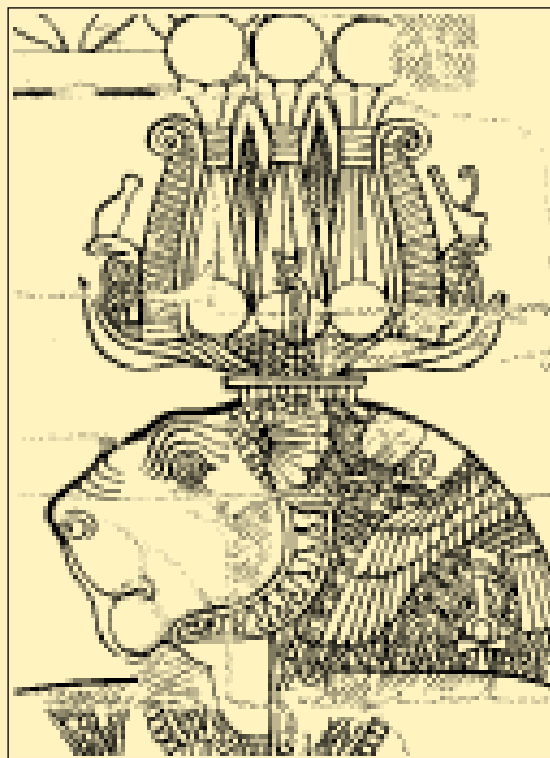


MITTEILUNGEN DER  
SUDANARCHÄOLOGISCHEN GESELLSCHAFT  
ZU BERLIN E.V.



HEFT 3  
JULI 1995

# INHALT

EDITORIAL .....	4
NACHRICHTEN DER SUDANARCHÄOLOGISCHEN GESELLSCHAFT ZU BERLIN E.V.	
<i>Mitgliedervollversammlung 1995</i> .....	6
<i>Rechenschaftsbericht für das Jahr 1994/95</i> .....	6
<i>Bemerkungen zum Schutz der Denkmäler von Musawwarat es Sufra     vor Wind- und Sanderosion. Teil I</i> .....	10
NACHRICHTEN AUS DEM INSTITUT FÜR SUDANARCHÄOLOGIE UND ÄGYPTOLOGIE DER HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN	
<i>Das DFG-Projekt „Ausgrabungen in Musawwarat es Sufra“</i> .....	20
NATIONALE UND INTERNATIONALE AKTIVITÄTEN	
<i>Meroe, Eisen und Afrika</i> .....	20
<i>Survey in the Northern Sudan 1993 – 1995</i> .....	26
AUSSTELLUNGEN	
<i>The Nubian Collection of the Museum of Fine Arts, Boston</i> .....	32
<i>The Nubian Gallery of the Royal Ontario Museum, Toronto</i> .....	36
AUF DEN SPUREN DER MEROITISCHEN KULTUR	
<i>Teil II: 1960 – Die 1. Kampagne in Musawwarat es Sufra</i> .....	38
ANIBA – UNTERNUBIEN IM 3. UND 2. JAHRTAUSEND V.U.Z. ....	45
HENNA IM SUDAN .....	50
DAS PORTRÄT .....	53
NEUE MITGLIEDER DER SUDANARCHÄOLOGISCHEN GESELLSCHAFT .....	53
VORSCHAU AUF HEFT 4 / IMPRESSUM .....	54

BEMERKUNGEN ZUM SCHUTZ  
DER DENKMÄLER VON MUSAWWARAT ES SUFRA VOR  
WIND- UND SANDEROSION

TEIL I:  
MECHANISMEN UND SCHÄDEN DER EROSION

1. EINLEITUNG

Umweltfaktoren wie die extremen täglichen Schwankungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit oder die mangels geschlossener Vegetationsdecke aggressivere Wind- und Sanderosion setzen antiken Denkmälern in Wüsten- und Halbwüstengebieten weitaus vernichtender zu als in gemäßigten Klimazonen. Archäologische Ausgrabungen befreien Altertümer von der schützenden Erdschicht und liefern sie diesen aggressiven Umwelteinflüssen aus.

Während der Feldarbeiten des Instituts für Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin wurden in den 60er Jahren weite Teile der Großen Anlage von Musawwarat es Sufra ausgegraben und von Trümmerschutt befreit (Hintze 1968; 1971). Eines der kulturhistorisch bedeutendsten Denkmäler der meroitischen Epoche, der Apedemak-Tempel, wurde am Ende dieser Ausgrabungen wiedererrichtet (Hintze et al. 1993). Schon während der damaligen Feldarbeiten bemühte man sich um Maßnahmen zum Schutz der Denkmäler vor Wind- und Sanderosion – mit der chemischen Behandlung des Apedemak-Tempels und der Anregung einer Windschutzpflanzung (Hintze 1993 et al.: 347), die leider nie in die Tat umgesetzt wurde.

1) Eine photogrammetrische Dokumentation der Großen Anlage wurde 1993 geplant und in den Komplexen 200 und 300 begonnen. Eine erste Dokumentation des Erhaltungszustandes der Altertümer im Frühjahr 1993 (Fitzenreiter 1993) wurde 1995 unter konservatorischer Leitung fortgeführt. Sie wird auch Vorschläge zu konkreten konservatorischen Maßnahmen enthalten. Über diese Arbeiten und die 1995 eingeleiteten Schutzmaßnahmen wird in einem gesonderten Artikel berichtet werden.

Seit der Wiederaufnahme der Feldarbeiten in Musawwarat im Jahre 1993 spielen die Konservierung der Altertümer und insbesondere Maßnahmen gegen Wind- und Sanderosion eine zentrale Rolle.<sup>1)</sup> Denn Zerstörungen durch Wind und Sand gehören zu den gravierendsten Erosionsformen in Musawwarat es Sufra.<sup>2)</sup> Durch die fortschreitende Desertifikation der Butana-Region haben diese Erosionsformen seit dem Ende der 60er Jahre ein bisher ungeahntes Ausmaß angenommen und ein Umschwung dieses ökologischen Trends ist nicht in Sicht. Wenn wir nichts unternehmen, müssen wir mit dem Schlimmsten rechnen: der vollständigen Zerstörung der jahrhundertealten Denkmäler in den nächsten Jahrzehnten.

2. DESERTIFIKATION UND ÖKOLOGISCHER  
ZUSAMMENBRUCH DER WEST-BUTANA

Als die Mitglieder der Photo-Expedition der Chicago University im November 1906 Musawwarat besuchten, sahen sie die Große Anlage noch ohne bemerkenswerte Sandeinwehungen (vgl. Breasted 1908: Abb. 12). An diesem Zustand hatte sich bis in die 60er Jahre nichts wesentlich geändert (s. Abb. 1). Erst in den folgenden 25 Jahren wuchsen meterhohe Sanddü-

2) Neben Zerstörungen durch Salzdruckverwitterung (Abschuppung und Abschabung von Gesteinsschichten, s. Anm. 4), durch Regenwasser (Aufweichen des Lehm- und Mörtels, Aufweichen des Baugrundes, Unterspülung von Mauern und Fundamenten etc.) sowie durch Menschen und Tiere (Graffiti, das Abschaben, Herausbrechen und Zertreten von Mauersteinen, Raubgrabungen etc.). Eine Zusammenstellung umweltbedingter und durch Menschen hervorgerufener Zerstörungen an Denkmälern im Sudan findet man bei Hinkel 1992: 152ff.

nen in den Höfen und Räumen der Großen Anlage (s. Abb. 2 u. 3; vgl. Hofmann/Tomandl 1986: 93 – 94, Abb. 119 – 122). Im Frühjahr 1995 entfernten wir allein von der Zentralterrasse mehr als 180 m<sup>3</sup> Sand, die sich dort seit dem Ende der damaligen Ausgrabungen angesammelt hatten. Parallelen gibt es auch andernorts, beispielsweise in der 5 – 6 km breiten Ebene von Begrawiya. Die Pyramiden des Nord-, Süd- und Westfriedhofes und auch der „Sonnentempel“ M 250 sind heute von riesigen Sandmassen umgeben, deren größter Teil ebenfalls nicht älter als 25 Jahre ist (vgl. auch Hinkel 1992: 177 u. Anm. 165). Kaum wahrscheinlich, daß Ausgrabungen oder Baumaßnahmen derart folgenschwere Veränderungen der Windverhältnisse bewirken konnten – trotz „Chaos-Theorie“.

Die eigentlichen Gründe sind ohne interdisziplinäre und v.a. landschaftsökologische Forschungen kaum einsehbar. Die gegenwärtige Ansammlung jener Sandmassen ist u.a. das Ergebnis quartärer Klimaschwankungen (Akhtar 1990: 112). Seit man zu Beginn unseres Jahrhunderts die Niederschläge im Sudan aufzuzeichnen begann, zeigen die Werte einen eindeutigen, periodisch verlaufenden Trend der Austrocknung der gesamten Butana-Region (s. Akhtar/Mensching/Domnick 1994: Fig. 2).<sup>3)</sup> Die jüngste Dürreperiode verschob die 150 mm-Isohyete seit Mitte der 60er Jahre um fast 100 km südwärts – bis über Khartoum hinaus (vgl. Kuschetzki 1990a: 15 – 21; Akhtar/Mensching/Domnick 1994: Fig. 3). Andere Indizien der Klimaschwankungen sind die steigende Niederschlagsvariabilität und die Häufung dramatischer Trockenjahre, in denen der Regen fast völlig ausblieb. Daher bezeichnet man die „Regenzeit“ treffender als eine „Zeit möglicher Regenfälle“ (Mensching 1971: 64). Mitte der 80er Jahre erreichte dieser Prozeß einen vorläufigen Tiefpunkt. Doch auch die erwartete Feuchtphase wird, dem bisherigen Gesamttrend entsprechend, trockener ausfallen.

Diese klimatischen Prozesse werden seit dem Ende der 60er Jahre durch androgene Faktoren potenziert (zum Folgenden s. Kuschetzki 1990b; Akhtar/Mensching/Domnick 1994). Beispielsweise hat die unter Numeri 1971 eingeführte Landnutzungspolitik, welche die traditionelle nomadische Weidelandkontrolle aufhob, und ebenso die Sesshaftmachung von Nomaden

3) Ein vergleichbarer Trend war möglicherweise auch für die Südwärtsverlagerung der antiken und mittelalterlichen Kulturzentren dieser Region mitverantwortlich: Napata-Meroe-Soba-Sennar.



Abb. 1:  
Die Zentralterrasse  
der Großen Anlage  
(Raum 102/103, Süd-  
seite) im Jahre 1964:  
keine nennenswerten  
Sandeinwehungen  
(Foto: U. Hintze).

sowie die Ausweitung der mechanisierten Landwirtschaft zu einer Vernichtung und einer unkontrollierten Überweidung der (restlichen) Weidegebiete in der Butana geführt. Ein ebenso folgenschwerer Eingriff in das ökologische Gleichgewicht war der Bau des Khasm El Girba Staudammes am Oberlauf des Atbara Mitte der 60er Jahre. Seitdem führt der Atbara in seinem Unterlauf nur noch halbjährlich Wasser, und das Ausbleiben von Treibholz zwang die dortige Bevölkerung zum Abholzen der Ufergebiete. Die daraus folgende Bodenerosion verwandelte seinen Unterlauf, vorher wahrscheinlich eine natürliche Barrikade gegen die Sandbewegungen aus dem Nordosten, seinerseits in eine Riesenquelle von Deflationsmaterial (durch Wind ausgeblasenes und transportiertes Staub- und Sandmaterial). Diese Sandmassen haben inzwischen die Begrawiya/Kabushiya Region erreicht und sind, neben dem Gebirgsmassiv des Nadschd Aswad als geomorphologischem Faktor, der Grund für die Versandung nicht nur der Pyramidenfelder sondern großer Teile des Wadi El Hawad (Akhtar 1990: 112 – 113).

Nährstoffreiche Gräserarten wie das Siha-Gras sind dem weniger nahrhaften Taffa-Gras flächendeckend gewichen. Als Folge davon verfüttern die Nomaden den Baumbestand an ihre Tiere, was zur Regenerationsunfähigkeit und damit zu einem flächenhaften Niedergang der



Abb. 2:  
Derselbe Raum  
im Jahre 1993:  
meterhohe  
Sanddünen  
(Foto: P. Wolf).

Abb. 3:  
Versandung im  
Innenraum des Zen-  
traltempels der  
Großen Anlage im  
Jahre 1993 (Foto: P.  
Wolf). Vgl. Abb.4.



Vegetation führt (Kuschetzki 1990b: 53 – 54). In vielen Gebieten der Butana ist die Vegetationsdecke inzwischen gänzlich verschwunden – eine weitere Ursache für die massenhafte Freisetzung von Deflationsmaterial. Die zunehmend verarmende nomadische Bevölkerung wird schließlich gezwungen, ehemalige Weidegebiete aufzugeben und in der Nähe des Nil, größerer Wadi-Systeme (Wadi El Hawad, Wadi Awatib) oder künstlich bewässerter Agrargebiete (New Halfa Scheme, Gezira Scheme) zu siedeln. Inzwischen führte die Überstrapazierung dieser Gebiete zum ökologischen Zusammenbruch und zur Verwüstung eines etwa 25 – 30 km breiten Streifens entlang der Flußtäler (Nil, Blauer Nil, Atbara; s. Akhtar 1990: 115; Akhtar/Mensching/Domnick 1994: 44). Am Rande eines solchen Wüstengürtels liegt auch Musawwarat es Sufra. Es wäre naiv, diese überregionalen Prozesse bei der Frage nach den Ursachen der Erosion in Musawwarat außer acht zu lassen.

### 3. WIRKUNGSWEISE UND SCHÄDEN DER WIND- UND SANDEROSION

#### 3.1 WIRKUNGSWEISE – KORRASION UND AKKUMULATION VON SANDDÜNEN

Wind- und Sanderosion treten in zwei unterschiedlichen Formen in Erscheinung: als Korrasion („Windschliff“, „Staubwind“, Sandschliff,

Abb. 4:  
Der Zentraltempel  
nach dem Sandaus-  
räumen im Frühjahr  
1995. Ein Vergleich  
mit Abb. 3 zeigt die  
Konzentration der  
Schäden durch Salz-  
druckverwitterung  
und Korrasion in  
Höhe der ehemali-  
gen Oberkante der  
Sanddüne  
(Foto: P. Wolf).



Abrasion) und als Akkumulation von Sanddünen an Hindernissen (s. Abb. 5).

Bei der Korrasion schleifen windgetriebener Sand und Staub die Gesteinsoberflächen der Mauern mechanisch ab. Formen und Grad der Zerstörungen hängen sehr von der Windstärke und der Korngrößenverteilung der „Schleifmaterialien“ ab (s. Kap. 4). Zunächst fällt die Patina der Erosion zum Opfer, eine sich durch chemische und biochemische Prozesse im Verlauf von Jahrzehnten bis Jahrhunderten herausbildende, mangan- und eisenoxidhaltige, bräunlich-rötliche Oberflächenschicht (ca. 0,1 – 1 mm), die den Stein durch ihre oft extreme Härte bis zu einem gewissen Grade vor Korrasion schützt. Daher kann man aktive Korrasionsprozesse immer an hellen Gesteinspartien erkennen – hier ist die Abtragung schneller als die Neubildung der Patina. Ist die Patinaschicht abgetragen, greift die Korrasion den weicheren Gesteinskern an. Typische Zerstörungsformen sind dann zentimeter- bis dezimetertief ausgeschliffene Streifen und Rillen in Windrichtung (Abb. 4, 7). Bei Mauerwerk aus Sedimentgestein wie dem Nubischen Sandstein in Musawwarat kann ihre Ausprägung auch von Mauerblock zu Mauerblock variieren, abhängig von der Textur des Gesteins oder der Form und Härte von Materialeinschlüssen und Gesteinsadern (s. Abb. 8; vgl. Fitzenreiter 1993: 4). Eine besondere Form sind kleine kraterförmige Ausschlässe an der Luv-Seite der Bauwerke, sogenannte Impaktkrater (vgl. Besler 1992: 85). Besonders gefährdet sind freistehende Bauwerke, ihre Mauerecken sowie vorspringende Architekturteile. Die Strömungsdynamik des Windes schleift sie zu Yardangs, tropfenförmigen Körpern, deren windabgewandte Seite durch Windwirbel stärker erodiert wird als ihr Luv (vgl. Besler 1992: 86; Fitzenreiter 1993: 4, 5).

Die stärksten Korrasionserscheinungen treten, bedingt durch den Mechanismus des Sandtransportes, in einer Zone von wenigen Dezimetern bis zu 2 m über der Bodenoberfläche auf (s. Kap. 4.2; vgl. Besler 1992: 85; Hinkel 1992: 177 Anm. 165). In größeren Höhen werden nur feine Staubpartikel transportiert. Die Korrasion ist hier deutlich langsamer und vorwiegend durch „Staubwind“ und Deflation (Ausblasen von Gesteinskristallen aus dem gelockerten Gefüge) geprägt.

Eine auf den ersten Blick weniger offensichtliche Form der Zerstörung ist die Akkumulation von gebundenen Dünen an Windhindernissen (Bauwerken, Mauern etc.). Die Sanddünen selbst sind zunächst einmal nicht zerstörend. Voll-

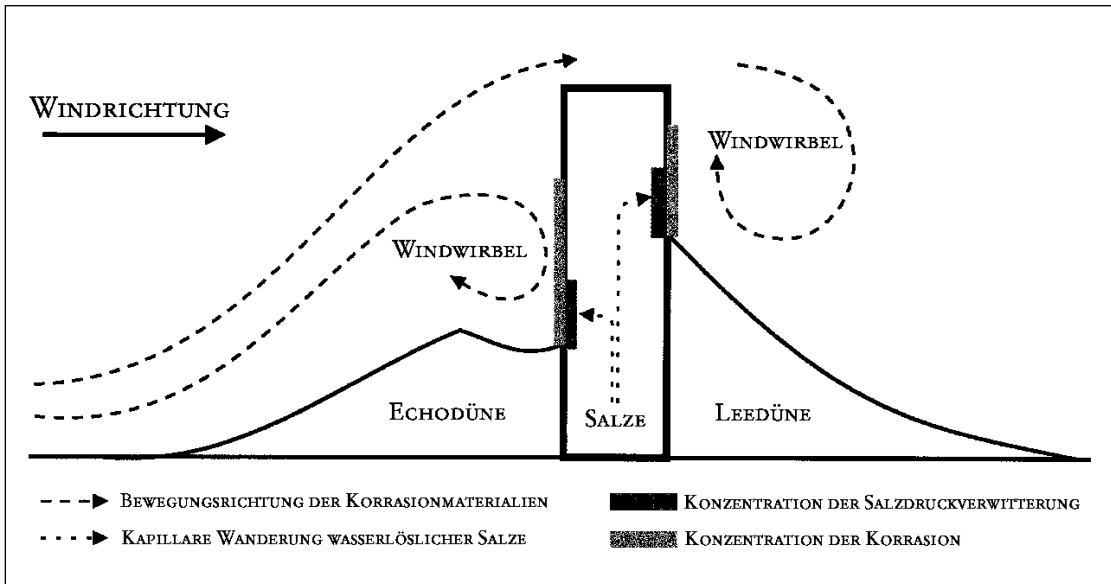


Abb. 5:  
Schematische Darstellung der Wirkungweise von Wind- und Sanderosion und Salzdruckverwitterung.

ständig versandete Objekte sind vor den aggressiven Einflüssen der Außenwelt eher geschützt. Dennoch ist die Sanddünen-Akkumulation ein schwerwiegender Zerstörungsfaktor, der die Korrasion und andere Verwitterungsprozesse fördert und verstärkt.

Aus den Mechanismen des äolischen Sandtransportes (s. Kap. 4.2) ergibt sich, daß Windhindernisse immer Sandakkumulationen bewirken (Besler 1992: 99). Im Luv kompakter Hindernisse mit Wandneigungen über 50° bilden sich durch walzenförmige Windwirbel sogenannte Echodünen; im Windschatten der Hindernisse bilden sich Lee-Dünen und Sandrampen. Solche Dünen und Sandrampen können ihre Form und Größe ändern, nicht aber durch den Wind verlagert werden (Besler 1992: 102). Das Wachstum der Dünen (bei Echodünen in der Regel bis zu einem Drittel der Hindernishöhe, Besler 1992: 102) erhöht allmählich die Hauptzone des Sandtransportes und bewegt somit das Zentrum der Korrasionswirkung wie ein Sandstrahlgebläse vertikal über die gesamte Mauerfläche der Bauwerke (s. Abb. 5).

Außerdem ist Sand ein hervorragender Feuchtigkeitsspeicher. Er speichert den versickerten Niederschlagsanteil der Regenzeit über viele Monate und nimmt fortwährend das nächtliche Kondensat der Luftfeuchtigkeit auf. Durch die Kapillaren im Sandstein des von der Sanddüne derart feuchtgehaltenen Mauerwerks wandern wasserlösliche Salze bis in die freiliegenden Mauerzonen hinauf. Dort werden sie täglich großen Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen ausgesetzt. Dadurch wird in einer etwa 10 cm breiten Randzone der Prozeß der Salzdruckverwitterung extrem verstärkt (s.

Abb. 5).<sup>4)</sup> Salzausblühungen, die Zerstörung der Verbandsfestigkeit des Gesteins, Abschuppung und Abschabung der Gesteinsoberfläche sind die Folge (s. Abb. 4, 7, 8). Das allmähliche Anwachsen der Sanddüne schiebt auch diese Zone wie den Gürtel eines Waldbrandes über die gesamte Mauerfläche. Erst jetzt, nach der zweimaligen Vernichtungsaktion, befindet sich die Mauer im Schutz der Sanddüne.

### 3.2 DIE SCHÄDEN

Alle Bauwerke in Musawwarat es Sufra tragen mehr oder weniger stark ausgeprägte Spuren der Korrasion. Dabei stehen die oft sehr gut erhalte-

4) Dieser Verwitterungsprozeß beruht auf dem ständigen Wechsel von Hydratation und Dehydratation, Lösung und Kristallwachstum sowie der thermischen Volumenänderung wasserlöslicher Salze (einiger Sulfate, Nitrate und Karbonate der Natrium-, Magnesium- und Kalzium-Ionen) beim Schwanken der Temperatur und Feuchtigkeit um (salzspezifische) kritische Werte, die in Wüsten- und Halbwüstenregionen mitunter mehrmals täglich durchlaufen werden. Die erwähnten Prozesse bewirken eine Volumenänderung der Salzmoleküle und damit einen extremen mikro-mechanischen Druck, der das Steingefüge zerstört (weshalb ich diese Verwitterungsform als „Salzdruckverwitterung“ bezeichnen möchte). Salzdruckverwitterung ist eine der aggressivsten Erosionsformen in Wüstengebieten und stellt auch im gemäßigten Klima Europas eines der Hauptprobleme der Stein- und Gebäuderestaurierung dar. Der maritim bzw. meeresnah entstandene salzhaltige Sandstein der Nubischen Serie ist besonders gefährdet. Zur Salzdruckverwitterung in ariden Gebieten s. Besler 1992: 42-49; zu demselben Thema bei ägyptischen Altertümern (Karnak) s. Martinet 1992: 61-67-73.

Abb. 6:  
Nördliche Außenwand des Apedemak-Tempels 1993. Hier hat sich in den vergangenen 24 Jahren keine Echodüne herausgebildet (Foto: P. Wolf).



nen, rostfarben-patinierten Süd- und Westwände der Großen Anlage in deutlichem Kontrast zu den wesentlich stärker angegriffenen Nord- und Ostwänden (vgl. Fitzenreiter 1993: 4).

„Klassische“ Korrasionserscheinungen sind die mehrere Zentimeter starken Sandschliffe am unteren Mittelteil der äußeren Nordwand des Apedemak-Tempels (s. Abb. 7). Allerdings waren diese Relieffpartien schon vor dem Wiederaufbau des Tempels über lange Zeiträume der Korrasion und anderen Erosionsformen ausgesetzt (vgl. Hintze et al. 1971: Taf. 7.a.). Jetzt ist die Korrasion hier kaum noch aktiv. Die tieferen Schleifspuren sind, mit Ausnahme hervorspringender Kanten, z.T. patiniert (s. Abb. 7). Die Windschliffe in den höheren Steinlagen (bis zu 2 m) lassen sich durch Windwirbel erklären, die von den hier vor dem Wiederaufbau umherliegenden Mauertrümmern begünstigt wurden. Auch die Sandakkumulation an jenen Trümmern wird diese Zerstörungen gefördert haben. Die in der Antike eingestürzten und während des Wiederaufbaus neu versetzten Reliefblöcke des Apedemak-Tempels sind wesentlich besser erhalten. Sie zeigen v.a. an hervorkragenden Reliefkanten in allen Höhenlagen feine Schleifspuren, die wahrscheinlich durch Staubwind (s. Kap. 4.2) oder durch Deflation verursacht werden und kaum mehr als die patinierte äußerste Steinschicht betreffen (s. Abb. 7; vgl. Pittertschatscher 1995: 1). Nach dem Wiederaufbau des Tempels und dem Forträumen der Trümmer sind nennenswerte Korrasionsschäden oberhalb eines Meters kaum noch zu erwarten (s. Abb. 6).

Es ist bemerkenswert, daß auf der Ostseite des Wadi weder am Apedemak-Tempel noch am Grabungshaus in den letzten 25 Jahren nennenswerte Sanddünen entstanden (s. Abb. 6). Lediglich der Tempel II A im Westen des Hafirs war 1995 von etwa 50 cm hohen Dünen eingeweht. Diese Tatsachen lassen sich möglicherweise durch geomorphologische und topogra-

phische Spezifika Musawwarats erklären (s. Kap. 4.3). Völlig anders sind die Verhältnisse auf der Westseite des Wadi. Die Mehrzahl der Mauern der Großen Anlage umgeben bis zu mehrere Meter hohe Echodünen und Sandrampen. Die nördlichen und zentralen Teile der Großen Anlage sind am stärksten versandet (s. Abb. 2, 3). Weiter östlich, beispielsweise am freistehenden Tempel 300, ist der Grad der Versandung geringer (vgl. Fitzenreiter 1993: 1–4).

Die Sanddünen bewirken das „Hochwandern“ der Sandkörner. Dadurch wandert auch die Zone der stärksten Korrasionsaktivität mit dem Wachstum der Dünen über die gesamte Wandfläche. Entsprechend ausgeprägte Sandschliffe findet man hier selbst in den oberen Mauerbereichen der Nord- und Ostmauern (s. Abb. 8). Auch einige Süd- und Westwände der Großen Anlage wurden durch die Korrasionswirkung sandhaltiger Windwirbel in erschreckendem Ausmaß zerstört. Beispielsweise die Südwand des Zentraltempels, der als höchstes Bauwerk dem Wind besonders ausgeliefert ist (s. Abb. 2; vgl. Fitzenreiter 1993: 2–3). Selbst zentimetertiefe Graffiti, am Ende der 60er Jahre noch gut erhalten, konnte ich 1995 nur mit Mühe wiederfinden (s. Abb. 9 u. 10). Dagegen besitzen die Süd- und Westmauern, an welchen sich auf Grund der spezifischen Windströmungsverhältnisse keine gebundenen Dünen herausbildeten, einen durchaus exzellenten Erhaltungszustand (vgl. Fitzenreiter 1993: 4).

Außerdem bewirken die Sanddünen, wie oben erwähnt, eine Verstärkung der Salzdruckverwitterung. An der Berührungszone zwischen Düne und Mauerwerk zeichnet sich an vielen Wänden ein mehrere Zentimeter breiter, weißer Streifen von Salzausblühungen und Salzabsprengungen ab (vgl. Pittertschatscher 1995: 3, vgl. Abb. 4, 8).

#### 4. MECHANISMEN DER WIND- UND SANDEROSION 4.1 DIE WINDVERHÄLTNISSE

Der Motor der Wind- und Sanderosion ist der Wind. Die jährlichen Windverhältnisse in der Butana sind im Oktober bis Mai durch den Nordost-Passat und im Juni – September durch den Südwest-Monsun geprägt.<sup>5)</sup> Der Passat erreicht im Februar ein Maximum (17,59 km/h).

5) Mangels einer Dokumentation der lokalen Windverhältnisse in Musawwarat habe ich zur Veranschaulichung Angaben aus Oliver 1965 benutzt, die 1957 – 1962 auf dem Airport von Khartoum aufgezeichnet wurden.

Danach erhöht sich sein Ostanteil allmählich bis April. Bei einem weiteren Maximum im Mai (16,11 km/h) dominieren zwar noch die Nordwinde, es vollzieht sich aber schon der Umschwung zu den Südwestwinden. Der Sommermonsun ist im Juli am stärksten (17,04 km/h) und flaut dann ab, bis im Oktober ein Minimum von 11,85 km/h erreicht wird und der Passat wieder aufkommt. Haboobs (Stürme), beeindruckende aber seltene Ereignisse (durchschnittlich 18 – 19 im Jahr), treten in der Übergangszeit Mai – Juni und in der folgenden Regenzeit häufiger auf (v.a. aus Süden und Osten). Etwa 65% aller Haboobs stürmen kürzer als 30 Minuten; lediglich 20% währen länger als eine Stunde. 70% erreichen Windstärken von 64 – 80 km/h; 25% erreichen Stärken von 80 – 96,5 km/h; lediglich 5% sind noch stärker.

Das Deflationsmaterial (Sand, Schluff) haftet durch die erhöhte Feuchtigkeit in der Regenzeit stärker am Boden.<sup>6)</sup> Die Grasdecke der Spätsommer- und Herbstmonate beruhigt den Wind in Bodennähe und vermindert ebenfalls den äolischen Transport von Korrasionsmaterial. Daher ist der Nordost-Passat der dominierende Sandtransporteur und der Verursacher der Versandung an der Westseite des Wadi. Außerdem verteilt die Unstetigkeit der Windrichtungen in den Sommermonaten die Korrasionsprozesse gleichmäßiger über alle Seiten der Bauwerke. Der Südwest-Monsun und die Stürme der Sommermonate bewirken also keine so starke Verwitterung wie der Passat. Das erklärt die graduell stärkere Erosion an den Nord- und Ostwänden der Bauwerke.

#### 4.2 DAS KORRASIONSMATERIAL

Art und Ausmaß der Korrasion hängen sehr von der Korngrößenverteilung und damit der Transportart der „Schleifmaterialien“ ab. Ab welcher Mindestkorngröße Abtragung statt Politur der Gesteinsoberflächen einsetzt, ist in der Geomorphologie nicht geklärt (Besler 1992: 85). Die Schäden an den 4 – 5 m hoch gelegenen Wandpartien des Apedemak-Tempels belegen, daß selbst feine, bei Wind auffliegende Partikel (Suspension, Staubwind) mit Korngrößen < 0,16mm Gesteinsabtragung und Patinaverlust bewirken können.

Sand und Feinsand mit Korngrößen von 0,16 – 0,5 mm haben stark abtragende Wirkung.

6) Schon 0,6 Vol% Feuchtigkeit verdoppeln die Kohäsionskräfte von trockenen Sandkörnern, s. Besler 1992: 83.



Abb. 7:  
Detail von Abb. 6. Die untere Wandpartie war schon vor dem Wiederaufbau des Tempels der Verwitterung ausgesetzt. Die tiefen Aussprengungen in Höhe der Oberschenkel des Amun markieren die Oberkante einer ehemaligen Echodüne. Hier wirkten Salzdruckverwitterung und Korrasion besonders stark. Die höheren Mauerpartien mit leichteren Korrasionschäden durch Staubwind sind erst seit der Rekonstruktion der Verwitterung ausgesetzt (Foto: P. Wolf).

Sie werden bei den durchschnittlichen Windstärken unserer Region (12,6 – 25 km/h) durch Saltation bewegt (Besler 1992: 95). Auch Sanddünen setzen sich überwiegend aus dieser Fraktion zusammen. Saltation ist eine Form des Sandtransportes: Durch Wind getriebene Sandkörner übertragen ihre kinetische Energie beim Zusammenstoß mit ruhenden Sandkörnern auf letztere und veranlassen sie, senkrecht in die Höhe zu springen. Durch die Überlagerung von Schwerkraft und horizontalem Winddruck beschreiben die springenden Körner eine parabelförmige Flugbahn. Die Sprunghöhe bleibt in der Regel unterhalb eines Meters.<sup>7)</sup> Durch Windwirbel kann allerdings eine Höhe von 2 – 3 Metern erreicht werden. Die größte Korrasionswirkung liegt wenige Dezimeter über der Bodenoberfläche: Hier erreicht der Sand die größten Geschwindigkeiten; außerdem nimmt die Menge des transportierten Materials exponentiell mit der Höhe ab (Besler 1992: 85, 96).

Partikel mit Korngrößen > 0,5 mm werden oberhalb der durchschnittlichen regionalen Windstärken (21,6 – 43,2 km/h) nur noch rollend (durch Reptation) bewegt und akkumulie-

7) Nach Besler (1992: 96) konnten selbst starke Stürme Partikel > 0,25 mm nicht höher als etwa 50 cm springen lassen.



Abb. 8:  
Korrasionsschäden  
an der Ostseite des  
Zentraltempels der  
Großen Anlage  
(1995). Die Säulen-  
basis ist in Höhe der  
Oberkante der ehe-  
maligen Sanddüne  
fast vollständig ver-  
wittert. Im Hinter-  
grund Korrasions-  
schäden durch  
Sandschliff an der  
Ostwand des  
Tempels  
(Foto: P. Wolf).



ren als Rippeln bzw. Megarippeln (20 – 50 cm Höhe, Besler 1992: 91-92). Daher kommen sie als Korrasionsmaterial kaum in Betracht, sind aber hervorragende Dünenbildner an Hindernissen. Kies mit Korngrößen > 2 – 4 mm wird durch Wind nicht transportiert (Besler 1992: 91).

#### 4.3 SANDQUELLEN, GEOMORPHOLOGIE UND TOPOGRAPHIE VON MUSAWWARAT

Die Transportart (Saltation) der die schweren Schäden hervorrufenden Sande und Feinsande bewirkt ihre Akkumulation als Echodünen im Luv größerer Hindernisse und in deren Lee als Sandrampen (s. Kap. 3.1 u. 4.2). An der Ostseite des Wadi es Sufra, beispielsweise am Apedemak-Tempel, akkumulieren keine Sanddünen (vgl. Abb. 6).<sup>8)</sup> Daher kann für dessen rezente Korrasionserscheinungen nur Staubwind ver-

8) Ein Hindernis von der Größe des Apedemak-Tempels müsste eine Echodüne mit einer Ausdehnung von 1,5 – 8,5 m, einem Pik von etwa 2 m in einer Distanz von 3 – 3,5 m vor dem Tempel produzieren. Auch in der Wirbelzone im Lee des Tempels müssten sich Dünen oder Sandrampen herausbilden. Das Grabungshaus und den Tempel II A umgeben ebenfalls keine nennenswerten Sandakkumulationen.

antwortlich sein, der ja kein Dünenbildner ist. Hier wirken folglich ganz andere Materialien und Prozesse als auf der Westseite des Wadi, wo Feinsande und Sande meterhohe Dünen und Rampen aufgetürmt haben.

Zur Erklärung dieses Phänomens müssen wir die möglichen Quellen des Korrasionsmaterials Sand und die Windverhältnisse in Musawwarat genauer untersuchen. Sand lagert sich immer unweit seiner Quelle ab und wandert nur in Dünen über weite Strecken. In Musawwarat gibt es nur wenige Sandquellen. Die Sandstein-Hammada der Tafelberge verhält sich hinsichtlich Erosion und Deflation nahezu stabil, was durch ihre durchgängig schwarze Färbung angezeigt wird (vgl. Besler 1992: 126). Die Serir-Flächen im Wadi produzieren durch ihre schützende Kiesschicht ebenfalls kein Deflationsmaterial, und auch die Sohle des Wadi es Sufra ist eine wenig ergiebige Sandquelle, weil der anstehende Boden durch wasserlösliche Eisenoxide verkitet ist (Hintze et al. 1993: 340). Nur sporadisch bedecken flache Dünen den gewachsenen Boden, driften in südwestlicher Richtung und akkumulieren in der Nähe von Grasbüscheln oder in Bodensenken.

Das läßt zunächst einmal vermuten, daß die Sandmassen in der Großen Anlage – auf der Westseite des Wadi es Sufra – nicht aus dem Wadi stammen, sondern durch den Passat aus dem Norden in das hier nordsüd-verlaufende Wadi eingebracht wurden. Die mächtigen fixierten Sandrampen (mit meso- und neolithischen Artefakten) auf den Fußflächen der das Wadi an der Westseite begrenzenden Tafelberge zeigen, daß dies schon seit Menschengedenken so ist. Die westlichen Fußflächen der östlichen Tafelberge sind dagegen fast sandfrei. Offenbar formen die Tafelberge im Osten und Nordosten des Wadi eine natürliche Sandbarriere. Die Morphologie des Wadi in Musawwarat und die des Jebel es Sufra im Besonderen verursachen, daß genau die ostseitigen Gebiete um den Hafir von größeren Sandanwehungen verschont bleiben, während der Passat die eingewehten Sandmassen nach Südwesten drückt. Das läßt sich übrigens auch auf Satellitenaufnahmen nachvollziehen.

Für die „Sandarmut“ in der Umgebung des Apedemak-Tempels spielt möglicherweise auch der große Hafir eine Rolle. Der Tempel befindet sich etwa 100 m im Lee des südwestlichen Hafir-Walles. Die Wälle dieses antiken Wasserspeichers, mit einem Durchmesser von etwa 250 m, erreichen noch heute eine Höhe von 5 – 7 m. Bodenproben aus dem Zentrum des Hafir enthielten 60% Sandkornanteile, die auf Grund

ihrer Korngröße nicht durch Wasser eingespült, sondern nur eingeweht worden sein können (Hintze et al. 1993: 341). Die Wälle des Hafirs und die in seinem Inneren wachsende Vegetation (Gras, Büsche, Durra) bieten einen Windschutz und einen Akkumulationspool für das aus dem Nordosten antransportierte Sandmaterial. Getrieben vom Passat „wandert“ der Sand (Saltation und Reptation, s. Kap. 4.2) über den nordöstlichen Hafir-Wall und wird in der windberuhigten Innenzone abgelagert. Denn hier erreichen die Windstärken nur noch geringe Werte, so daß Fein- und Mittelsande den Südwestwall nicht mehr überwinden können – insbesondere in der Regenzeit und den folgenden Monaten, in denen die Vegetation und die Bodenfeuchtigkeit im Hafir noch besonders hoch sind. Auf diese Weise wirkt der Hafir wie ein Sandfilter und wird den Tempel solange schützen, bis der Hafir vollständig versandet ist.

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR SCHUTZMASSNAHMEN

1. Als Motor der Winderosion dominiert der Nordost-Passat. Demgegenüber kann die Wirkung des sommerlichen Südwest-Monsuns vernachlässigt werden. Um Schutzmaßnahmen möglichst ökonomisch einzusetzen, sollten die Denkmäler in erster Linie gegen Witterungseinflüsse aus dem Nordosten geschützt werden.
2. Offenbar auf Grund der spezifischen geomorphologisch-topographischen Verhältnisse findet an der Ostseite des Wadi, insbesondere in der näheren Umgebung des Apedemak-Tempels, kein nennenswerter Sandtransport statt. Durch die ebene Serir-Fläche in seiner Umgebung und nach der Entfernung von Gesteinstrümmern und Sanddünen sind die Voraussetzungen für Windwirbel seit dem Wiederaufbau des Tempels weitgehend ausgeschlossen (Abb. 6). Dadurch werden schwere Korrasionserscheinungen, falls sie mangels grobkörnigen Korrasionsmaterials überhaupt in nennenswertem Umfang stattfinden, auf die unteren Steinlagen begrenzt (Abb. 7). Die gegenwärtige Korra-

9) Durch die Herstellung möglichst gleichmäßiger Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen und die Entfernung der wasserlöslichen Salze aus den Steinblöcken. Für den Tempel II A ist damit im Frühjahr 1995 mit dem Bau eines Schatten- und Regendaches schon begonnen worden.



Abb. 9:  
Graffito 102/7 an  
der Südseite des  
Zentraltempels im  
Jahre 1964,  
(Foto: U. Hintze).



Abb. 10:  
Dasselbe Graffito im  
Frühjahr 1995 ver-  
deutlicht die Zer-  
störungskraft sand-  
haltiger Windwirbel  
im Lee von Hinder-  
nissen,  
(Foto: P. Wolf).

sion wirkt hier wahrscheinlich nicht so stark wie beispielsweise die Salzdruckverwitterung, die jedoch durch das Herausblasen von Gesteinskristallen aus dem zermürbten Gesteinsgefüge unterstützt wird. Die Außenreliefs des Apedemak-Tempels (Abb. 7) bieten jedoch dem Staubwind viel strukturierte Angriffsfläche, so daß bei sonst gleichen Verhältnissen Staubwind und Mikrowirbel eine graduell stärkere Korrasion hervorrufen als an relieflosen Wänden. Schutzmaßnahmen auf der Ostseite des Wadi (Apedemak-Tempel und Tempel II A) sollte man folglich auf die Verminderung der Salzdruckverwitterung konzentrieren.<sup>9)</sup> Bei Antikorrasionsmaßnahmen ist die Windberuhigung (Staubwind) wichtiger als das Stoppen des Sandtransportes.

3. Die Bauten auf der Westseite des Wadi, insbesondere die Große Anlage, sind der Wind- und Sanderosion wesentlich stärker ausgesetzt, da hier weitaus größere Mengen an Sanden und Feinsanden angeliefert werden (Abb. 2 – 3). Sandschliff ist naturgemäß wesentlich aggressiver als die Wirkung des Staubwindes (vgl. Abb. 7 u. 8). Die dem Sand eigentümliche Transportart, die Saltation, begrenzt den Hauptschaden zwar auf die Zone von etwa einem halben Meter oberhalb der Bodenober-

fläche. Doch mit dem Anwachsen der Sanddünen überzieht dieser Zerstörungstreifen die gesamte Wandfläche der dem Wind ausgesetzten Nord- und Ostwände. An den West- und Südwänden freistehender und dem Wind stark ausgesetzter Mauern wirkt Korrasion durch sandhaltige Windwirbel mindestens ebenso stark (Abb. 2, 9, 10). Ein weiterer Faktor sind die Sanddünen selbst. Ihre Fähigkeit zur Feuchtigkeitsspeicherung fördert das Eindringen wasserlöslicher Salze in höhere Mauerzonen und verstärkt dort die Salzdruckverwitterung. Auch hierbei zerstört das Wachsen der Dünen die gesamte Wandoberfläche. Hier muß die erste Maßnahme zunächst darin bestehen, die Sandmassen aus der Großen Anlage zu entfernen und ein weiteres Sandeindringen zu stoppen. Erst in zweiter Linie ist an eine Beruhigung des Staubwindes zu denken, eine Aufgabe, die in Anbetracht der riesigen Ausdehnung der Großen Anlage (ca. 64000 m<sup>2</sup>) nicht gerade trivial ist. Die Alternative der vollständigen Bedeckung

der Großen Anlage mit Sand ist angesichts ihrer Größe nicht realistisch.<sup>10)</sup>

4. Um die Entstehung von Windwirbeln, welche die Korrasion in höhere Wandbereiche tragen, zu vermindern, sollten in der Nähe von Bauwerken umherliegende Trümmer fortgeräumt werden.<sup>11)</sup> Bauhistorisch wertvolle Architekturelemente oder primär bzw. sekundär dekorierte Blöcke müssen besonders geschützt werden (windgeschütztes Steindepot; Einlagerung im Grabungsmagazin bzw. im Museum; Vergraben bzw. vollständiges Versanden).<sup>12)</sup>
5. Der Desertifikationsprozeß der Butana-Region wird auch vor Musawwarat nicht haltmachen. Möglicherweise wird die hiesige ökologische Situation schon in absehbarer Zeit derjenigen in Begrawiya sehr ähnlich sein. Neben kurzfristigen Schutzmaßnahmen müssen wir also auch über langfristige Schutzmaßnahmen nachdenken. •

10) Bei kleineren Objekten ist die „vollständige Versandung“ besonders gefährdeter Architekturelemente durchaus machbar und wurde, beispielsweise am „Sonnentempel“ M 250 in Begrawiya, auch schon durchgeführt (s. Hinkel 1992: 171 – 172 u. Anm. 145 – 146).

11) Über Nutzen oder Schaden der Entfernung des Trümerschutts entlang der Mauern der Großen Anlage gibt es unterschiedliche Ansichten (vgl. Hinkel 1992: 157 ff[10]). Einerseits setzt man die Mauerfüße den Umwelteinflüssen aus, andererseits begrenzt man die Hauptzone der Erosion zunächst einmal auf die untersten Steinlagen und entfernt die Grundlage für Windwirbel. Die Zunahme der Wind- und Sanderosion in den 70er und 80er Jahren war in den 60er Jahren noch nicht voraussehbar. Hätte man die Gesteinstrümmer und Architekturblocke nach der damaligen Grabung wieder an die Mauern verfrachtet, wäre heute der

Grad der Korrasion und der Salzdruckverwitterung in den mittleren Mauerzonen möglicherweise viel schwerer.

12) Das gilt insbesondere für die in den 60er Jahren inmitten der Höfe gelagerten Architekturblocke, die der starken Korrasion in Bodennähe ausgeliefert sind (vgl. Hinkel 1992: 157 ff[10]). In Vorbereitung einer Umlagerung und Bergung dieser Blöcke wurde im Frühjahr 1995 ein detaillierter Verteilungs-Plan erarbeitet. Stark gefährdete Objekte wie einige der Säulen vor dem Zentraltempel der Großen Anlage wurden ummauert und mit Sand verschüttet. Zwei einzigartige, tiergestaltige Säulenbasen aus Raum 108 wurden in situ vergraben. Ehemals in der Nähe des Tempels II A gelagerte Architekturblocke wurden in das Innere des mit einem Schutzbau versehenen Tempels gebracht.

## LITERATUR

- Akhtar, M.: MORPHODYNAMISCHE PROZESSE UND IHR EINFLUSS AUF DAS NUTZUNGSPOTENTIAL IN DEN WADIS DER NÖRDLICHEN BUTANA/REGION SHENDI (REPUBLIK SUDAN); Hannover 1990, DA nicht publiziert.
- Akhtar, M./Menschling, H.G./Domnick, I.: METHODS APPLIED FOR RECORDING DESERTIFICATION AND THEIR RESULTS FROM THE SAHEL REGION OF THE REPUBLIC OF SUDAN; Desertification Control Bulletin 25, 1994, 40 – 47.
- Besler, H.: GEOMORPHOLOGIE DER ARIDEN GEBIETE; Darmstadt 1992.
- Breasted, J.H.: SECOND PRELIMINARY REPORT OF THE EGYPTIAN EXPEDITION, THE MONUMENTS OF SUDANESE NUBIA, THE ORIENTAL EXPLORATION FUND OF THE UNIVERSITY OF CHICAGO, EGYPTIAN SECTION, REPORTS TO THE GENERAL DIRECTOR; AJSL 25, 1 – 110, 1908.
- Fitzenreiter, M.: MUSAWWARAT ES-SUFRA, KAMPAGNE FEB./MÄRZ 1993, BEGEBUNG GROSSE ANLAGE; Berlin 1993, nicht veröffentlicht.
- Hinkel, F.W.: PRESERVATION AND RESTORATION OF MONUMENTS. CAUSES OF DETERIORATION AND MEASURES FOR PROTECTION; Études Nubiennes, vol. I, Actes du VIIe Congrès int. d'Études Nubiennes, 3. – 8.9.1990, Genève 1992, 147 – 185.
- Hintze, F.: MUSAWWARAT ES SUFRA. VORBERICHT ÜBER DIE AUSGRABUNGEN DES INSTITUTS FÜR ÄGYPTOLOGIE DER HUMBOLDT-UNIVERSITÄT, 1963 BIS 1966 (VIERTE BIS SECHSTE KAMPAGNE); Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Gesellschafts- und Sprachwissenschaftliche Reihe 17, 667 – 684, Berlin 1968.
- Hintze, F.: MUSAWWARAT ES SUFRA – VORBERICHT ÜBER DIE AUSGRABUNGEN DES INSTITUTS FÜR ÄGYPTOLOGIE DER HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN 1968 (SIEBENTE KAMPAGNE); Berliner Beiträge zur Ägyptologie und Sudanarchäologie, Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Gesellschafts- und Sprachwissenschaftliche Reihe 20, 227-245, Berlin 1971.
- Hintze, F. et al.: MUSAWWARAT ES SUFRA I,2: DER LÖWENTEMPEL; Tafelband, Berlin 1971.
- Hintze, F. et al.: MUSAWWARAT ES SUFRA. I,1. DER LÖWENTEMPEL; Textband, Berlin 1993.
- Hofmann, I./Tomandl H.: UNBEKANNTES MEROE; Beiträge zur Sudanarchäologie, Beiheft 1, Wien-Mödling 1986.
- Kuschetzki, A.: KLIMA – EIN LIMITIERENDER FAKTORENKOMPLEX; Akhtar 1990: 11 – 34.
- Kuschetzki, A.: DER WANDEL DER LANDNUTZUNGSSTRUKTUR UND DER SOZIOÖKONOMISCHEN VERHÄLTNISSE; Akhtar 1990: 52 – 56.
- Martinet, G.: GRÈS ET MORTIERS DU TEMPLE D'AMON À KARNAK (HAUTE EGYPTE); Etude des altérations aide à la restauration, Paris 1992.
- Menschling, H.: DER SAHEL IN WESTAFRIKA; Hamburger Geographische Studien 24, 61 – 69, 1971.
- Oliver, J.: THE CLIMATE OF KHARTOUM PROVINCE; Sudan Notes & Records 46, 90 – 129, 1965.
- Pittertschatscher, M.: BERICHT [ÜBER DIE KONSERVATORISCHEN ARBEITEN WÄHREND DER FRÜHJAHRESKAMPAGNE 1995 IN MUSAWWARAT ES SUFRA]; Bozen 1995, nicht veröffentlicht.