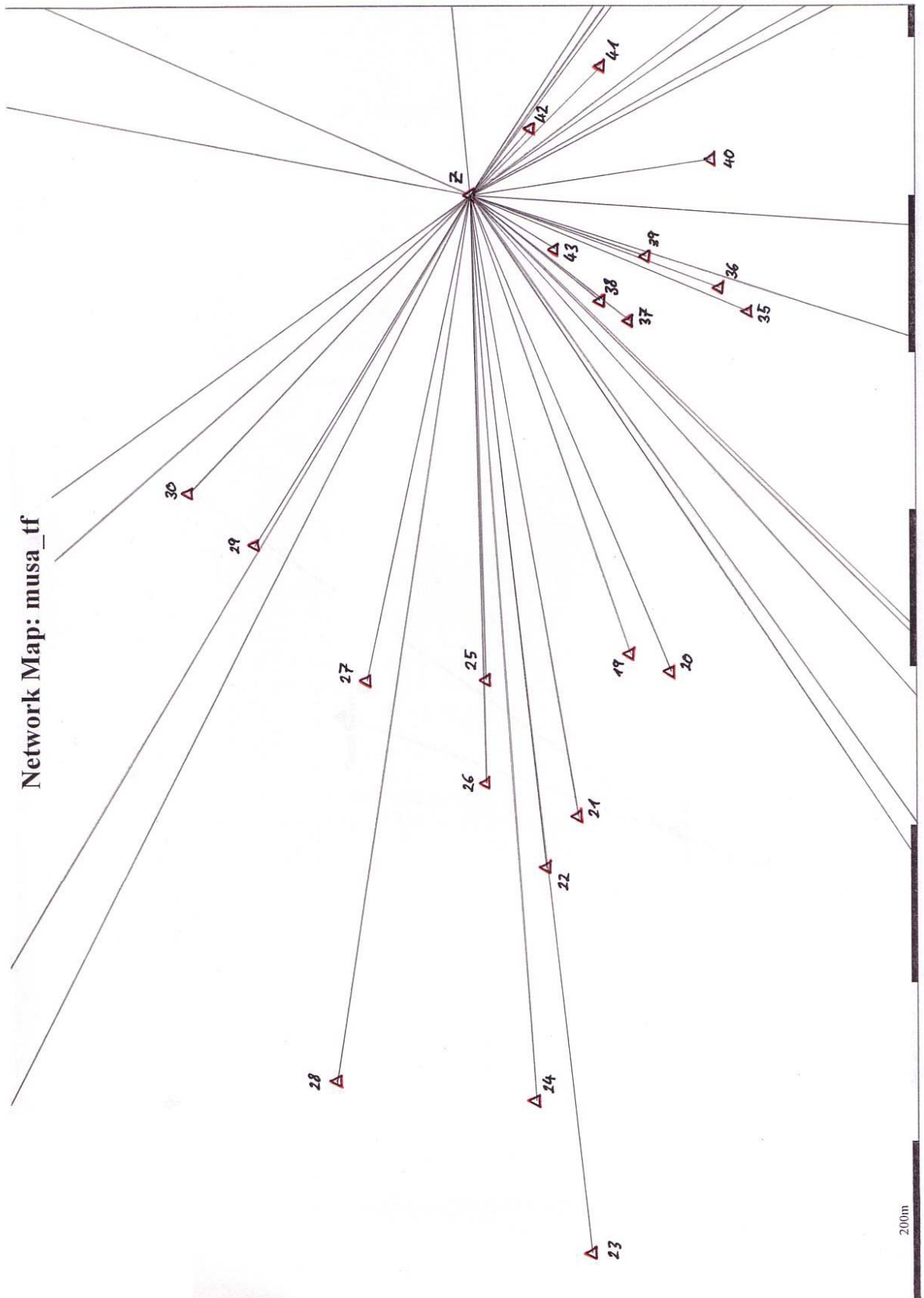
Stationsname	Nr.	Hoch X [m]	Rechts Y [m]	ell. Höhe H [m]	orth. Höhe h [m]	Geoidund. N [m]
Jebel el Maqur 1	13	1813411.374	533931.759	425.683	422.841	2.842
Jebel el Maqur 2	14	1813545.912	533710.488	428.352	425.511	2.841
Jebel el Maqur 3	15	1813040.224	533709.059	423.203	420.364	2.839
Jebel el Maqur 4	16	1813221.151	533919.837	424.130	421.289	2.841
Jebel es Sufra 1	3	1814666.062	536262.376	478.499	475.639	2.860
Jebel es Sufra 2	4	1814103.643	535972.862	474.095	471.239	2.856
Jebel Keleib 1	33	1815501.431	534573.167	439.613	436.759	2.854
Jebel Keleib 2	34	1815594.602	534343.170	441.740	438.887	2.853
Jebel Ma'afar 1	5	1813932.692	536106.973	440.958	438.102	2.856
Jebel Ma'afar 2	6	1813815.828	536319.359	437.572	434.715	2.857
Jebel Abu Qeiya 1	1	1815541.753	535682.334	434.519	431.659	2.860
Jebel Abu Qeiya 2	2	1815872.597	535503.575	436.731	433.870	2.861
Große Anlage A	25	1814550.448	534634.285	429.418	426.568	2.850
Große Anlage C	27	1814550.203	534504.344	429.565	426.715	2.850
Große Anlage O	26	1814700.373	534634.022	430.189	427.338	2.851
Großer Hafir 1	39	1814348.542	535172.469	436.461	433.608	2.853
Großer Hafir 2	40	1814264.975	535296.216	437.808	434.955	2.853
Großer Hafir 3	41	1814403.969	535413.365	439.347	436.493	2.854
Großer Hafir 4	42	1814493.356	535335.281	439.082	436.228	2.854
Großer Hafir 5	43	1814463.384	535182.514	437.280	434.427	2.853
Kleine Anlage 1	21	1814434.957	534461.878	428.985	426.136	2.849
Kleine Anlage 2	22	1814474.921	534397.450	429.625	426.776	2.849
Kleiner Hafir 1	29	1814840.537	534805.119	432.371	429.518	2.853
Kleiner Hafir 2	30	1814923.410	534871.953	432.870	430.017	2.853
Löwentempel 1	35	1814218.999	535102.753	429.650	426.798	2.852
Löwentempel 2	36	1814255.015	535133.014	430.317	427.465	2.852
Qoz Barmilo 1	17	1813036.290	532939.148	431.861	429.026	2.835
Qoz Barmilo 2	18	1812859.914	532811.040	425.418	422.584	2.834
Querprofil W	28	1814740.256	534125.986	434.170	431.322	2.848
Steinbruch I J 1	31	1815461.901	533744.219	455.325	452.476	2.849
Steinbruch I J 2	32	1815377.389	533642.324	454.868	452.020	2.848
Steinbruch I K 1	23	1814419.179	533909.999	434.682	431.836	2.846
Steinbruch I K 2	24	1814488.741	534100.399	432.468	429.621	2.847
Jebel Qulba 1	11	1812214.633	534484.245	425.896	423.055	2.841
Jebel Qulba 2	12	1811998.157	535074.710	429.715	426.872	2.843
Tempel I D 1	19	1814368.710	534667.091	428.801	425.951	2.850
Tempel I D 2	20	1814317.040	534644.864	428.646	425.796	2.850
Tempel II A 1	37	1814369.354	535090.598	430.369	427.517	2.852
Tempel II A 2	38	1814405.447	535115.771	431.255	428.402	2.853
Tempel III A 1	7	1813679.074	535719.567	432.295	429.442	2.853
Tempel III A 2	8	1813705.999	535904.677	433.589	430.735	2.854
Gebäude III B 1	9	1813245.014	536007.942	433.051	430.198	2.853
Gebäude III B 2	10	1813253.862	536166.472	434.751	431.897	2.854
Zentrum	Z	1814568.862	535250.167	435.716	432.862	2.854
Meroe Royal City		1872560.645	576028.216	363.539	360.194	3.345
Naqa Vermpkt. 1514		1798692.978	529418.961	418.429	415.672	2.757
Shendi Survey Dept.		1845713.266	545903.000	367.061	363.941 MSL	3.120

Die Konfiguration des gemessenen Netzes ist auf den Seiten 19-21 graphisch dargestellt.

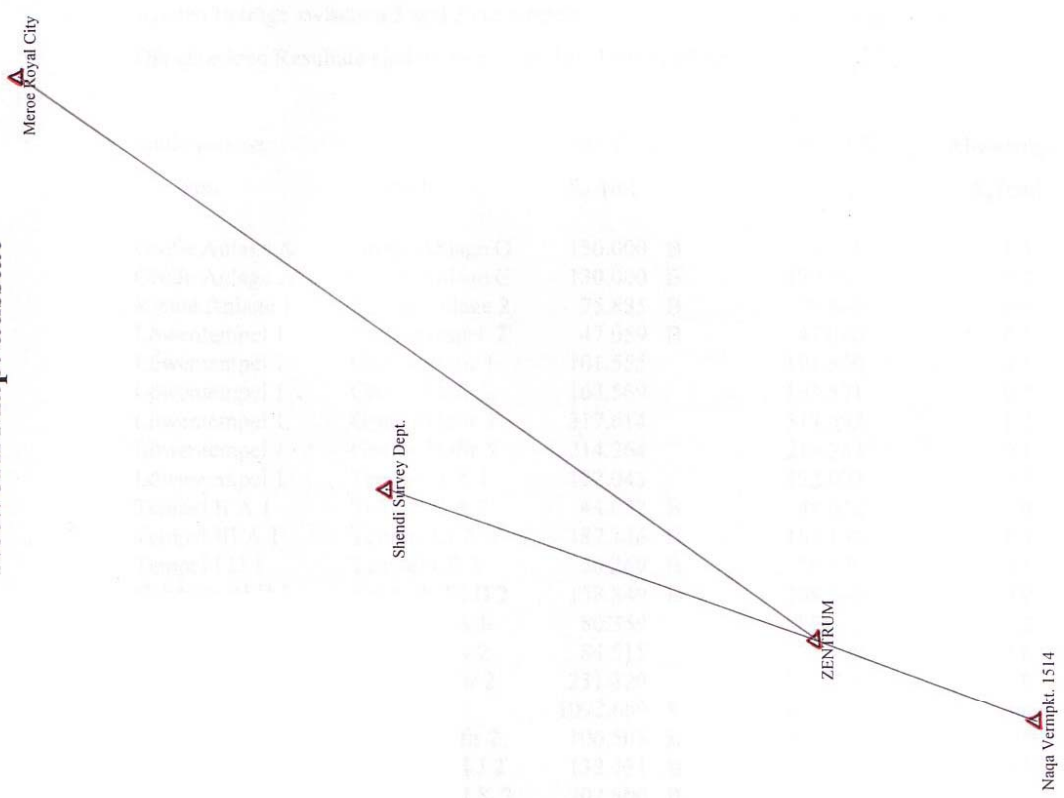
Network Map: musa_tf



Network Map: musa_tf



Network Map: ausstat



10000m

5.2.3 Überprüfung der GPS-Streckenmessung mit Tachymeter

Die aus den einstündigen GPS-Sessions hervorgegangenen geographischen Koordinaten der Basispunkte wurden ins UTM-System transformiert. Aus diesen Koordinaten wurden dann die Horizontalstrecken zwischen zusammen gehörenden Basispunkten berechnet. Unabhängig davon wurden die Strecken mit Hilfe des Sokkia-Tachymeters nochmals direkt gemessen und zum Vergleich herangezogen. Die Abweichung zwischen GPS und EDM (Elektrooptische Distanzmessung) lag für Strecken bis 300 m zwischen 0 und 2 cm. Bei größeren Distanzen wurden Beträge zwischen 3 und 5 cm erreicht.

Die einzelnen Resultate sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Stationsname		Hor.str. EDM	Hor.str. GPS	Abweichg.
von	nach	S_H [m]	S_H [m]	Δ_S [cm]
Große Anlage A	Große Anlage O	150.000 B	149.985	1.5
Große Anlage A	Große Anlage C	130.000 B	129.993	0.7
Kleine Anlage 1	Kleine Anlage 2	75.885 B	75.846	3.9
Löwentempel 1	Löwentempel 2	47.059 B	47.060	0.1
Löwentempel 1	Großer Hafir 1	101.555	101.550	0.5
Löwentempel 1	Großer Hafir 2	163.569	163.571	0.2
Löwentempel 1	Großer Hafir 3	317.614	317.592	1.2
Löwentempel 1	Großer Hafir 5	214.264	214.254	0.1
Löwentempel 1	Tempel II A 1	122.043	122.002	4.1
Tempel II A 1	Tempel II A 2	44.022 B	44.022	0.0
Tempel III A 1	Tempel III A 2	187.146 B	187.133	1.3
Tempel I D 1	Tempel I D 2	56.269 B	56.270	0.1
Gebäude III B 1	Gebäude III B 2	158.849 B	158.840	0.9
Großer Hafir 1	Tempel II A 1	80.359	80.362	0.3
Großer Hafir 1	Tempel II A 2	84.515	84.509	0.6
Großer Hafir 4	Großer Hafir 2	231.820	231.791	2.9
Großer Hafir 5	Profil West	1092.689 *	1092.641	4.8
Kleiner Hafir 1	Kleiner Hafir 2	106.505 B	106.507	0.2
Steinbruch I J 1	Steinbruch I J 2	132.434 B	132.435	0.1
Steinbruch I K 1	Steinbruch I K 2	202.800 B	202.790	1.0
Jebel Keleib 1	Jebel Keleib 2	248.266 B	248.251	1.5
Jebel el Maqur 1	Jebel el Maqur 2	259.075 B	259.066	0.9
Jebel Abu Qeiyā 1	Jebel Abu Qeiyā 2	376.204 B	376.199	0.5
Jebel Ma'afer 1	Jebel Ma'afer 2	242.527 B	242.543	1.6
Jebel Qulba 1	Jebel Qulba 2	629.182 B	629.148	3.4
Qoz Barmilo 1	Qoz Barmilo 2	218.087 B	218.078	0.9

Die mit B gekennzeichneten Strecken bilden die x-Achsen der jeweiligen lokalen Koordinatensysteme (vgl. 4.2., S. 11). Die mit * markierte Strecke konnte nur unter Verwendung eines Dreifach-Reflektors gemessen werden.

6. Transformation der UTM-Koordinaten ins System der Großen Anlage

Für den Bereich der Großen Anlage existierte bereits ein in den Jahren 1995 und 1996 angelegtes Vermessungssystem mit lokalen Koordinaten. Nach Absprache mit den Archäologen der Humboldt-Universität sollte die Erstellung der Pläne von Musawwarat in diesem System erfolgen.

Deswegen wurden alle zuvor berechneten UTM-Koordinaten mit dem von mir geschriebenen Programm „trafo2.c“ (Quellcode 6.2, S. 29) in das System der Großen Anlage transformiert und in der Datei „alleszus.yx“ abgespeichert. Die Datei enthält für alle aufgemessenen Punkte im Tal von Musawwarat Punktnummer, y- und x-Koordinate.

7. Anfertigung des Kartenmaterials

Die Datei „alleszus.yx“ wurde mit dem Programm „yx2dxf.c“ von Herrn Dipl.-Ing. Christian Stahlberg in die Datei „alleszus.dxf“ konvertiert. Dateien vom Typ DXF (Drawing Exchange Format) sind für das Programmsystem „AutoCAD 14“ lesbar ⁸. Mit diesem konnte ich schließlich die graphische Umsetzung der Meßergebnisse auf Papier durchführen.

Als Endergebnis entstand eine Übersichtskarte des Tales von Musawwarat es Sufra im Maßstab 1 : 6000 sowie zwei weitere Pläne mit Ausschnittsvergrößerungen einzelner Fundstätten in verschiedenen Maßstäben. Die Pläne wurden am Fachgebiet für Photogrammetrie und Kartographie der TU Berlin im DIN A0-Format farbig geplottet.

Herrn Prof. Dr. Steffen Wenig vom Seminar für Sudanarchäologie und Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin habe ich drei Kartensätze überreicht. Ein vierter Kartensatz befindet sich bei Herrn Dipl.-Ing. (FH) Horst Scholz am Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik der Technischen Universität Berlin.

⁸ [4] AutoCAD 14 - Grundlagen

8. Anhang

8.1 Berechnungsprotokoll für die Basislinie Shendi - Musawwarat

Project Name : ausstat
Processed : Monday, 18. May 1998 12:22
WAVE 2.00b
Solution Output File : 00001996.SSF

From Station : ZENTRUM
Data file : 10000561.DAT
Antenna Height (m) : 0.063 True Vertical
Position Quality : Fixed Control

WGS 84 Position : 16 24 44.201320 N X 5113625.717
33 19 48.542550 E Y 3362877.636
435.716 Z 1790661.172

To Station : Shendi Survey Dept.
Data file : 30000561.DAT
Antenna Height (m) : 1.547 True Vertical 1.558 Uncorrected

WGS 84 Position : 16 41 37.079689 N X 5100266.816
33 25 49.969619 E Y 3366909.154
367.061 Z 1820489.108

Start Time : 25.02.98 07:53:00,00 GPS (946 287580.00)
Stop Time : 25.02.98 09:25:30,00 GPS (946 293130.00)
Occupation Time : 01:32:30,00
Meas. Interval (sec) : 30.00

Solution Type : Iono free fixed double difference
Solution Acceptability : Passed ratio test

Ephemeris : Broadcast
Baseline Slope Distance : 32930.520
Standard Deviation (m) : 0.000595

	Forward		Backward
Normal Section Azimuth :	18 58 37.940782		199 00 20.907971
Vertical Angle :	- 0 16 05.277197		- 0 01 45.210846

Baseline Components (m) : dx -13358.901 dn 31140.340 du -154.108
Standard Deviations (m) : 0.001504 0.000592 0.001746

dy 4031.518 de 10708.623 dh -68.655
0.001010 0.000578 0.001745

dz 29827.936
0.000671

Aposteriori Covariance Matrix : 2.263243E-006
1.155707E-006 1.020591E-006
4.767325E-007 2.798914E-007 4.506730E-007

Variance Ratio Cutoff : *** 4.2 1.5
Reference Variance Cutoff : 2.644 1.082 at 95.0 % confidence
Observable : Iono free phase
Count/Rejected : 1196/2
RMS : 0.015

Processor Controls:

[General]

Process start time : 19.02.98 12:08:30 GPS (945 389310)
Process stop time : 25.02.98 12:48:00 GPS (946 305280)
Elevation mask : 10 degrees
Maximum iterations : 10
Maximum fixable cycle slip : 600 seconds
Ephemeris : Broadcast

[Observables]

L1 phase : Enabled
L2 phase : Enabled
L1 C/A code : Enabled
L2 code (encrypted) : Enabled

[Static Network]

Baseline generation : Independent
Min baseline observation time : 120 seconds

[Quality]

Observation editing : Edit multiplier 3.5
Ratio test : Cutoff 1.5
Reference variance test : Level of confidence 0.950

[Tropo Correction]

Model : Hopfield
Estimated zenith delay states : 0

[Iono Correction]

	Ambiguity Pass	Final Pass
Correction :	Iono free	Iono free
Applied to :	Static	Static
Application threshold :	10 kilometers	0 kilometers

[Final Solution]

Final solution type : L1 Fixed

[Satellites]

Disabled : ---

*** End of Report ***

8.2 Quellcode des Programmes „trafo1.c“

/* Autor: Jörn Hatzky

1. Version begonnen am 5. Mai 1998

letzte Änderung am 29. September 1998

Programm zur Koordinatentransformation über 2 identischen Punkte:

1. Schritt: Maßstabsanbringung

2. Schritt: Transformation vom lokalen Tachymetersystem ins globale UTM-System

Eine Eingabedatei:

*.lok Datei mit lokalen Koordinaten der Tachymeteraufnahme

Format: Pkt.nr.: 5-stellig, numerisch

y, x : egal (hier von „Schnitt“ auf 10/mm-Genauigkeit berechnet)

Zwei Ausgabedateien:

*.utm Datei mit UTM-Koordinaten (Y, X, H mit Zentimetergenauigkeit)

*.uyx Datei mit UTM-Koordinaten ohne Höhen, dient zur Weiterberechnung

mit Programm „trafo2.c“

Format: Pkt.nr.: 5-stellig, numerisch

Y, X : mit Millimetergenauigkeit

Dateiname und Pfadangaben müssen im Programm eingegeben werden.

*/

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <io.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
int countlines (FILE *f) /* Zählt Zeilen, nicht mit CR-LF abgeschlossene letzte Zeile */
{ /* wird mitgezählt. Setzt Dateizeiger wieder auf Anfang. */
    int i=0,c,last;
    while((c=fgetc(f))!=EOF)
    {
        if(c=='\n') i++;
        last=c;
    }
    if(last!='\n') i++;
    rewind(f);
    return i;
}
```

```

main()
{
int    c, lines;
long int nr ;
double  yalt, xalt, halt,          /* Koordinaten alt */
        m = 0.9996,                /* Maßstabsfaktor */
        dx, dy,
        yneu, xneu,                /* Koordinaten neu */
        ya   = 534871.953 ,        /* UTM Anfang */
        xa   = 1814923.410 ,
        ya_alt = 0.000 ,          /* Tachy Anfang */
        xa_alt = 0.000 ,
        ye   = 534805.119 ,        /* UTM Ende */
        xe   = 1814840.537 ,
        ye_alt = 0.000 ,          /* Tachy Ende */
        xe_alt = 106.505 ,
        s_alt,
        o,a ;

FILE *ein,*aus1,*aus2;
ein  = fopen("j:\\sudanin\\klhafi.lok","r");    /* Hier Pfadangaben und Dateinamen für */
aus1 = fopen("j:\\sudanout\\klhafi.utm","w")    /* die Koordinatendateien eingeben. */
aus2 = fopen("j:\\sudanout\\klhafi.uyx","w");

lines= countlines(ein);                      /* Zeilen zählen. */

s_alt = pow((ye_alt-ya_alt),2) + pow((xe_alt-xa_alt),2);
o  = ((xe_alt-xa_alt)*(ye-ya) - (ye_alt-ya_alt)*(xe-xa)) / s_alt;
a  = ((ye_alt-ya_alt)*(ye-ya) + (xe_alt-xa_alt)*(xe-xa)) / s_alt;

for ( c = 1 ; c <= lines ; c++ )
{
fscanf (ein,"%ld",&nr );
fscanf (ein,"%lf",&yalt);
fscanf (ein,"%lf",&xalt);
fscanf (ein,"%lf\n",&halt);

dy  = yalt - ya_alt;
dx  = xalt - xa_alt;
dy  = m * dy;                      /* Maßstabsanbringung */
dx  = m * dx;

yneu = ya_alt + dy;
xneu = xa_alt + dx;
dy   = yneu - ya_alt;
dx   = xneu - xa_alt;

```

```

yneu = ya + o*dx + a*dy ;      /* Transformation, o, a → Kleinpunktberechnung */
xneu = xa + a*dx - o*dy ;     /* neue Koordinaten in UTM */

fprintf(aus1,"%5ld ",nr);
fprintf(aus1,"%10.2lf ",yneu); /* Ausgabe in Datei. */
fprintf(aus1,"%10.2lf ",xneu);
fprintf(aus1,"%10.2lf \n",halt);

fprintf(aus2,"%5ld ",nr);
printf ("%10ld\n",nr);        /* Kontrolle, daß etwas passiert. */
fprintf(aus2,"%10.3lf ",yneu); /* Datei ohne Höhen zur Weiterberechnung */
fprintf(aus2,"%10.3lf \n",xneu); /* mit „trafo2.c“ */
}

fclose(ein);
fclose(aus1);
fclose(aus2);
return 0;
}

```

8.3 Quellcode des Programmes „trafo2.c“

/* Autor: Jörn Hatzky

1. Version begonnen am 16. Mai 1998

letzte Änderung am 3. Oktober 1998

Programm zur Koordinatentransformation über 2 identische Punkte:

1. Schritt: Maßstabsanbringung

2. Schritt: Transformation vom globalen UTM-System ins lokale System
der Großen Anlage

Eine Eingabedatei:

*.uyx Datei mit UTM-Koordinaten ohne Höhen, resultiert aus „trafo1.c“

Format : Pkt.nr.: 5-stellig, numerisch

Y, X : egal (hier mit Millimetergenauigkeit)

Eine Ausgabedatei:

*.yx Datei mit Koordinaten im System der Großen Anlage (SGA), wird mit Programm

„yx2dxf.c“ von Herrn Dipl.-Ing. Christian Stahlberg ins DXF-Format konvertiert.

Format: Pkt.nr.: 5-stellig, numerisch

y, x : mit Zentimetergenauigkeit

Dateiname und Pfadangaben müssen im Programm eingegeben werden.

*/

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <io.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
int countlines(FILE *f)
```

```
{  
    /* Zählt Zeilen , nicht mit CR-LF abgeschlossene letzte Zeile */  
    int i=0,c,last; /* wird mitgezählt. Setzt Dateizeiger wieder auf Anfang. */  
    while((c=fgetc(f))!=EOF)  
    {  
        if(c=='\n') i++;  
        last=c;  
    }  
    if(last!='\n') i++;  
    rewind(f);  
    return i;  
}
```

```

main()
{
int    c, lines;
long   int nr;
double yalt, xalt,          /* Koordinaten alt          */
      m = 1.0004,          /* Maßstabsfaktor = 1 / 0.9996 */
      dx, dy,
      neu, xneu,           /* Koordinaten neu        */
      ya    = 10500.000 ,  /* SGA Anfang            */
      xa    = 11000.000 ,
      ya_alt = 534634.285 , /* UTM Anfang            */
      xa_alt = 1814550.448 ,
      ye    = 10500.000 ,  /* SGA Ende              */
      xe    = 11150.000 ,
      ye_alt = 534634.022 , /* UTM Ende              */
      xe_alt = 1814700.373 ,
      s_alt,
      o, a ;

FILE *ein,*aus;
ein = fopen("j:\\sudanin\\alleszus.uyx","r"); /* Hier Pfadangaben und Dateinamen für */
aus = fopen("j:\\sudanout\\alleszus.yx","w"); /* die Koordinatendateien eingeben.    */

lines = countlines (ein);                    /* Zeilen zählen. */

s_alt = pow((ye_alt-ya_alt),2) + pow((xe_alt-xa_alt),2);
o = ((xe_alt-xa_alt)*(ye-ya) - (ye_alt-ya_alt)*(xe-xa)) / s_alt;
a = ((ye_alt-ya_alt)*(ye-ya) + (xe_alt-xa_alt)*(xe-xa)) / s_alt;

for ( c = 1 ; c <= lines ; c++ )
{
fscanf (ein,"%ld",&nr );
fscanf (ein,"%lf",&yalt);
fscanf (ein,"%lf\n",&xalt);

dy = yalt - ya_alt;
dx = xalt - xa_alt;
dy = m * dy;
dx = m * dx;          /* Maßstabsanbringung */

yneu = ya_alt + dy;
xneu = xa_alt + dx;
dy = yneu - ya_alt;
dx = xneu - xa_alt;

```



```

yneu = ya + o*dx + a*dy ;      /* Transformation, o, a → Kleinpunktberechnung */
xneu = xa + a*dx - o*dy ;     /* neue Koordinaten in SGA */

fprintf (aus,"%5ld " , nr);
printf ("%10ld\n",nr);        /* Kontrolle, daß etwas passiert. */
fprintf (aus,"%10.2lf ", yneu); /* Ausgabe in Datei. */
fprintf (aus,"%10.2lf \n", xneu);
}

fclose (ein);
fclose (aus);
return 0;
}

```

9. Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 1	Übersichtskarte des Sudan (Datei „Sudan.gif“ via http://www.utexas.edu)	1
Abb. 2	Schild am Grabungshaus in Musawwarat es Sufra	2
Abb. 3	Der Nilbogen nördlich des 6. Kataraktes (Karte aus [1], Kultur-Reiseführer von B. Streck (im hinteren Buchdeckel))	3
Abb. 4	Hof 106 der Großen Anlage, Musawwarat es Sufra	5
Abb. 5	Hof 102 der Großen Anlage, Musawwarat es Sufra	5
Abb. 6	Zentraltempel der Großen Anlage, Musawwarat es Sufra	5
Abb. 7	Löwentempel von Musawwarat es Sufra	6
Abb. 8	Nordseite des Löwentempels, Musawwarat es Sufra	6
Abb. 9	Amontempel, Naqa	7
Abb. 10	Löwentempel von Naqa	7
Abb. 11	Nordseite des Löwentempels, Naqa	8
Abb. 12	Römischer Kiosk in Naqa	8
Abb. 13	Pyramiden auf dem Nordfriedhof von Meroe	9
Abb. 14	Pyramiden auf dem Nordfriedhof von Meroe	9
Abb. 15	GPS-Fundamentalpunkt auf dem Dach des Grabungshauses, Musawwarat es Sufra	10
Abb. 16	Tachymetrische Einmessung des Steinbruches am Jebel el Gafalla, Musawwarat es Sufra	12
Abb. 17	GPS-Messung auf dem Jebel es Sufra (mit Blick auf Jebel Abu Qeiya), Musawwarat es Sufra	13
Abb. 18	Archäologisches Schnittsystem vor Tempel 300 der Großen Anlage, Musawwarat es Sufra	14

Die Abbildungen 2 und 4 bis 18 sind Photographien von mir. Die Bilder wurden im Februar und März 1998 aufgenommen.

10. Literatur

- [1] Bernhard Streck: „Sudan, Steinerne Gräber und lebendige Kulturen am Nil“
Kultur-Reiseführer, 2. Auflage, DuMont Buchverlag, Köln 1989
- [2] Manfred Bauer: „Vermessung und Ortung mit Satelliten“
3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg 1994
- [3] „WAVE Software, User’s Guide for GPSurvey, Version 2“
Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, California 1995
- [4] „AutoCAD 14 - Grundlagen“
2. unveränderte Auflage, Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen /
Universität Hannover, Herdt-Verlag, Nackenheim 1998