



THOMAS SCHEIBNER

NEUE ERKENNTNISSE ZUR WASSERVERSORGUNG VON MUSAWWARAT ES SUFRA (I) DAS ÜBERGEORDNETE WASSERVERSORGUNGSSYSTEM - TEIL I: WASSERGEWINNUNG UND -SPEICHERUNG

I. EINFÜHRUNG

1.1 Vorbemerkung

Für das Leben im antiken Musawwarat es Sufra war – genau wie im heutigen – die Sicherstellung der Wasserversorgung die *conditio sine qua non*. In Musawwarat kam zu den physiologischen Erfordernissen einer menschlichen Population, deren Größe wir nicht kennen, und ihrer potentiell vorhandenen Nutztiere und -pflanzen noch der Bedarf an Brauchwasser hinzu, dessen es für die soziokulturell und ideell-religiös motivierte Gestaltung der Umwelt bedurfte. Hierzu gehören die Bautätigkeit im großen Rahmen ebenso wie die Sicherstellung kleiner dimensionierter Vorhaben, wie etwa die Einrichtung und Unterhaltung eines Gartens in der Großen Anlage. Das Wasser war also nicht länger nur eine physiologische Notwendigkeit, sondern wurde mehr und mehr zum kulturellen und technologisch-ökonomischen Faktor.

1.2 Allgemeiner Aufbau und funktionaler Zusammenhang des Wasserversorgungssystems

Wasserversorgung lässt sich ganz allgemein als ein Prozess beschreiben, der die Nutzbarmachung natürlicher Wasserressourcen für den Menschen beinhaltet. Hierfür sind – je nach naturräumlicher Ausstattung – verschiedene Teilprozesse erforderlich. Sie reichen von der Wassergewinnung über die Bereitstellung „auf Abruf“ am jeweiligen Nutzungsort bzw. für den jeweiligen Verwendungszweck bis hin zur eventuellen Entsorgung und/oder Rückgewinnung im Rahmen des Ressourcenmanagements. Ein Wasserversorgungssystem muss oder kann sich daher in mehrere Subsysteme gliedern, welche in einer funktionalen bzw. prozessbedingten Verbindung zueinander stehen:

1. das Subsystem der Wassergewinnung
2. das Subsystem der Wasserspeicherung
(evtl. unterschiedlicher Kategorie)

3. das Subsystem des Wassertransports
(evtl. unterschiedlicher Kategorie)
4. das Subsystem der Wasserverteilung
(evtl. unterschiedlicher Kategorie)
5. das Subsystem der Konsumenten/Verbraucher
6. das Subsystem der Entsorgung und/oder Rückgewinnung

Jedoch ist nicht jedes dieser Subsysteme für das Funktionieren des gesamten Versorgungssystems erforderlich. So sind insbesondere die Subsysteme 4 und 6 optionale Komponenten. Überdies sind nicht für jedes Subsystem technische Installationen notwendig. Die Wassergewinnung kann durch simples Schöpfen aus einem offenen (natürlichen) Gewässer geschehen, welches gleichzeitig den Wasservorrat (Speicher) darstellt, und der Wassertransport oder die -verteilung können durch menschliche oder tierische Arbeitskraft erfolgen. Grundsätzlich kann auch die Abfolge bestimmter Komponenten bzw. Teilsysteme alternieren, oder sie können mehrfach und in verschiedenen funktionalen Kategorien vorhanden sein. Im Hinblick auf Letzteres ist also zwischen einer übergeordneten Wasserversorgung und ihr nachgeordneten, an sie angeschlossenen Systemen zu unterscheiden.

Zur Nutzungszeit des antiken Musawwarat müssen alle erforderlichen Systemkomponenten auch hier existiert und funktioniert haben. Dabei steht außer Frage, dass z. B. die Bewässerung des Gartens in der Großen Anlage nicht das übergeordnete, primäre Ziel der Bemühungen der antiken Ingenieure und Baumeister um die Lösung des Wasserversorgungsproblems gewesen sein kann. Vielmehr mussten die wasserbaulichen Grundlagen, derer es zur Aufrechterhaltung eines Gartens in dieser Region bedurfte, zuvor unter anderen, nämlich existenziellen und wirtschaftlich-technologischen Gesichtspunkten geschaffen worden sein. Das Bewässerungssystem für den Garten in der Großen Anlage war ein nachgeordnetes System, das von einem bereits etablierten, übergeordneten Wasserversorgungssystem abhing. In sich wurde es nach dem selben Grund-



prinzip strukturiert, sein interner Systemaufbau begann jedoch mit einem Subsystem der Wasserspeicherung niedrigerer Kategorie, d. h. mit einer Zwischenspeicherkomponente; eine spezielle Wassergewinnung für den Garten selbst ist kaum wahrscheinlich. Insgesamt erweist sich das Gartenbewässerungssystem daher als ein untergeordnetes Teilsystem der gesamten Wasserversorgung in Musawwarat.

Im Folgenden soll nun der derzeitige Kenntnisstand zu den Subsystemen der Wassergewinnung und der Wasserspeicherung und ihren Komponenten innerhalb des übergeordneten Wasserversorgungssystems von Musawwarat es Sufra erörtert werden.

1.3 Naturräumliche Voraussetzungen und technologische Grundlagen der Wassergewinnung im antiken Musawwarat

In Musawwarat stellt die Wassergewinnung ein vielschichtiges Problem dar. Das Fehlen perennierender offener Gewässer und die wahrscheinlich auch in antiker Zeit bereits erhebliche Tiefe der Grundwassersertafel (s. unten) gestatteten keine simple Wasserentnahme, sondern erforderten technisch aufwändige Installationen zur Wassergewinnung. Denn die einzige in größerer Menge verfügbare Wasserressource war der niederschlagsbedingte Oberflächenabfluss.

So zeigen Untersuchungen zur Auffüllung der Grundwasserleiter in der Nubischen Formation anhand isotopengestützter Bestimmung des Grundwasseralters, dass eine überregional wirksame Zusickerung ins Grundwasser für die gesamten letzten 5000 Jahre ausgeschlossen werden kann (Vrbka 1996, 67ff.). Seitdem läuft der Grundwasserleiter in nördliche Richtung aus. Die Tiefe der Grundwassersertafel (rezent ca. 85 m) konnte auf der Grundlage von Untersuchungen zum Auslaufverhalten des Grundwasserleiters in der Bayuda (Vrbka 1996, 117f.) vom Verfasser für das Gebiet von Musawwarat in kuschitischer Zeit modellhaft zwischen 47,5 – 60 m Tiefe (um 500 v. Chr.) und 60–69 m Tiefe (im 4. Jh. n. Chr.) simuliert werden (Scheibner 2003). Interessant ist in diesem Zusammenhang und speziell im Hinblick auf die antiken Niederschlagsverhältnisse, dass nach Darling et al. (1987, 206ff., zit. in: Akhtar-Schuster 1995, 33) die effektive Auffüllung der Nubischen Aquifere in der Keraba erst oberhalb von 220 mm Jahresniederschlag stattfindet. Dies könnte einen Anhaltspunkt zur Rekonstruktion auch der antiken Niederschlagssummen in der Keraba liefern, da sie demnach diesen Wert wohl seit ca. 5000 Jahren nicht wesentlich überschritten haben dürften. Die gegenwärtigen Jahresniederschlagssummen in Musawwarat werden aufgrund der hier

breitenparallelen Zonierung mit nur geringen Abweichungen den Werten von Shendi entsprechen. In der Gegenwart beträgt das langjährige Niederschlagsmittel demzufolge etwa 100 mm (Station Shendi 1950–1988; vgl. Schmidt 1998, 68). Die Verdunstung liegt um 2500 mm/Jahr (vgl. Ireland 1948, 83: Tab. 11; Rzóška 1976, 152; Vrbka 1996, 15).

Unter den in Musawwarat gegebenen naturräumlichen Bedingungen ist also Wasser erst dann "gewonnen", d. h. längerfristig nutzbar, wenn es einmal gespeichert wurde. Wassergewinnung musste also gleichbedeutend sein mit Wassersammlung, -ableitung und -speicherung. In so fern lassen sich in diesem speziellen Fall die Wassergewinnung und -speicherung funktional und vom Effekt her nicht allzu scharf voneinander trennen. In Musawwarat wurden die Wassergewinnung und übergeordnete -speicherung durch mindestens zwei (s. unten) Hafire realisiert – den Großen Hafir II H und den Kleinen Hafir I E (Plan 1, Seite 199). Hafire sind aber ein generelles Phänomen im Sudan, und es kann davon ausgegangen werden, dass sie (spätestens) seit kuschitischer Zeit zum Zweck der Wassergewinnung errichtet wurden.

Grundsätzlich sind Hafire als in den Untergrund eingetiefte Wasserauffangbecken zu definieren (vgl. auch M. Hinkel 1991, 32), die der *erstmaligen* Speicherung des in sie eingeleiteten oberflächlichen Niederschlagsabflusses der Regenzeit dienen. Genau hierin liegt ihre definitorische Abgrenzung in funktionaler Hinsicht, durch die sich die Hafire von jenen anderen in den Untergrund eingetieften Wasserspeichern (niedrigerer Kategorie) unterscheiden, denen bereits zuvor gespeichertes Wasser zugeführt wird, z. B. Wasserbecken. Die Hafire sind zumeist(?) von einem mehr oder weniger konzentrischen Wall des aufgehäuften Aushubmaterials umgeben, der an mindestens einer Stelle eine Öffnung für den Zulauf des Wassers frei lässt.

Die Hafire selbst erweisen sich jedoch nicht als Universallösung, die ohne weitere technische Anlagen ihre volle Funktionstüchtigkeit erreichen konnte. Insbesondere musste das Wasser in den Hafir geleitet werden. Es galt also, ein Einzugsgebiet (*catchment area*) zu erschließen. Die in diesem Gebiet typischen Starkregen führen in Zusammenhang mit der geringen Vegetationsdichte innerhalb relativ kurzer Zeit zu einem enormen Oberflächenabfluss, für dessen Zustandekommen neben der Niederschlagsmenge bzw. -intensität das Verhältnis von Versickerung und Abfluss von grundlegender Bedeutung ist. Der bewuchsarme, trockene und verhärtete Boden kann die Wassermengen nicht aufnehmen. Entsprechend der Reliefgliederung geht dieser Abfluss entweder als großflächige Schichtflut im ebenen Gelände ab, wird in mitunter weitverzweigten flachen Spülrinnen abtransportiert oder er folgt den großen, z. T.



tief eingeschnittenen Wadis. Dabei können recht konzentrierte Abflussverhältnisse entstehen, etwa in engen Talungen des Sandsteinplateaus, wie z. B. im Wadi Ma'afar östlich des Großen Hafirs von Musawwarat. Im potentiellen Einzugsgebiet des Hafirs bedurfte es also eines Entwässerungs- oder Drainagesystems, das dem aus Geländemorphologie, Untergrund- und Niederschlagsverhältnissen sowie Bewuchs resultierenden Abflussverhalten angepasst war, um das oberflächlich abfließende Niederschlagswasser zu sammeln und konzentriert sowie zielgerichtet abzuleiten und so die Befüllung des Hafirs sicherzustellen. Ebenso wie die technische Lösung dieser Aufgabe musste sich auch die Positionierung der Hafire im Gelände vor allem am Abflussverhalten im Einzugsgebiet orientieren.

Dass der Oberflächenabfluss in der Regenzeit eine beachtliche Größenordnung erreichte und mit entsprechenden Auffangbecken gewaltige Wassermengen gewonnen werden konnten, lässt sich unschwer am enormen Speichervermögen des Großen Hafirs (vgl. unten) ablesen. Der Verlockung, hieraus auf ein im Rezentvergleich feuchteres Klima bzw. höhere jährliche Niederschlagsmengen zu schließen, muss man jedoch mit Vorsicht begegnen. Bereits Viète (1961, 23ff.) hat mit Recht darauf hingewiesen, dass sich das Fassungsvermögen des Großen Hafirs durchaus an einem entsprechend großen Einzugsgebiet orientiert haben kann und nicht in der absoluten Niederschlagsmenge selbst begründet sein muss.

Andere Möglichkeiten der Ressourcennutzung oder Technologien der Wassergewinnung sind für das antike Musawwarat bislang nicht belegt. Zwar finden sich für im Niltal gelegene kuschitische Fundplätze selbstverständlich Hinweise auf Brunnen. Die Annahme einer Anlage und Nutzung von Tiefbrunnen in kuschitischer Zeit in der Keraba (Bradley 1992, 176) ist aber wegen des sehr wahrscheinlich auch in antiker Zeit tiefen Grundwasserstandes nilferner Standorte im Einzelnen zu überprüfen. Jedenfalls stellt die Tiefe des modellhaft zu erwartenden antiken Grundwasserstandes (vgl. oben) kein überzeugendes Argument für die Annahme einer grundwassergestützten Vegetation oder einer ausgedehnten Nutzung des Grundwassers im antiken Musawwarat durch Tiefbrunnen zur Verfügung.¹⁾ Auf das Problem von Staudämmen soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da sie – mit einer möglichen Ausnahme in Shaq-el-Ahmar (Hinkel 1985, 173ff.) – für das antike Kusch nicht belegt sind.

2. HAFIRE ALS KOMPONENTEN DES ÜBERGEORDNETEN WASSERVERSORGUNGSSYSTEMS

2.1 *Die Wassergewinnung in Musawwarat: Die Hafire und ihre Einzugsgebiete*

2.1.1 *Lage und Einzugsgebiet des Großen Hafirs (II H)*

Unter anderem aus der Notwendigkeit der Wasserzufuhr aus einem hinreichend großen Einzugsgebiet sowie dessen möglichst vollständiger Ausnutzung erklärt sich auch die Lage des Großen Hafirs etwa 500 m vor dem Westrand des Sandsteinplateaus, also in relativ großer Entfernung vom Ausgang des schmalen nördlichen Seitentaldurchbruchs des Wadi Ma'afar zwischen dem Gebel es Sufra und dem südsüdwestlich vorgelagerten Zeugenberg (Abb. 1 u. 3, Plan 1). Dieser Durchbruch wurde seit den 60er Jahren als wahrscheinlicher ehemaliger Zufluss zum Großen Hafir angesehen und daher als "Hafirwadi" bezeichnet (Viète 1961, 16 u. Skizze 2). Dies hatte seinen Hauptgrund wohl in der direkten Achse, die dieser Durchbruch mit dem Einlass des Hafirs bildet (Abb. 1). Jedoch trifft diese Annahme nicht zu.

Denn die von Viète als nachmeroitisch entstandener Hangschuttstrom eines Bergsturzes angesehene Abriegelung dieses Taldurchbruches, ca. 250 m oberhalb dessen Einmündung in die Ebene, ist vielmehr eine Paläo- bzw. fossile Düne, ein sogenannter Qôz. Das Phänomen dieser Paläodünen ist in weiten Gebieten des Sudan verbreitet, besonders landschaftsprägend sind sie in Kordofan und Darfur (Whiteman 1971, 136 ff.), ebenso in der Bayuda, z. B. im Gebiet des Qôz Abu Dulu (Gläser, Pflaumbaum und Mensching 1988, 5); ihre Verbreitung reicht aber

1) Vrbka (1996, 36) illustriert auch den Aufwand für die Anlage eines grundwassergespeisten Schöpfbrunnens: In einem in der Bayuda geführten Feldinterview geben die befragten Bewohner an, dass es zur Anlage eines 100 m tiefen Brunnens der Handarbeit zweier Männer bedarf – einer in der Tiefe schachtend und einer oben mit einem Seil zur Abraumförderung – und dass der Zeitaufwand etwa 2 Jahre beträgt. Das Problem ist dabei, dass sich die Arbeit durch personellen Mehraufwand nicht sonderlich effektivieren lässt, denn es ist im Brunnenschacht gewöhnlich nur für einen Arbeiter Platz. Lediglich das häufigere Abwechseln, Schichtarbeit sozusagen, könnte den Fortgang vielleicht beschleunigen. Darüber gibt das Interview jedoch keine Auskunft, so dass nicht einmal sicher ist, ob diese Möglichkeit nicht bereits in der zweijährigen Dauer enthalten ist. Eine insgesamt plausiblere, aber archäologisch schwer nachzuweisende Möglichkeit wäre die Anlage flacher Brunnen innerhalb der Wadiläufe, die das durch Versickerung des Abflusses in der Regenzeit gebildete hängende Grundwasser (Vrbka 1996, 111) anzapften.



Abb. 1: Der Hafireinlass vom gegenüberliegenden Wall aus gesehen. Blick nach SE. Im Hintergrund das "Hafirwadi" und die nach Süden abfallende Paläodüne (Negativ-Nr. 311-8).

deutlich bis in die Regionen östlich des Nils.²⁾ Gabriel (pers. Mitt.) fand auf dem hier diskutierten Qôz im sogenannten "Hafirwadi" einen überzeugenden *terminus ante quem* für die Bildungszeit dieser Düne – in Form neolithischer Gräber.³⁾ Auch in der näheren Umgebung des Tales von Musawwarat finden sich weitere Beispiele dieser alten Dünenbildungen, so u. a. der Qôz Barmilo, auf dessen Oberfläche sich ein meroitische Gräberfeld befindet. In Ergänzung voran stehender Ausführungen sei noch die Auffassung des Verfassers erwähnt, dass es sich auch bei der hangartigen Abdachung der gesamten Westflanke des Talkessels von Musawwarat, westlich der Großen Anlage, um – hier möglicherweise stärker verspülte – Qôzbildungen handelt.

Das Wasser jedenfalls muss hauptsächlich⁴⁾ auf anderem Wege in den Hafir gelangt sein. Noch aus der heutigen Geländesituation ergibt sich, dass der Große Hafir aus einem nördlich von ihm gelegenen Einzugsgebiet gespeist worden sein muss. Das von Nordosten bis Osten kommende Wadi es Sufra biegt in der Talebene von Musawwarat nach Süden bis Südwesten um und entwässert dann direkt entlang des westlichen Hangfußes des Gebel-es-Sufra-Plateaus, heute also zwischen diesem und dem Großen Hafir (Abb. 2; 3). In Auswertung der Luftaufnahmen (Survey Department 1965: Bild-Nr. C 38/151 und C 44/055) kann die Ausdehnung dieses Einzugsgebietes in grober Näherung auf eine Größenordnung von etwa 12 km² geschätzt werden (Plan 2, Seite 200).

Dieses Einzugsgebiet speist hingegen nicht – oder nur mit einem geringeren Teil seiner Wasserführung – die Hauptabflussbahn im Zentrum des Talkessels

2) Ihre Entstehung ist auf Deflations- und nachfolgende Akkumulationsprozesse unter letztkaltzeitlichen Trockenbedingungen zurückzuführen, wobei ihre Hauptbildungszeit mit der mittelpaläolithischen Sebilian-Trockenphase korreliert wird, die vor 20.000 - 25.000 Jahren einsetzte (Whiteman 1971, 139). Anhand ihrer Untersuchungen in der Bayuda gliedern Gläser, Pflaumbaum und Mensching (1988, 6ff.) insgesamt drei Phasen der Qôz-Bildung aus, die jeweils durch vollaride Bedingungen gekennzeichnet sind: Die älteste Phase ("Alter Qôz") begann demnach möglicherweise noch im Jungtertiär und war spätestens um 40.000 B. P. abgeschlossen. Nach den darauf folgenden semiariden bis subhumiden Bedingungen des Jungpleistozäns beginnt eine zweite Phase um 25.000 -20.000 B. P. mit dem Einsetzen arider bis hyperarider Verhältnisse und intensiver äolischer Aktivität. Diese Phase korreliert mit der von Whiteman herausgestellten Qôz-Hauptbildungsphase des Sebilian (s. oben). Schließlich setzt nach der semiariden Phase des Älteren bis Mittleren Holozäns um etwa 6.600 B. P. die vollaride Phase des Jüngeren Holozäns im Nord-sudan ein, die zur Reaktivierung der Dünensande und zur Ausbildung des im Zuge äolischer Umlagerungsprozesse aufgewehten "Aktuellen Qôz" führte.

3) Die Gelegenheit zu ähnlichen Beobachtungen hatten Baldur Gabriel und der Verfasser bereits 1995 im Gebiet um Naqa, wo innerhalb von Paläodünensequenzen neolithische Siedlungsschichten zwischengeschaltet waren und auf diese Art sowohl über die ehemalige Oberfläche als auch über postneolithische Umlagerungs- und Dünenbildungsprozesse Aufschluss gaben.

4) Ein geringer Zustrom von den Berghängen beiderseits des offenen Abschnittes des "Hafirwadis" kann zweifellos vorhanden gewesen sein.



zwischen Großer Anlage und dem Großen Hafir. Diese wird statt dessen von den Hangflächen und Abflussrinnen der Wasserscheide zum Wadi Banat im Nordnordosten bis Nordnordwesten gespeist. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Anlage des Großen Hafirs und insbesondere die Aufschüttung seiner Wälle – in diesem Zusammenhang vorrangig des nördlichen Wallbereiches – zwangsläufig eine Änderung der Abflussbahn des Wadi es Sufra nach sich zog. Der heutige Abfluss scheint sich aufgrund des Hafirwalles in eine westlich ins Hauptwadi führende und in eine der vermutlichen alten Entwässerungslinie zwischen dem Hafir und dem Gebel es Sufra folgende Abflussbahn zu teilen. Aufgrund des Abschwemmkegels der Wälle geschieht diese Teilung zudem bereits weit nördlich bis nordöstlich des Hafirs selbst.

Der Große Hafir also wurde in der Ebene, etwa 500 m westlich vor dem Plateau so angelegt, dass die Hauptabflussbahn(en) des Wadi es Sufra zwischen Hafir und Hangfuß verliefen. Rechtwinklig zur Abflussrichtung wurde der Zulauf des Hafirs nach ESE bis SE orientiert (Abb. 3). Für diese Anlage des Hafirs und seines Einlasses gab es mehrere Gründe. Der Hafir wurde vermutlich auch deshalb außerhalb der Wadiabflussbahn errichtet, um ihn vor der erosiven Wirkung der Spülrinnen oder auch Schichtfluten zu schützen. Weiterhin ermöglichte die rechtwinklige bzw. seitliche Orientierung seines Zulaufes einen wirksamen Schutz gegen einschließende Wassermassen und gegen eine Überlastung des Hafirinneren und deren erosive Folgen. Vielmehr wurde das Wasser sehr wahrscheinlich durch eine künstliche Barriere, einen Sperr- bzw. Ablenkdamm, in seinem Abfluss nach Süden gebremst und – mit geringerer Fließgeschwindigkeit – nach Westen in den Hafir abgeleitet. Diese Variante bietet zudem die vorteilhafte Möglichkeit, bei Bedarf – in Sonderheit bei Erreichen des maximalen Füllstandes des Hafirs – die Sperre öffnen und das Wasser in seiner natürlichen Abflussrichtung weiterfließen lassen zu können.

Ein Hinweis auf Reste einer solchen Konstruktion könnte eine noch ca. 300 m südöstlich des Zulaufbereiches des Großen Hafirs vorhandene und dort etwa 40 m lange Steinreihe (II L; s. Plan 1) darstellen, die (mit Unterbrechungen) bis nahe an die südliche Zulaufwange reicht. Ihre Längsachse ist auf die südliche Einlaufwange des Hafirs orientiert. Die

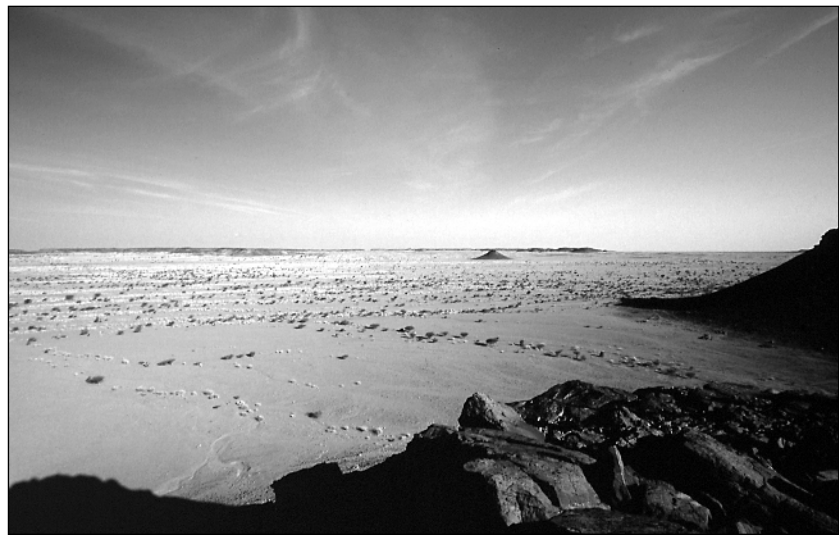


Abb. 2: Blick entlang der Westflanke des Gebel es Sufra nach Norden auf die Einmündung des Wadi es Sufra, dessen Abflussbahnen hier am Stufenfuß nach SW verlaufen (Foto: Scheibner).

Struktur war in der Kampagne 2002 bei einer Geländebegehung lokalisiert und eingemessen worden. Sie könnte die Fortsetzung einer entsprechenden linearen Struktur derselben Ausrichtung darstellen, die im Rahmen der geomagnetischen Untersuchungen des Jahres 2001 im südlichen Zulaufbereich erfasst wurde. Die Steinreihe besteht aus dicht aneinander gelegten grob zugearbeiteten Blöcken von etwa 30-50 cm Kantenlänge. Möglicherweise stellt sie die Reste eines solchen Ablenkdammes dar, der das oberflächlich abfließende Wasser in den Hafir leitete. Die Untersuchungen der Kampagne 2004 (s. Beitrag C. Jeuthe in diesem Heft) lassen leider keine allzu sicheren Rückschlüsse zu.

Eine weitere mögliche Determinante für die Lage des Hafirs könnte die Vorschaltung eines Absetzbeckens sein, für das genügend Raum bleiben musste. Anhaltspunkte für seine Existenz finden sich im Gelände sowie auf der Luftaufnahme (Bild-Nr. C 44/055) des Survey-Department von 1965 (Abb. 3). Auf dieser ist östlich des Hafireinlassbereiches eine v. a. nach Westen relativ scharf begrenzte hellere Fläche zu erkennen. Dieses Areal unterscheidet sich auch im Gelände von der Umgebung. Hier besteht die Geländeoberfläche aus einem sehr feinen, schluffig-tonigen Material, dessen Erscheinungsbild und Konsistenz stark an jenes Sediment erinnern, mit dem der Innenraum des Hafirs bedeckt ist. Dies ist nicht weiter verwunderlich, wenn man auch außerhalb des Hafirs eine ehemalige Hohlform, eben ein Absetzbecken, annimmt. Denn nur durch die Sedimentfallenwirkung kann sich dieses Feinmaterial hier akkumulieren.

Das ist auch die Ursache dafür, weshalb sich der sogenannte "Hafirschlamm" nirgends sonst im Talkessel von Musawwarat (mit Ausnahme der

Großen Anlage; vgl. unten) findet – er konnte oberhalb der spezifischen Transport-Grenzgeschwindigkeit nicht sedimentieren, sondern wurde in Suspension weiter vom Wasser mitgeführt. Nachdem das Absetzbecken nach Aufgabe der Anlagen aufsedimentiert war, betraf dies auch den Hafir. Sicherlich wäre auch bei funktionierendem Absetzbecken immer etwas Sedimentfracht mit dem zuströmenden Wasser in den Hafir gelangt, gerade suspensiertes Material. Denn im Absetzbecken werden naturgemäß zuerst die größten Kornfraktionen abgelagert, und es bedarf schon einer gewissen Zeit und zudem Stillwasserbedingungen, bevor sich auch die Trübe, der Schweb, absetzt. Diese Bedingungen waren sicher nicht permanent gegeben. Es bleibt insgesamt aber festzuhalten, dass ein Absetzbecken vor dem Hafir nicht nur überaus sinnvoll, sondern auch theoretisch möglich ist und in ersten Ansätzen wahrscheinlich gemacht werden kann.

Im Hinblick auf die mögliche Existenz eines solchen Absetzbeckens ist anzumerken, dass es dann eines Sperr- oder Ablenkdammes zur Beruhigung und Ableitung des Oberflächenabflusses im Zulaufbereich nicht mehr zwingend bedurft hätte. Denn das Wasser wäre dann direkt ins Absetzbecken geleitet und zweckmäßiger Weise mittels eines Überlaufes in den Hafir abgeführt worden.

Es mag aber noch einen weiteren Grund für diese Positionierung des Großen Hafirs gegeben haben. Er

könnte zusätzlich aus südöstlicher Richtung gespeist worden sein – und zwar aus dem Wadi Ma’afar. Dessen Abflussrinne verläuft von ihrer Einmündung in das Tal eigentlich direkt nach Südwesten zum Ausgang des Talkessels von Musawwarat. Jedoch lässt es die Geländesituation zu, dass zumindest ein Teil der Wassermassen um den an der Nordseite der Talmündung gelegenen Zeugenberg herum nach Nordwesten – in Richtung Hafir – fließt. Das Wadi Ma’afar verfügt über ein langgestrecktes talartiges Einzugsgebiet und weist aufgrund seiner Talmorphologie einen sehr konzentrierten Wasserabfluss auf. Gerade die Einmündung in den Talkessel von Musawwarat verengt sich zwischen dem Gebel es Sufra an der Nord- und dem Gebel Ma’afar an der Südflanke erheblich (s. Abb. 3). Diese Situation bildet günstige Voraussetzungen für die Erschließung und künstliche Ableitung des Wasserabflusses. Möglicherweise konnte mit entsprechenden Leitwällen und Sperrdämmen zumindest ein Teil des Abflusses aus diesem Wadi in den Großen Hafir umgeleitet werden. So erscheint insgesamt denkbar, dass der Große Hafir aus zwei Richtungen – gleichbedeutend mit zwei separaten Einzugsgebieten – gespeist wurde. Die Anzapfung des Abflusses im Wadi Ma’afar würde das Einzugsgebiet des Großen Hafirs um etwa 6 km² auf insgesamt ca. 18 km² vergrößern, wie sich der Luftaufnahme des Gebietes (Survey Department 1965: Bild-Nr. C 38/151) entnehmen lässt (Plan 2).

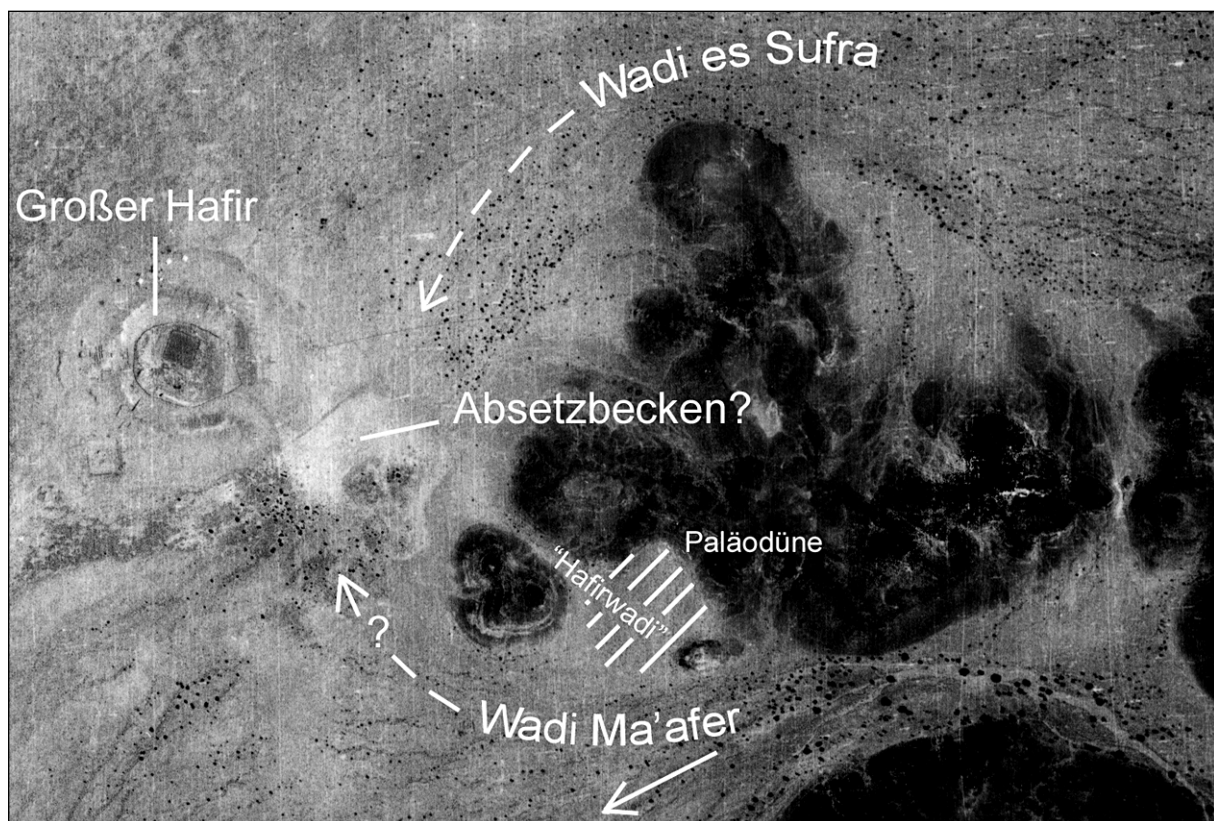


Abb. 3: Der Verlauf des Wadi es Sufra zwischen Großem Hafir und Stufenhang des Gebel es Sufra, eventueller Zustrom aus dem Wadi Ma’afar und Lage des möglichen Absetzbeckens (Survey Department Khartoum 1965, Luftbild Nr. C 44/055; Ausschnitt, verändert).



In der Frühjahrskampagne 2001 von SONTEC durchgeführte geophysikalische Untersuchungen im und vor dem Zulaufbereich des Großen Hafirs gestatten mit aller Vorsicht Rückschlüsse auf ein derartiges vorgeschaltetes Wassergewinnungssystem. Dieses könnte tatsächlich aus Wassergräben und -kanälen, flankierenden Leitwällen und Ablenkdammen bestanden haben, die auf diese Art den Wasserfluss im Einzugsgebiet kontrollierten und konzentrierten und schließlich dem Hafir zuführten. Eine ähnliche Konstruktion zur Sicherstellung der Befüllung eines Hafirs ist aus Umm Usuda bekannt. Hier waren aufgrund des geringen Gefälles der Geländeoberfläche seitlich der beiden Einlässe flankierende Sperrwälle errichtet worden. Sie verlaufen stumpfwinklig zueinander und riegeln so das Gelände auf einer Breite von etwa 750 m ab, um das oberflächlich abfließende Wasser in den Hafir zu leiten (vgl. M. Hinkel 1991, 42: Abb. 9).

Im Hinblick auf die Gründe für die Positionierung der Hafire ist es an dieser Stelle erforderlich, eine aus der Auswertung der geophysikalischen Untersuchungen der Kampagne 2002 hervorgegangene diesbezügliche Hypothese (Guldin und Kroll 2002) einer kritischen Überprüfung zu unterziehen. Hintergrund der Untersuchungen waren neben Fragestellungen zur Gestaltung der Zulaufbereiche vorrangig Überlegungen zur Anbindung der Hafire an Subsysteme des Wassertransportes. Zu diesem Zweck waren quadratisch um die Hafire umlaufende, 10 m breite Prospektionskorridore geplant und vermarktet worden, die nach ihrer geomagnetischen Untersuchung zusätzlich mit jeweils drei Bodenradarprofilen (Außenseite - Mitte - Innenseite) sondiert wurden. In Auswertung der Radarprofile wird die Anlage beider Hafire im Bereich bereits zuvor existierender natürlicher Senken postuliert, die für die Errichtung der Hafire lediglich ausgebaut worden seien (Guldin und Kroll 2002, 13, 16 und 18). Tatsächlich ist ein senkenförmiger Verlauf der Untergrundschichtung auf einigen Radarprofilen sichtbar. Dieser ist jedoch trügerisch und hat seine Ursache in einem methodischen Fehler, den alle an der Arbeit im Gelände Beteiligten einschließlich des Verfassers, dem er erst nach der Rückkehr bei der Sichtung der Radarprofile bewusst wurde, übersahen.

Das Prinzip dieses Fehlers ist so einfach wie wirkungsvoll: Es fehlt die Höhenreduktion – der Bezug zum Relief. Diese Senken im Untergrund existieren nicht. Das Radarprofil entsteht aus der Reflektion von Radarwellen an Schichtunstetigkeiten, und die so jeweils ermittelte Tiefenlage einer Unstetigkeit ergibt sich durch die Geschwindigkeits-Laufzeit-Relation der Wellen. Ein längerer Zeitraum zwischen der Aussendung und dem Empfang der (teil-)reflektierten Welle bedeutet also (theoretisch) eine größere Tiefe, wobei diese Beziehung materialab-

hängig und bei gleichbleibender Ausbreitungsgeschwindigkeit eine lineare ist. Die in Rede stehenden Radarprofile wurden in der graphischen Darstellung auf eine horizontale, ebene Oberfläche (= Profiloberkante) projiziert, obgleich einige den etwa kreisförmigen Wall- und Schwemmkegelbereich der Hafire als Sekanten schneiden. Sie verlaufen somit vom jeweils tiefer gelegenen Außenbereich auf einer Hafirseite über den höhergelegenen zentraleren Profilbereich zum wiederum tieferen Außenbereich auf der anderen Seite des Hafirs. Mit anderen Worten: Die Messstrecken überqueren jeweils einen mittig im Profil gelegenen Hügel.

Es versteht sich, dass eine von einer Erhebung in den Untergrund gesandte Radarwelle einen längeren Zeitraum bis zum Erreichen derselben *horizontalen* Schichtunstetigkeit benötigt, als von einem benachbarten tiefer gelegenen Reliefbereich aus. Ergo stellt sich die Schichtunstetigkeit aufgrund der längeren Laufzeit der Welle unter dem höhergelegenen Reliefbereich in größerer relativer Tiefe dar – wo sie sich wegen ihrer Überdeckung mit dem Hügel ja auch befindet. Wird jedoch diese höhere Reliefposition, von der aus die Welle ausgesandt wurde, in *eine* Ebene mit den tiefer gelegenen Messstrecken projiziert, wobei sich die gemessene Laufzeit ja nicht ändert, ergibt sich dadurch auch eine scheinbar größere absolute Tiefe der Unstetigkeit – eine Senke zeichnet sich ab. Das Fehlerbild entspricht einer regelrechten Reliefinversion.

Dass dieses Fehlerbild nicht zufällig ist, wird dadurch deutlich, dass es tatsächlich nur in jenen Radarprofilen am Kleinen und Großen Hafir auftritt, die den Abschwemmkegel bzw. Wallbereich schneiden. Am Kleinen Hafir betrifft dies nur die drei parallelen Profile auf der Südseite, am Großen Hafir die der West- und der Südseite sowie den Bereich des Zulaufes an der Ostseite. Im Übrigen sei angemerkt, dass die Vermutung einer derartigen natürlichen Depression in der Geländeoberfläche in diesem Gebiet schon aus Gründen der Morphodynamik sowohl in ihrer Entstehung schwer herzuleiten als auch in ihrer längerfristigen Existenz kaum zu erklären wäre – sie würde als Sedimentfalle wirken und durch die im Oberflächenabfluss mitgeführte Schwemmfracht aufsedimentiert werden.

Auch im Hinblick auf die Radarprofile im Innenraum des Kleinen Hafirs ist dieser methodische Fehler von Bedeutung, da diese von Wallkrone zu Wallkrone (NW-SE-Profil) bzw. von Wallkrone zum Zulauf (SW-NE-Profil) gemessenen Profile ebenfalls auf eine Ebene projiziert wurden. Dadurch erscheinen die Wälle zu flach oder sind sogar ins Gegenteil – eine Senke – verkehrt. Die fehlende topographische Höhenreduktion ließe sich erreichen, wenn im Gelände entlang der Radarprofile ein Oberflächen-Nivellement durchgeführt und die Pro-

fildarstellung auf dessen Höhenwerte bezogen worden wäre. Da die bei der Messung durchlaufenen Schrägstrecken auf eine Ebene projiziert sind, wird zudem das auf diese Art dargestellte Profil zu lang. Auch dies würde durch Erstellung der Höhenreduktion korrigiert. Der einzig positive Aspekt daran ist, dass sich diese Nivellements im Gelände nachholen lassen, wofür lediglich die allesamt koordinatenmäßig erfassten Anfangs- und Endpunkte der Messstrecken erneut ausgesteckt werden müssen.

Zusammenfassend: Der Große Hafir wurde an einer Stelle erbaut, die einen hinreichenden, zuverlässigen, wenig lageveränderlichen und relativ konzentrierten Wasserzufluss aus dem Einzugsgebiet aufwies. Die Abflussverhältnisse in diesem östlichen Talbereich waren vielleicht stabiler und/oder von größeren linear abgehenden Wassermengen geprägt als im Einzugsgebiet des Kleinen Hafirs.

2.1.2 Lage und Einzugsgebiet des Kleinen Hafirs (I E)

Das grundsätzlich gleiche Prinzip wird man auch für den Kleinen Hafir (I E) unterstellen können. Der Kleine Hafir liegt auf der anderen, der westlichen Seite des Hauptwadis, an dessen heutiger Nordwestflanke. Seine Einlassöffnung ist nach Nordosten gerichtet. Nach den gegenwärtigen Abflussverhältnissen ermöglichte diese Orientierung ebenfalls eine Wasserzufuhr aus mehreren Richtungen – von Norden bis Osten. Das Einzugsgebiet wird hier von den Hangflächen und Abflussrinnen der Wasserscheide zum Wadi Banat gebildet. Seine Größe beträgt kaum mehr als 4 km² (Bild-Nr. C 44/055; Plan 2). Dieser Bereich der Talebene war aber vermutlich stärker in einzelne Abflussrinnen zergliedert, die wohl jeweils weniger Wasser führten als die Abflussbahnen, welche den Großen Hafir speisten und die eben aufgrund einer weniger starken Auflösung des Einzugsgebietes eine höhere Wasserführung besaßen. Der Grund, weshalb der Kleine Hafir nicht im selben Einzugsgebiet wie der Große Hafir errichtet wurde, wird am ehesten darin liegen, dass die Erschließung zweier unabhängiger Einzugsbereiche insbesondere in Jahren geringerer Niederschläge effizienter war. Im gegenteiligen Fall müssten sich beide Hafire den Oberflächenabfluss teilen bzw. würden ihn sich – anordnungsbedingt – gegenseitig wegnehmen.

Auch beim Kleinen Hafir ist es wahrscheinlich, dass ein direkter, radialer Zustrom ins Hafirinnere vermieden und das Wasser eher aus tangentialer Richtung eingeleitet wurde, wofür es ebenfalls entsprechender Konstruktionen von Ablenkdammen bedurft haben würde. Die Ergebnisse der geomagnetischen Prospektion der Kampagne 2002 scheinen diese theoretischen Vorhersagen zu bestätigen. Insbesondere entsprechen die im Magnetogramm sicht-

baren Strukturen beiderseits des Einlaufes nahezu denen am Großen Hafir und erinnern stark an die Leitwälle in Umm Usuda – wenn auch in kleinerer Dimension.

2.2 Die Wasserspeicherung in Musawwarat: Die Hafire als Hauptspeicherkomponenten

2.2.1 Vorbemerkung

Im Fall der Hafire werden die Wassergewinnung und die übergeordnete Speicherung durch die selbe Struktur realisiert (vgl. oben). Ähnliches würde ganz allgemein auch für Staumauern/-becken oder Brunnen gelten. Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt besprochen, waren im antiken Musawwarat (mindestens) zwei Hafire in Nutzung. Der Einfachheit halber und weil er als einziger wenigstens ansatzweise untersucht wurde (Hintze 1962; 1963; Scheibner 2003), sei im Folgenden der Große Hafir (II H) beschrieben und sich für den Kleinen Hafir (I E) Nämliches, aber eben kleiner, vorgestellt.

2.2.2 Zusammenfassung der neuen Ergebnisse zum Großen Hafir

2.2.2.1 Form, Durchmesser, Tiefe und Konstruktion – das Speichervolumen

Der Große Hafir von Musawwarat (Abb. 4, Farbabb. 14) besitzt einen rundovalen – irreführend auch als “hufeisenförmig” (Kleinschroth 1986, 82) beschriebenen⁵⁾ – Grundriss und misst von Wallkrone zu Wallkrone bis zu 256 m (Viète 1961, 1). Zum Vergleich: Der entsprechende Durchmesser des Kleinen Hafirs beträgt ca. 118 m. Die Wallhöhe des Großen Hafirs beträgt – vom Mittelpunkt des Innenraumes aus gemessen – noch immer mehr als 8 m (Messungen von Scholz und Hatzky, Kampagne 1998), für den nördlichen und östlichen Wallbereich gibt Viète (1961, 1) sogar 9-9,5 m an. Dabei ist zudem zu berücksichtigen, dass einerseits der Innenraum bis in ein Niveau von etwa einem Meter über die antike Abgrabungskante aufsedimentiert wurde (vgl. Angaben bei Hintze 1963, 68), andererseits die Wälle durch Abschwemmung einen Teil ihrer

5) Irreführend deshalb, weil sich diese Beschreibung auf die Wälle bezieht, die jedoch keine Speicherfunktion besitzen (vgl. unten im Text). Das Hafirbecken selbst war vermutlich rund bis rund-oval. Abgesehen davon nähern sich der nördliche und südliche Teil des Hafirwalls auch auf der Zulaufseite mit Ausnahme einer ca. 50 m breiten Öffnung einander wieder an und bilden so einen fast geschlossenen Ring - der eben oval ist. Ein besseres Beispiel für eine echte Hufeisenform geben der Hauptwall des Hafirs von Umm Usuda sowie der Hafir von Mitnat el Guwala (vgl. M. Hinkel 1991, 45: Abb. 12).

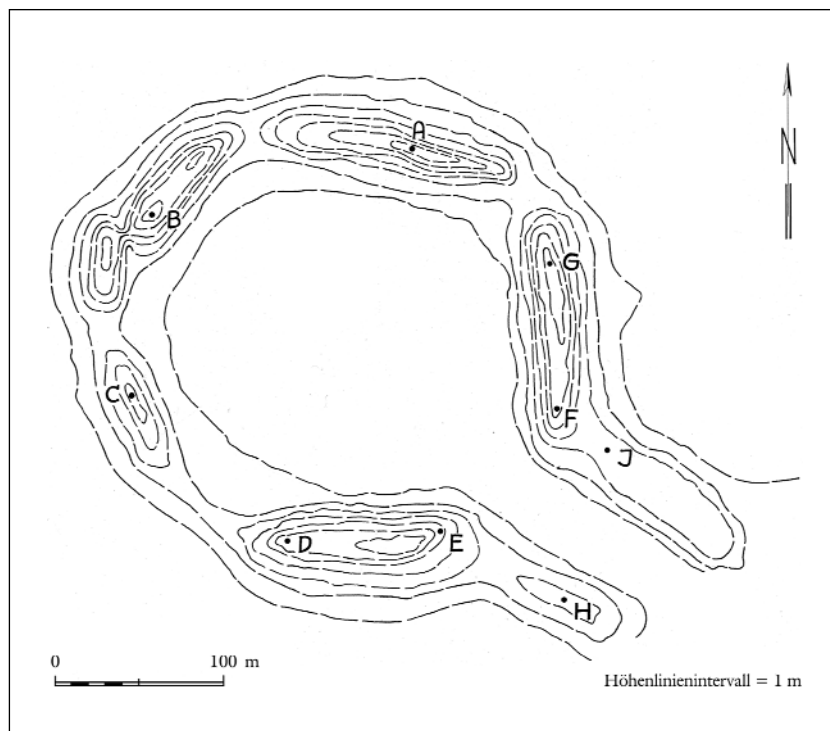


Abb. 4: Grundriss des Großen Hafirs (aus: VIETE 1961, Plan 2; verändert).

ursprünglichen Höhe eingebüßt haben dürften. Eine ursprüngliche Wallhöhe von 10 m (oder mehr) kann daher als durchaus realistisch gelten.

In diesem Zusammenhang muss zunächst einmal deutlich gemacht werden, dass entgegen einer offenbar verbreiteten Auffassung (z. B. Ali 1972, 642; Kleinschroth 1986) die Wälle des Hafirs – jeglicher in einer solchen Ebene gelegenen Hafire – nie eine wasserstauende Funktion besaßen. Das Wasser konnte keinen höheren Pegelstand als einen dem Niveau des Zulaufes entsprechenden erreichen. Aufgrund der ebenen Geländesituation ist nicht anzunehmen, dass ein großer Höhenunterschied zwischen Zulaufniveau und Beckenrand bestanden hat. Zum anderen hätten die vier regelmäßig angeordneten, intentionellen Wallunterbrechungen (Abb. 4), vor allem aber der im westlichen Wallabschnitt nachgewiesene, radial verlaufende sogenannte Wassergraben (Hintze 1963, 68 und 77: Tafel VIa), bei dem es sich genauer gesagt um eine von zwei radialen Wällen flankierte ehemalige Unterbrechung des Hafirwalles – möglicherweise um einen Überlauf (Scheibner 2003) – handelt, ohnehin eine Staufunktion der Wälle verhindert, ebenso wie die später errichtete Wasserleitung II F (Hintze 1962, 459f.; 1963, 68 und 77: Tafel VIa, b), da letzterer beider Sohlenniveaus etwa der Obergrenze des anstehenden Bodens und damit der Höhe des Beckenrandes entsprechen. Entgegen seiner ursprünglichen Ansicht stellte später auch Hintze (1962, 459) unter einem ähnlichen Gesichtspunkt fest: “Die hohen Wälle dienten also nicht zum Speichern von Regenwasser”.

Für das Speichervermögen der Hafire bestimmend sind also ausschließlich der Innendurchmesser sowie die Tiefe und die Form der Abgrabung, d. h. des Beckens. Nach der Lage der Abgrabungskante zu urteilen (vgl. Hintze 1963, Abb. 8), dürfte der obere Innendurchmesser des Beckens beim Großen Hafir etwa 200 m betragen haben. Diese Angabe geht deutlich über die in den 60er Jahren angenommenen ca. 140 m (z. B. Viète 1961, 7 und 22) hinaus. Die Korrektur beruht auf den Ergebnissen der Vermessungsarbeiten der Kampagne 2002 zur Vorbereitung der geophysikalischen Untersuchungen am Großen Hafir.⁶⁾ Bei der Anlage von Georadarprofilen entlang der Mittelachsen des Hafirs konnte seine Längsausdehnung (in WNW-ESE-Richtung) zwischen innerem Wallfuß

und dem inneren Bereich des Zulaufes mit 230,50 m bestimmt werden. Die rechtwinklig dazu durch den Hafirmittelpunkt verlaufende Breite beträgt etwa 210 m. Die eigentliche Eintiefung beginnt offenbar etwas weiter innen, d. h. vom inneren Wallfuß entfernt, und ließ so vielleicht eine Art Umgang zwischen Wall und Becken frei.

Die gleichermaßen volumenrelevante Tiefe des Beckens wurde erstmals während der dritten Kampagne 1962 im Schnitt A, 36 m von der Abgrabungskante entfernt, mit mindestens 6,30 m ermittelt (Hintze 1963, 68). Mithin fehlten damals bis zum anzunehmenden Zentrum des Beckens immer noch ca. 64 m, was auf eine entsprechend größere Tiefe hindeutet. Daher wurde 2003 der Schnitt H-6 im zentralen Bereich des Hafirinnenraumes angelegt. Als Orientierung zur Festlegung seiner Lage diente die in der Kampagne 2002 vermarktete Achse des Georadar-Längsprofils. Dieses Profil verlief etwa entlang der Mittelachse des Großen Hafirs in ESE-WNW-Richtung. Aufgrund einer gewissen Abweichung von der (zeichnerischen) Mittelachse erfolgte in dieser Kampagne eine Lagekorrektur dieser (vermessungstechnischen) Mittelachse des Großen Hafirs. Dabei wurde der westliche Endpunkt der ehemaligen Georadarachse – im rechten Winkel zum ursprünglichen Verlauf gemessen – um 5 m nach Süden verlegt, während der Mittelpunkt des Hafirzulaufes (Innenraumseite) als Dreh- bzw. Nullpunkt beibehalten wurde. Dieser Punkt diente auch

6) Durchgeführt von Dipl.-Ing. Holger Rothe und Verfasser.



als Nullpunkt der Messung. Entlang der korrigierten Mittelachse wurde zwischen 110 m und 112 m westlich des Nullpunktes der Schnitt H-6 angesteckt, wobei das Nordprofil dieses 2 x 2 m großen Schnittes der Mittelachse entspricht.

Nachdem der Schnitt H-6 im Jahre 2003 bereits bis in eine Tiefe von 12,90 m abgetieft worden war, ohne den Hafirgrund zu erreichen, wurden die Arbeiten 2004 fortgesetzt. In ca. 13,30 m Tiefe wurde jedoch eine ausgesprochen lockere Fein- bis Mittelkiesschicht angeschnitten. Bei ca. 13,50 m mussten die Arbeiten dann aus Sicherheitsgründen eingestellt werden, da diese Schicht noch mindestens weitere 50 cm in die Tiefe reicht (Sondage) und somit bei weiterem Abtiefen die Standfestigkeit der Profile nicht mehr gewährleistet gewesen wäre. Der Schnitt wurde vom Verfasser mehrfach begangen und die Profile visuell untersucht. Eine zeichnerische oder fotografische Dokumentation konnten aufgrund technischer Schwierigkeiten und aus Sicherheitsgründen nicht erfolgen. Einerseits gestattete der nahezu senkrechte Anstellwinkel der Leiter keine Dokumentationsarbeiten, zum anderen war die insgesamt 15 m lange Leiter sehr instabil. Als das wesentliche Ergebnis dieses Schnittes ist die erreichte Tiefe von ca. 14 m (inklusive der Sondage) zu betrachten, in der sich der Hafirgrund noch immer nicht fand. Von sedimentologisch-morphodynamischem Interesse sind die aufgeschlossenen Straten der Hafirfüllung, die sich vorrangig aus mächtigen Paketen von Tonen und Schluffen zusammensetzen. Zwischengeschaltet fanden sich sandige bis feinkiesige Bänder.

Insgesamt konnte somit die Angabe der Hafirmindesttiefe mit ca. 13,5 m – gerechnet vom Niveau der ehemaligen Oberfläche am Hafirrand – mehr als verdoppelt werden. Ein dankenswerter Weise durch Geophysiker der Geological Research Authority of Sudan (GRAS) entlang der Längsmittelachse im Großen Hafir gemessenes Geoelektrikprofil deutet auf eine Endtiefe von ca. 15 m hin – ein bis vor kurzem noch undenkbarer, anhand des Grabungsergebnisses im Schnitt H-6 jedoch inzwischen plausibler Wert.

Das Profil bzw. die Form der Abgrabung lassen sich anhand der im Hafir angelegten Schnitte als relativ sanft einfallend beschreiben. Grabungstechnisch sei angemerkt, dass zur Ermittlung des Abgrabungswinkels die Notwendigkeit einer einigermaßen exakten radialen Ausrichtung der Schnitte auf das Hafirzentrum hin besteht, d. h. sie dürfen den (idealisiert-kreisförmigen) Hafirinnenraum nicht als Sehnen schneiden – sonst erhält man einen zu flachen Winkel. Der Abgrabungswinkel beträgt nach Hintze (1963, 68) in Schnitt A 10°, in Schnitt C 16° und im Schnitt H-5 22°.

Entsprechend des oben beschriebenen, korrigierten Verlaufes der Hafirmittelachse wurde in der Kampagne 2003 am westlichen Ende dieser Achse –

im westlichen Randbereich des Hafirinnenraumes also – der Schnitt H-7 angelegt, dessen Nordprofil (Farbabb. 15) der Mittelachse entspricht. Der innere Wallfuß wurde in den Schnitt einbezogen. Die Gesamtlänge des Schnittes beträgt ca. 25 m, seine Breite 2 m. Nachdem im gesamten Schnitt eine Tiefe von ca. 1,20 m erreicht worden war, wurde dann der westlichste Schnittbereich auf einer Länge von 10 m bis in den anstehenden Boden hinein abgetieft. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Abgrabungskante des Hafirbeckens konnte etwa 1,80 m vor dem westlichen inneren Wallfuß erfasst werden. Die Entfernung zwischen der Abgrabungskante und dem inneren Mittelpunkt des Hafirzulaufes (= Nullpunkt) beträgt damit ca. 228,40 m. Diese Distanz entspricht theoretisch dem Durchmesser des Hafirbeckens in Längsrichtung – in Abhängigkeit von der genauen Lage der Abgrabungskante im Zulaufbereich. Die antike Geländeoberfläche, von der aus die Abgrabung erfolgte, liegt bei 10,27-10,30 m relativer Höhe (r. H.) und damit etwa 1,10-1,20 m unter dem heutigen Niveau am Rand des Hafirinnenraumes. Der Winkel, mit dem der Hafirgrund, d. h. die durch die Abgrabung entstandene Obergrenze des anstehenden Bodens, auf den ergrabenen 10 m Länge zum Zentrum hin abfällt, beträgt in diesem Schnitt 14°.

Insgesamt ist also eine überraschend große Varianz des Abgrabungswinkels festzustellen. Zudem ist zu vermuten, dass der Böschungswinkel der Hafirwandung an der Zulaufseite ein eher flacher war, um den Zufluss zu beruhigen und keinen "Wasserfall" zu erzeugen. Darüber hinaus sollte die Wandung dieser Zulaufseite wohl befestigt gewesen sein, um eine rückschreitende Erosion durch die zuströmenden kanalisiertes Wassermassen zu verhindern. Aus den unterschiedlichen Werten ergeben sich nun verschiedene Möglichkeiten, das Speichervolumen des Großen Hafirs abzuschätzen. Dies soll mit den folgenden Beispielrechnungen geschehen:

Ginge man von einer echten Kegelform⁷⁾ des Hafirbeckens aus, die Hintze (1963, 68: Anm. 16) offenbar für möglich hielt, ergeben sich unter Zugrundelegung eines oberen Radius von 100 m (200 m Durchmesser) und nach den Formeln

$$(1) \text{ Tiefe}_{\text{Hafir}} = \tan \text{ Böschungswinkel} \cdot \text{ Radius}_{\text{Hafir}}$$

$$(2) \text{ Volumen}_{\text{Kegel}} = \frac{\pi}{3} \cdot \text{ Radius}_{\text{Hafir}}^2 \cdot \text{ Tiefe}_{\text{Hafir}}$$

7) Das Hafirbecken besitzt – lagerichtig betrachtet – natürlich die Form eines Trichters, d. h. eine umgekehrte Kegel- oder Kegeltumpfform. Der mathematisch exakten Ausdrucksweise wegen werden im Folgenden aber die Termini "Kegel" bzw. "Kegeltumpf" verwendet und der Ausdruck "Trichter" vermieden.



für die festgestellten verschiedenen Böschungswinkel von

- 10° eine maximale Tiefe von ca. 17,63 m und ein Volumen von ca. 184.620 m³
- 14° eine maximale Tiefe von ca. 24,93 m und ein Volumen von ca. 261.066 m³
- 15,5° (Durchschnittswert) eine maximale Tiefe von ca. 27,73 m und ein Volumen von ca. 290.414 m³
- 16° eine maximale Tiefe von ca. 28,67 m und ein Volumen von ca. 300.232 m³
- 22° eine maximale Tiefe von ca. 40,40 m und ein Volumen von ca. 423.068 m³

(ohne Berücksichtigung einer eventuellen generellen Verflachung zum Zentrum hin).

Diese Tiefenwerte sind mit zunehmendem Winkel immer unrealistischer, allenfalls der geringste kann anhand der neuen Grabungs- und Messergebnisse gerade noch als wahrscheinlich gelten. Unter Zugrundelegung des Geoelektrik-Ergebnisses der GRAS von ca. 15 m Tiefe im Zentrum ergibt sich zudem die Konsequenz, dass der Hafir gar keine volle Kegelform aufweisen kann, da er ansonsten bereits bei einem (durchschnittlichen) Abgrabungswinkel von nur 10° tiefer als 15 m (nämlich 17,63 m tief) sein müsste.

Für eine (umgekehrte) Kegelstumpfform, die der Verfasser für wahrscheinlicher hält, ergeben sich aus einem oberen Radius (r_{oben}) von 100 m und einer Tiefe von 15 m anhand der Formeln

$$(3) r_{\text{unten}} = r_{\text{oben}} - \frac{\text{Tiefe}_{\text{Hafir}}}{\tan \text{Böschungswinkel}}$$

$$(4) V_{\text{Kegelstumpf}} = \frac{\pi}{3} \cdot \text{Tiefe}_{\text{Hafir}} \cdot (r_o^2 + r_o \cdot r_u + r_u^2)$$

und bei einem Abgrabungswinkel von

- 10° ein unterer Radius von 14,93 m und ein Volumen von ca. 184.033 m³
- 14° ein unterer Radius von 39,84 m und ein Volumen von ca. 244.592 m³
- 15,5° (Durchschnittswert) ein unterer Radius von 45,91 m und ein Volumen von ca. 262.303 m³
- 16° ein unterer Radius von 47,69 m und ein Volumen von ca. 267.716 m³
- 22° ein unterer Radius von 62,87 m und ein Volumen von ca. 317.782 m³.

Es sei angemerkt, dass Hintze (1963, 68: Anm. 16) unter Zugrundelegung eines gleichbleibenden durchschnittlichen Abgrabungswinkels von 10° die Tiefe der Kegelform mit ungefähr 15 m und das sich ergebende Volumen mit 170.000 m³ berechnet. Aus der Umstellung der obigen Formel (1) ergibt sich, dass er für diesen Tiefenwert offensichtlich von einem kleineren Innenraum ausgegangen sein muss,

dessen Durchmesser dann 170 m (85 m Radius) betragen würde. Jedoch stimmt dieser Wert unter der Maßgabe des Böschungswinkels von 10° andererseits nicht mit dem von Hintze angegebenen Volumen überein, das sich in diesem Fall nach Formel (2) auf lediglich 113.490 m³ belaufen würde. Die Schätzung Kleinschroths (1986, 82) von 200.000 m³ beim Hafirbau bewegten Erdreiches beruht auf der Annahme einer ursprünglichen Wallhöhe von 15 m sowie auf den erwähnten Überlegungen von Hintze (1963, 68: Anm. 16) zu einer 15 m tiefen Kegelform des Hafirinneren. Wenngleich diese Berechnung sich nicht ohne Weiteres herleiten lässt, kann der dafür vorauszusetzende Durchmesser des Hafirinnenraumes durch Umstellung der Formel (2) mit 226 m bestimmt werden – ein Wert, der den tatsächlichen Verhältnissen zumindest in WNW-ESE-Richtung (228,40 m, ermittelt in Kampagne 2003; s. oben) erstaunlich nahe kommt.

Insgesamt plädiert der Verfasser aber für die Annahme einer prinzipiellen (s. dazu unten) Kegelstumpfform. Zu diesem Schluss gelangte bereits M. Hinkel (1991, 37: Anm. 8; 1994, 172: Anm. 8), die hierfür vor allem praktische bautechnische Gründe sieht, die Hafirtiefe allerdings "nicht viel über den von der Grabung erreichten 6,50 m" (sic! – nicht 6,30 m) in Schnitt A erwartet. Sie kommt daher in der Volumenberechnung für den Großen Hafir auf einen Wert von 135.000 m³, was anhand der oben ausgeführten Berechnungen erkennen lässt, dass M. Hinkel dabei eine Kegelstumpfform mit einem Böschungswinkel von lediglich 10° oder einen geringeren Durchmesser zugrunde legt. Der in der Volumenberechnung von M. Hinkel implizierte untere Radius entspricht zwangsläufig sehr genau einem Abgrabungswinkel von 10°. Was daran lediglich verwundert ist, dass dieser Wert nur unter Zugrundelegung eines oberen Durchmessers von 200 m zustande kommt, den M. Hinkel dem zu Folge offenbar entgegen den Hintzeschen Angaben ebenfalls verwendet. Im Gegensatz zu ihr stützen sich obige Berechnungen aber sowohl auf den größeren Durchmesser als auch auf einen größeren durchschnittlichen Böschungswinkel (der derzeit verfügbare Mittelwert beträgt 15,5°) sowie auf die deutlich größere Tiefe des Hafirs.

In Modifizierung der grundsätzlich sachgerechten Annahme einer generellen Kegelstumpfform durch M. Hinkel (1991, 1994) möchte ich aus bau- und nutzungstechnischen Gründen jedoch einer getreppten oder terrassierten Kegelstumpfform (vgl. Scheibner 2003, I, 143) des Hafirbeckens den Vorzug geben, gleichbedeutend mit einer Abfolge immer engerer Kegelstumpf- bis Zylinderformen. Hinweis auf eine getreppte Kontur der Beckenwände ergeben sich bereits aus den Profilzeichnungen der Hafirschnitte vom Großen Hafir (siehe z. B. Hintze 1963,

68: Abb. 7). Ein weiterer Hinweis ergab sich im 2004 in der beschriebenen Längsachse angelegten Schnitt H-8 (vgl. unten), der sich von 50 bis 55 m vom westlichen Beckenrand erstreckt. In diesem Schnitt ist der Hafir ca. 10,10 m tief. Unter Berücksichtigung des in der selben Achse gelegenen Schnittes H-7 ergibt sich daraus ein (durchschnittlicher) Abgrabungswinkel von nur noch $11,4^\circ$ – d. h. die Wandung wird zum Zentrum hin scheinbar flacher. Die Hafiruntergrenze verlief im Schnitt H-8 jedoch annähernd horizontal. Dies lässt darauf schließen, dass wir uns dort eben im Bereich einer dieser Stufen befinden, denn im Zentrum ist der Hafir ja nachgewiesenermaßen tiefer. Nun ist es aber so, dass die exakte Ermittlung des durchschnittlichen Abgrabungswinkels am Fußpunkt einer solchen Stufe stattfinden muss, sonst wird der Winkel zu flach. Da die Stufenlänge nicht bekannt ist, bleibt der Wert von $11,4^\circ$ also unsicher und ist in jedem Falle zu klein, weshalb er in den Volumenberechnungen unberücksichtigt blieb. Diese gestufte Wandungsform führt rechnerisch zu jeweils etwas geringeren Volumina als den oben ermittelten.

2.2.2.2 Speichervolumen und nutzbare Wassermenge

Insgesamt bestehen zwischen Abgrabungswinkel, Tiefe, Form und Volumen des Hafirs folgende Zusammenhänge von bautechnischer und -ökonomischer Relevanz: Je kleiner der gegebene Böschungswinkel der Hafirwände, desto unerheblicher wird der Zuwachs an Speichervolumen mit zunehmender Tiefe bzw. der Unterschied im Fassungsvermögen zwischen einer Kegelstumpf- und einer echten Kegelform, desto standsicherer aber ist die Hafirwandung. Im Gegenzug bedeutet ein steilerer Böschungswinkel nicht nur eine Verschiebung des Verhältnisses zwischen Tiefe und Volumen zugunsten des letzteren, sondern auch, dass eine geringere Tiefe zur Erlangung des gleichen Volumens ausreicht. Den theoretisch größtmöglichen Volumenzuwachs bei zunehmender Tiefe würde freilich eine Zylinderform aufweisen (wenn man einmal von der praktisch nicht umzusetzenden Unterschneidung der Wände zu einer echten, sich nach unten verbreiternden Kegelstumpfform absieht).

Beim flachsten gemessenen Abgrabungswinkel von 10° würden bei Anlage einer Kegelstumpfform mit nur der halben Maximaltiefe der Kegelform (17,6 m), d. h. bei einer Kegelstumpfform von 8,80 m Tiefe, bereits 161.434 m^3 und somit ca. 87,6 % des mit der Maximaltiefe von 17,6 m bei Kegelform erreichbaren Volumens von 184.307 m^3 erlangt. Bei jedem steileren Winkel verschiebt sich dieses Verhältnis zugunsten des mit zunehmender Tiefe hinzugewonnenen Speichervolumens. Schließlich würde bei einer

Zylinderform des Hafirbeckens bereits eine Tiefe von 5,14 m dasselbe Fassungsvermögen von 161.434 m^3 erbringen, welches eine Kegelstumpfform mit einem Böschungswinkel von 10° und einer Tiefe von 8,80 m enthält.

Diese mathematischen Relationen zwischen Form und Volumen sind einerseits von bautechnischer Relevanz, erweisen bei näherer Betrachtung aber eine weiter gehende Bedeutung. Denn die Gestaltung eines Hafirs musste sich noch an einem ganz anderen Kriterium orientieren. Zuallererst ist festzuhalten, dass sich speziell im Fall eines Hafires und insbesondere unter den gegebenen klimatischen Bedingungen das speicherbare und das (langfristig) nutzbare Wasservolumen erheblich voneinander unterscheiden. Der Grund ist die enorme Verdunstungsmenge. Verdunstung greift an der Oberfläche an und wird daher – so wie der Niederschlag – in Millimeter (Wasserhöhe) angegeben. Sie beträgt in diesem Gebiet näherungsweise 2500 mm/Jahr . Während die der Verdunstung anheim fallende Wassermenge eine Funktion des Flächeninhaltes, d. h. der Größe der Wasserfläche und damit letztlich des Beckendurchmessers ist, wird ausschließlich durch die Tiefe bestimmt, ob überhaupt bzw. mit welchem Pegelstand Wasser im Reservoir verbleibt. Das Volumen dieser verbleibenden Wassermenge allerdings wird dann durch die Form des Querschnitts bestimmt. Der rationellste Beckenquerschnitt wäre auch hier die Zylinderform, die aber offenbar aus statischen Gründen nicht umsetzbar war. Je schneller wiederum das Wasser durch den Menschen verbraucht wurde, desto effizienter war die Relation zwischen gespeicherter und genutzter Wassermenge, desto kürzere Zeit reichte aber der Vorrat. Das reelle jährliche Verdunstungsvolumen einer Kegelstumpfform ist schwer abzuschätzen, da die Größe der Wasseroberfläche, von der es abhängt, nicht konstant ist, sondern je nach Umfang der Wasserentnahme bzw. -verluste von Tag zu Tag kleiner wird.

Behelfen kann man sich bei der näherungsweisen Ermittlung der Verdunstungsverluste, indem man die 2,50 m Wassersäule, die über das Jahr verdunsten, ganz allgemein in Beziehung zur Hafirtiefe setzt. Diese 2,50 m entsprechen einem Sechstel der vermuteten Hafirtiefe von 15 m. Würde diese Wasserhöhe ohne sonstige Wasserentnahme aus einem 15 m tiefen Hafir verdunsten, verblieben die hier modellhaft angenommenen fünf Sechstel der Wassersäule, nämlich 12,5 m, im Becken. Aufgrund der Beckenform besteht jedoch kein linearer Zusammenhang zwischen Tiefe und Volumen. Vielmehr entspräche dieses obere verdunstete Sechstel (2,50 m) bei einem mittleren Böschungswinkel von $15,5^\circ$ einem Volumen von 71.676 m^3 – gleichbedeutend mit 27,3 % des Gesamtvolumens einer Kegelstumpfform von 262.303 m^3 . Würde – praktisch unmöglich – bei-



spielweise nur das unterste Sechstel der Hafirwassersäule verdunsten, entspräche dies einem Volumen von nur 20.019 m³ oder 7,6 % der Gesamtwassermenge im Hafir.

Um sich dem jährlichen Verdunstungsverlust aber dennoch rechnerisch zu nähern, besteht die Möglichkeit, den Vorgang der Wasserentnahme modellhaft als kontinuierlich anzunehmen und dementsprechend von einer linearen Beziehung auch zwischen Wasserstand und Verdunstungsvolumen auszugehen. Gemittelt verdunsten dann also nicht schlechthin ein Sechstel der Wassersäule im Hafir, sondern auch ein Sechstel seines Volumens. Daraus ergibt sich für einen 15 m tiefen Hafir mit durchschnittlich 15,5° Böschung und einem Volumen von 262.303 m³ nach Abzug der jährlichen Verdunstungsrate von einem Sechstel des Volumens eine verbleibende nutzbare Wassermenge von fünf Sechsteln seines Gesamtvolumens oder 218.586 m³. Diese modellhafte Linearität ist jedoch nicht ausschließlich an diese zufällig gut passende Sechsteilung gebunden. Vielmehr kann als resultierende Faustregel, z. B. im Hinblick auf den möglicherweise weniger tiefen Kleinen Hafir gelten, dass sich unter kontinuierlicher Wasserentnahme bei gleichzeitiger Wasserbevorratung über das ganze Jahr hinweg die Verdunstungsverluste aus dem prozentualen Anteil der klimatisch bedingten Verdunstungshöhe in Bezug zur Hafirtiefe errechnen.⁸⁾

Was bedeutet dies aber für die Errichtung eines Hafirs: Unabhängig von seiner horizontalen Ausdehnung muss sich seine Tiefe an der Verdunstungshöhe und am erforderlichen oder gewünschten Zeitraum orientieren, innerhalb dessen Wasser zur Verfügung stehen bzw. nach dem noch welches vorhanden sein soll. Nun ist die Frage nicht mit letzter Sicherheit zu beantworten, wie lang dieser Zeitraum in Musawwarat sein sollte, aber es liegt wohl nahe, dass eine Überbrückung möglichst der gesamten Trockenzeit angestrebt wurde. Und dies nicht zuletzt in Abhängigkeit von der Bestimmung, der das Wasser zugeordnet war. In so fern war es also unerlässlich, dass ein Hafir deutlich tiefer als die jährliche Verdunstungshöhe von ca. 2,50 m angehoben wurde.

Das Problem für die kuschitischen Baumeister bestand also offenbar darin, einen Kompromiss zwischen dem Speichervolumen, der Standfestigkeit der Beckenwände, der Zugänglichkeit bzw. Wasserförderungsmöglichkeit (s. unten) und vor allem der nutzbaren Wassermenge und der Nutzungsdauer zu finden

8) Deutlich wird dies, wenn man sich eine mit zunehmender Tiefe in der Grundfläche nicht veränderliche Hohlform, z. B. einen Zylinder, vorstellt. Hierbei existiert die lineare Beziehung unabhängig von der Annahme einer Kontinuität der Wasserentnahme.

und umzusetzen. Für die Festlegung des letztlich verwendeten Böschungswinkels werden wohl vor allem Überlegungen zur Standfestigkeit des Materials und der Erreichbarkeit des Wassers im Hafirinneren zum Tragen gekommen sein. Das sich daraus ergebende Volumen hing dann nur noch von der Tiefe des Aushubs ab, der maximal bis zur vollendeten Kegelform vorgetrieben werden konnte. Je tiefer der Hafir war, desto mehr Wasser blieb nach Abzug der Verdunstungsverluste übrig.

2.2.2.3 Der Untergrund des Großen Hafirs

Die Materialbeschaffenheit des Hafirgrundes stellt ebenfalls einen wichtigen Faktor hinsichtlich des Wasserspeichervermögens dar. Der anstehende Boden der Talebene besteht in der bislang größten ergrabenen Tiefe von ca. 3,30 m unter der Geländeoberkante⁹⁾ aus einem Geröll führenden, sesquioxidangereicherten tonigen Sand mit Kittgefüge (Schmidt 1998, 75: Abb. 3). Die Gerölle umfassen Korngrößen bis zur Grobkiesfraktion, im Wesentlichen Mittelkiese, und das Schichtpaket stellt einen als fluviatiles (Becken-)Sediment akkumulierten Schotter dar – insgesamt ein relativ wasserzuges Substrat. Im Hafir ist aber zu bedenken, dass im Oberflächenabfluss in Suspension mitgeführtes Feinmaterial der Ton- und Schlufffraktion die Porenräume relativ schnell verschließen und so die Versickerung reduzieren würde. In jedem Falle aber würde der Hafirgrund aufweichen und daher eine eher schlammige Konsistenz aufweisen, die wiederum seiner Sauberhaltung und der des Wassers nicht sonderlich dienlich ist.

Es gibt aber noch eine andere Möglichkeit, sich die Beschaffenheit des Beckenbodens im Hafir vorzustellen. Seit Längerem vertritt der Verfasser die Auffassung, dass der Hafir bis in den anstehenden Sandstein hinein eingetieft wurde. Mehrere Gründe sprechen für diese Überlegung: Einmal die vermutliche Tiefe des Beckens, in der mit gewisser Wahrscheinlichkeit das liegende Gestein unter den Wadis sedimenten erreicht worden sein dürfte, wie sich auch aus der Annahme einer Mächtigkeit der Beckensedimente im Wadibereich von maximal 10 m ergibt (B. Gabriel und R. Schmidt, pers. Mitt.). Hierbei ist auch die in dieser Hinsicht relativ geringe Entfernung des Hafirs vom Stufenhang der Sandsteintafel zu berücksichtigen. Zum Anderen fallen

9) Diese Tiefe wurde im Areal des Tempelgartens in Hof 117 der Großen Anlage erreicht, als im Schnitt 117.11N eine entsprechend tief reichende Grube (K 174) geschnitten wurde. An den von Rolf Schmidt und Baldur Gabriel durchgeführten sedimentologisch-bodenkundlichen Untersuchungen dieses Aufschlusses hatte der Verfasser die Gelegenheit, sich zu beteiligen.

die Bedeckung der Hafirwälle wie auch ihr innerer Aufbau mit Unmengen von Sandsteinschutt auf. Dies würde eine noch plausible Erklärung finden, wenn der Sandsteinschutt nicht einfach als Abfallmaterial eines entfernteren Steinbruchs, sondern ebenfalls als autochthones Aushubmaterial betrachtet würde. Hierbei sind im Übrigen ein Abbau des Untergrundmaterials in Steinbruchform und seine anschließende Verarbeitung als Baumaterial für andere Gebäude nicht ausgeschlossen.

Funktional betrachtet wäre ein solches, ab einem bestimmten Tiefenbereich ins Gestein gehauenes Becken wesentlich formstabiler, da weniger erosionsanfällig, sowie leichter sauber zu halten und damit hygienischer. Nachteilig auf das Speichervermögen könnte sich zumindest anfangs die üblicherweise starke Klüftung des Sandsteins auswirken, jedoch würde auch sie recht bald durch Sedimente verschlossen werden, sofern nicht künstliche Maßnahmen, etwa Tonabdichtungen, hierzu ergriffen worden sind. Darüber hinaus ist in Rechnung zu stellen, dass die Nubische (Sandstein-)Formation keineswegs homogen ist, sondern sich in ihrer Bankung hinsichtlich der Korngrößenzusammensetzung durchaus unterscheidet. Es erscheint nahe liegend, dass für einen eventuellen steinernen Beckengrund eine dichtere Schicht der Formation, z. B. ein Tongestein, gewählt wurde (Scheibner 2003, I, 138). Als Argument hierfür kann die Beobachtung ins Feld geführt werden, dass die Oberfläche der Hafirwälle mit unzähligen Splintern und Brocken eines solchen Tongesteins gelblich-weißer bis -violetter Färbung übersät ist. Mithin ist eben dieses Material ganz zum Schluss (von inzwischen erodiertem Material der Wälle einmal abgesehen) aus dem Hafirbecken abgebaut und hier aufgehäuft worden. Die starke Fragmentierung des Tongesteinmaterials entspricht dabei seinen physikalischen Eigenschaften, die im Vergleich zum Sandstein z. B. in einer größeren Homogenität der Korngrößenzusammensetzung, höheren Dichte und Härte bestehen – der Tonstein zersplittert beim Heraushacken aus dem Untergrund.

Dass im Großen Hafir ein solches in das anstehende Gestein gehacktes Becken vorhanden ist, konnte in der Kampagne zumindest indirekt nachgewiesen werden. Mit dem 2004 neu angelegten Schnitt H-8 (vgl. Abb. 5) wurde die Zielstellung verfolgt, den Übergangsbereich von der schräg einfallenden Hafirwandung zum ebenen Beckenboden der vermuteten Kegelstumpfform des Hafirbeckens zu erfassen. Der konkreten Lage des Schnittes wurden folgende Prämissen zu Grunde gelegt:

1. Die vermutliche Hafirtiefe beträgt lt. Geoelektrikprofil von GRAS 15 m
2. Der Abgrabungswinkel (Einfallswinkel der Hafirwandung) im Schnitt H-7 beträgt 14°

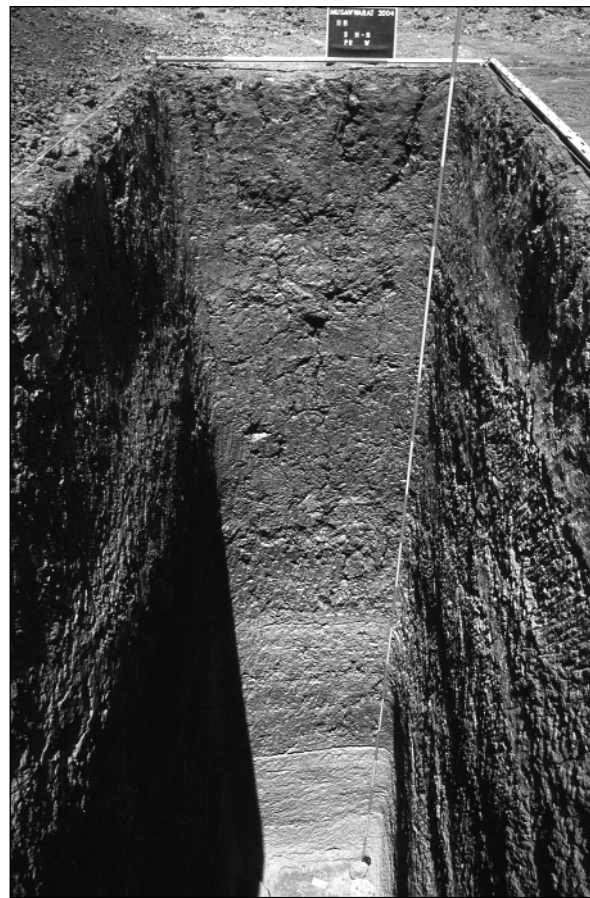


Abb. 5: Westprofil von Schnitt H-8, Tiefe 8,65 m (Foto: Scheibner).

3. Der Einfallswinkel bzw. Abgrabungswinkel ist in der radialen Achse konstant
4. Das Nordprofil des Schnittes H-8 soll in einer Flucht mit jenen der Schnitte H-6 und H-7 und somit entlang der 2003 festgelegten Mittelachse des Großen Hafirs liegen
5. Die vom Verfasser angenommene getreppte oder terrassierte Kegelstumpfform bleibt unberücksichtigt, da ihre Einbeziehung zu viele Unbekannte (Länge und Höhe der Stufen) enthält

Ausgehend von diesen Grundlagen ergibt sich rechnerisch, dass die mit 14° Neigung einfallende westliche Hafirwandung die Tiefe von 15 m nach einer horizontalen Distanz von 60,16 m erreicht:

$$\begin{aligned} D &= \text{Tiefe} : \tan_{\text{Abgrabungswinkel}} \\ &= 15 \text{ m} : \tan 14^\circ = 15 \text{ m} : 0,249328 \\ &= 60,16 \text{ m} \end{aligned}$$

Da jedoch von der Hypothese ausgegangen wird, dass das Hafirbecken in den anstehenden Gesteinsuntergrund der Nubischen Serie, vorzugsweise in einen Tongesteinshorizont eingetieft ist, muss als wahrscheinlich angenommen werden, dass dieses ins Gestein geschlagene Becken eine steilere, möglicherweise sogar eine senkrechte Wandung aufweist. Es war aber unbekannt, in welcher Tiefe dieser Gesteinsuntergrund ansteht und wie tief das Becken seinerseits in



diesen eingetieft wurde. In jedem Falle aber verkürzt sich aufgrund der postulierten steileren Beckenwand im Gestein die obige Horizontalabstand D.

Daher wurde der 5 m lange und 2 m breite Schnitt H-8 in einer Entfernung von 50-55 m von der Abgrabungskante im Schnitt H-7 ausgesteckt. Dies korreliert mit der willkürlichen Annahme einer Höhe der senkrechten Steinbeckenwandung von ca. 1,25-2,50 m. Die Anlage des Schnittes erfolgte somit innerhalb des ca. 2 m tiefer gelegenen Innenraumbereiches, der durch die vom *Sudanese Civilization Institute* (Khartoum) initiierten Ausbaggerungsarbeiten im vergangenen Jahr entstandenen war und dessen Oberfläche hier eine relative Höhe von etwa 8,85 m aufweist. Der Schnitt H-8 erreichte – von dieser tieferen Oberfläche aus gemessen – zunächst eine Tiefe von ca. 8,65 m (= 0,20 m r. H.). Anschließend wurde der Ostteil (etwa ein Viertel des Schnittes) im Rahmen einer Sondage weiter bis auf 9,35 m abgetieft, was einer relativen Höhe von -0,50 m entspricht.

Das wesentlichste Ergebnis besteht darin, dass durch die Sondage im östlichen Abschnitt der anstehende Sandstein mit seinem obersten Verwitterungshorizont erfasst werden konnte, der im Westteil des Schnittes nicht erkennbar war. Seine Obergrenze liegt bei ca. 0,20 m r. H. Damit ist klar, dass der zum Zentrum (nach Osten) hin gelegene Hafirbereich, der laut Geoelektrikprofil eine Endtiefe von vermutlich 15 m erreicht (13,5 m wurden zudem bereits im Schnitt H-6 ergraben), in den Gesteinsuntergrund eingetieft sein kann – falls hier nicht zufällig eine Depression, z. B. eine Rinne, im anstehenden Gestein vorhanden ist. Aber auch diese könnte ausgeräumt und teilweise als Becken genutzt worden sein. Unklar ist noch, ob die mit nur geringem Gefälle in Richtung auf das Hafirzentrum einfallende Obergrenze des Sandsteins im Schnitt H-8 eine natürliche ist, oder ob sie bereits das Resultat der Anlage des Hafirs darstellt. Der Verfasser neigt eher zu letzterer Auffassung. In jedem Falle wird durch den nahezu horizontalen Verlauf der Schichtgrenzen, d. h. wegen des Fehlens einer deutlichen, schräg einfallenden Abgrabungsgrenze (auch im höher gelegenen Profilbereich), die Richtigkeit der Hypothese einer getreppten Kontur der Hafirwandung bestätigt.

Die Existenz eines natürlichen Steinbeckens im Hafirinneren lässt sich an noch einem anderen Beispiel wahrscheinlich machen. In den Unterlagen der 7. Grabungskampagne 1968 finden sich zwei Dokumente, die Aufschluss über ein derartiges Prinzip der Anlage eines Hafirs geben (DV 10, 102: 4. April 1968; DV 113): Hier wird über einen Survey in der Umgebung von Musawwarat es Sufra berichtet, der unter anderem zum Gebel el Beneya im Wadi el Sidr führte. In diesem Gebiet¹⁰⁾ hatten die dort lebenden Angehörigen der Ja'alin in einem alten

Hafir nach Wasser gegraben und waren in ca. 5 m Tiefe auf zentral im Hafir gelegene und "... in den Fels gehauene quadratische Becken gestoßen". Eines der Becken war bereits vollständig freigelegt worden. Es maß ca. 9 x 9 m und seine Tiefe in sich betrug zwischen 1 m und 1,20 m. Ein zweites derartiges Becken befand sich unmittelbar daneben und wurde gerade freigeräumt. Es wurde festgestellt, dass es "sich offensichtlich um eine sehr alte Anlage" handeln müsse. Dafür sprechen nicht zuletzt der mit 100 m angegebene Durchmesser des Hafirs sowie seine Tiefe, die sich den Angaben zu Folge aus 5 m Abgrabungs- und 1,20 m Beckentiefe zusammensetzt und somit 6,20 m beträgt. Insgesamt ist dies ein Modell, welches man sich auch für die Hafire von Musawwarat vorstellen muss – ob nun mit mehreren einzelnen oder einem großen Sandsteinbecken im Untergrund.

2.2.2.4 Wasserhebung und Begehbarkeit

Ein wenig beachtetes und deshalb ungelöstes Problem stellt die Art und Weise der Wasserförderung aus dem Inneren des Hafirs dar. Denn durch die mit dem Absinken des Wasserspiegels zunehmende Fördertiefe mussten immer mehr Höhenmeter bis zum Befüllungsniveau z. B. der ebenerdigen Wasserleitungen II F und II F-2 (Scheibner 2002) überbrückt werden. Dass keine Zylinderform zur Anwendung gelangte, kann seinen Grund neben der Materialbeschaffenheit und dem Bauaufwand auch in den verfügbaren Mitteln zur Wasserförderung bzw. -hebung haben. Es ist zudem zu bedenken, dass mit Sicherheit auch eine direkte Begehbarkeit selbst (oder gerade) des Hafirgrundes angestrebt worden ist, um die Reinigung des Speichers von – in der Größenordnung absetzbeckenabhängig – eingeschwemmten Sedimenten zu gewährleisten und so langfristig seine volle Funktionsfähigkeit im Sinne vollen Speichervermögens aufrecht zu erhalten und die Wasserverschmutzung zu minimieren.

Die konzentrischen Stufen der hier angenommenen getreppten Kegelstumpfform des Hafirbeckens würden in Abhängigkeit von ihrer Höhe die Begehbarkeit durch Personen entscheidend verbessern und wären die ideale Basis für die Aufstellung von Hebezeugen, wie etwa des Shaduf. Diese müssten mit abnehmendem Wasserstand auf immer mehr unterschiedlich hohen Ebenen installiert worden sein, da sich der maximale Höhenunterschied bis zum Hafir-

10) Leider ist anhand der Angaben nur eine ungefähre Lokalisierung möglich. Nach dem Kilometerstand des Fahrzeuges, der während des Surveys notiert wurde, liegt der Gebel el Beneya 14 km von Musawwarat entfernt, und zwar – der Beschreibung der Fahrtroute nach zu urteilen – ca. in nord-östlicher Richtung.



rand von vermutlich 15 m beim Tiefstand des Hafirpegels nur noch mit mehreren hintereinander geschalteten Shaduf überbrücken ließ. Zur vertikalen kommt zudem auch noch eine viel beträchtlichere horizontale Entfernung hinzu. Der sinkende Wasserstand des Hafirs entfernt sich durch die grundsätzlich schräg einfallende Gesamtkontur des Beckens zunehmend nicht nur in die Tiefe, sondern auch zur Mitte des Beckens hin. Im Bereich der „Shaduf-Treppe“ wären dann Zwischenspeicherbecken zu erwarten, die jeweils vom nächsttieferen Shaduf befüllt wurden und aus denen das nächsthöhere schöpfte. Auch der beim Gebel el Beneya gelegene, oben erwähnte alte Hafir mit den zentralen Sandsteinbecken weist offenbar eine (grobe) Stufung seiner Wandung auf, wie sich aus einer Skizze des Hafirs (DV 113, 2) ergibt.

Natürlich kann man ebenso unterstellen, dass die Förderung des Wassers per Hand und sein Transport zur Hafiroberkante bzw. zum Beginn der Wasserleitung(en) durch Träger oder Lasttiere erfolgten, wobei sich allerdings Lasttiere aufgrund der permanenten Wasserverschmutzungs- um nicht zu sagen -verseuchungsgefahr weniger anbieten. Es bedürfte dann jedenfalls nicht der Hintereinanderschaltung mehrerer Shadufs und der Anlage von Schöpfbecken. In jedem Falle aber musste der Hafir bis unten begehbar sein, und dies wie gesagt vermutlich auch zum Zwecke seiner Reinigung. Eine direkte, radiale Wegeführung für den Ab- und Aufstieg hätte im günstigsten Falle ein dem (bislang festgestellten) minimalen Böschungswinkel von 10° entsprechendes Gefälle besessen. Auch wenn es speziell in den Bauwerken von Musawwarat es Sufra nirgends eine Treppe gibt, kann im Falle eines solchen Hafiraufweges die Anlage von befestigten Stufen anstelle einer Rampe wohl nicht ausgeschlossen werden. Im Tiefenbereich des im Gesteinsuntergrund angelegten Beckens sind Treppen ohnehin als nahe liegend anzusehen, oberhalb sind wegen der Durchfeuchtung des Erdreichs befestigte Stufen ebenfalls sinnvoll.

Eine andere interessante Möglichkeit ist die Annahme eines an der Beckenwand spiralförmig umlaufenden Aufweges, wie er aus ägyptischen Brunnenanlagen – dort als Treppe angelegt – bekannt ist (Eigner, pers. Mitt.). Mit abnehmendem Füllstand wäre so ebenfalls die Möglichkeit für Träger (oder Lasttiere) gegeben, immer tiefer in das Becken zu gelangen. Mit Ausnahme der Gefällereduktion weist diese Variante aber keine allzu deutlichen Vorteile gegenüber einem radial angelegten Zugang auf. Einerseits müsste ein derartiger umlaufender Weg als sich nach unten verzweigende Spirale angelegt sein, da er sich an der kegel(stumpf)förmigen Hafirwandung anlehnen muss. Ein solcher Weg, besonders seine Kante zum Beckeninneren, müsste im Gegensatz zu einer radial verlaufenden Form, die ja keine solchen

Kante erfordert, recht massiv befestigt oder häufig repariert werden, und in so fern ist es unwahrscheinlich, dass er den Bereich unterhalb des Hafireinlaufes überhaupt passiert hätte. Es würde sich dann also um keinen vollständigen Spirallumlauf, sondern wohl eher um einen Spiralarm gehandelt haben, der aber dennoch im tiefsten und gleichzeitig zentrumnahesten Bereich – je nach Form des Hafirgrundes – beginnen müsste. Es ist daher davon auszugehen, dass in Abhängigkeit von der – in jedem Fall längeren – Wegstrecke das Gefälle eines solchen Aufweges das geringere wäre, weil die Neigung eines radial verlaufenden Weges mindestens der geringsten Wandungsneigung von 10° entspricht. Andererseits lässt sich diese radiale Neigung von 10° , die einem Gefälle von 17,63% entspricht, noch recht bequem zu Fuß begehen, was die Notwendigkeit einer Gefällereduktion als Argument für die Anlage eines spiralförmigen Aufweges minimiert.

Es sei an dieser Stelle auf die Koinzidenz der Problematik der Wasserhebung und der Abraumbeförderung beim Bau des Hafirs hingewiesen. Der Transport des Abraumes war mit zunehmender Tiefe vor exakt dieselben Schwierigkeiten gestellt. Die Nutzung eines dem geringsten Neigungswinkel folgenden (getrepten?) Aufweges bietet sich hierfür am ehesten an. Möglicherweise wurden ein oder mehrere eventuell im Nachhinein zur Wasserförderung genutzte Aufwege also bereits während des Baues für die Abraumbeseitigung angelegt.

Im Hinblick auf eine Befestigung des Hafirbeckens, seine Begehbarkeit und/oder das Aufstellen von Hebezeugen kann uns auch die im Hafirinneren in Schnitt A etwa 12,5 m und in Schnitt C etwa 25 m von der Abgrabungskante entfernt im Beckeninneren(!) angetroffene Steinpflasterung (Hintze 1963, 68) bestenfalls eine Vorstellung vermitteln. Diese Pflasterung liegt trotz ihrer deutlichen Entfernung vom Rand nur 0,25 m tiefer als die Abgrabungskante und 4,75 m über dem (in diesen Bereichen erfassten?) Hafirgrund. Sie stammt demzufolge aus einer jüngeren Phase und wird von Hintze (1963, 68) als eine Randbefestigung aus späterer Zeit angesprochen. Diese Interpretation gibt jedoch Anlass zu Bedenken. Denn eine Randbefestigung in dieser Höhe würde bedeuten, dass der Hafir nicht mehr als solcher in Funktion gewesen ist. Ein Becken, dessen wie auch immer geartete Wandung schräg einfällt, würde von innen – vom tiefsten Bereich nämlich – nach außen zusedimentiert, wobei allenfalls ein leichtes Gefälle der abgesetzten Schwemmfracht vom Zulauf zum Zentrum oder auch zur gegenüberliegenden Wandung hin zu erwarten wäre. Wenn an der gegenüberliegenden Beckenwand das Sedimentationsniveau bereits in besagte Höhe gereicht hat, auf der das Steinpflaster angelegt wurde, heißt dies, dass das Becken generell



Abb. 6: Wallfußbefestigung im Übergangsbereich zwischen Einlass und Innenraum des Großen Hafirs, hier an der Nordseite der Einlassöffnung. Links die tiefstgelegene sichtbare Kantenbefestigung (Foto: Scheibner).

bis in eben diese Höhe mit Sedimenten gefüllt gewesen sein muss. Folglich ist die Ansprache der Steinpflasterung als Randbefestigung zweifelhaft, da es einen Beckenrand an dieser Stelle nicht mehr gegeben haben kann. Lediglich unter der Annahme eines eventuell sekundär in das eingeschwemmte Sediment gegrabenen Beckens lässt sich diese Interpretation aufrecht erhalten. Dies ist aber äußerst unsicher, da die Standfestigkeit der Hafirsedimente – vor allem bei Durchfeuchtung – gering gewesen sein dürfte. Allerdings käme eine starke Böschung der neu gegrabenen Beckenwand in Frage, um die Nutzung eines derartigen “neuen” Hafirbeckens zu ermöglichen – gleichbedeutend mit einem Verlust an Speichervolumen.

2.2.2.5 Die Wälle und ihre Funktion

Es stellt sich noch immer die Frage nach der Funktion der Wälle – sofern es überhaupt eine gegeben hat. Vielleicht war ihre Aufhäufung schlicht die effizienteste Lösung zur Bewältigung des Abraumes. Jedoch bildeten sie andererseits keine unsystematische Struktur, sondern sie wurden nach bestimmten konstruktiven Kriterien angelegt. So ist u. a. die bereits von Viète (1961, 1 und 4 mit Skizze) beschriebene Beobachtung interessant, dass das Gefälle der Wallflanken nach innen steiler als nach außen ist. Dass diese Beobachtung möglicher Weise auch den

ursprünglichen Zustand der Wälle beschreibt, wird aus den Schüttungswinkeln der tieferen Wallsschichten deutlich, die ebenfalls nach innen steiler einfallen. Die Wallhänge könnten aber, z. B. bei verschiedenartiger Oberflächenbefestigung, auch erst *mittlerweile* steiler nach innen einfallen. Denn in gewisser Weise wird mit der Beobachtung die Tatsache beschrieben, dass die Wälle nach außen stärker erodiert erscheinen, d. h. dass der Abschwemmkegel an der Außenseite des Hafirs stärker ausgeprägt ist und so eventuell flachere Hänge vortäuscht.

Dass ausgerechnet der steileren Innenseite ein weniger ausgeprägter Schwemmfächer vorgelagert ist, lässt sich wie folgt erklären. Einerseits könnten konstruktive Ursachen zugrunde liegen, die eine bessere Sicherung der Hänge auf der Innenseite zum Hintergrund hatten: Vorrangig das Wasserreservoir sollte sicherlich vor abgespültem Wallmaterial geschützt werden. Und andererseits konnte sich verlagertes Hangmaterial zunächst gar nicht in größerem Umfang am inneren Wallfuß akkumulieren, denn dort war ja eben das Hafirbecken eingegraben. Somit konnte sich vorläufig kein flacher Schwemmfächer auf der Innenseite ausbilden – unabhängig davon, ob das abgeschwemmte Material anschließend aus dem Hafirinneren geräumt wurde oder nicht. Erst nachdem das Hafirbecken aufsedimentiert war, hätte eine heute sichtbare Verflachung der abgeschwemmten Schichten eintreten können.

Der Verfasser hatte mehrfach die Gelegenheit, den Großen Hafir ausführlicher in Augenschein zu nehmen. Ein dabei beobachteter Befund könnte die beschriebene Querschnitt-Asymmetrie der Wälle erklären: grobe, pflasterartig wirkende, horizontale Sandsteinpackungen, die sich in mehreren hinter- bzw. übereinandergeschalteten Höhenniveaus auf den Innenseiten der Wälle bis zum Wallfußbereich hinab abzeichnen. Die Wälle waren auf der Innenseite massiv befestigt, vielleicht sogar getreptt bzw. terrassiert. An den Außenseiten konnten derartige Befestigungen nicht registriert werden. Dies könnte freilich an einer Überlagerung mit abgeschwemmtem Wallmaterial bzw. an der damit verbundenen Zerstörung liegen. Jedoch bliebe dann die Frage bestehen: Warum nur außen?

Auch der Innenbereich des Zulaufes ist auf diese Weise befestigt worden. Deutlich lassen sich gerade hier mehrere Etagen dieser Packungen erkennen. Besonders aufschlussreich ist die Situation am unmittelbaren Übergangsbereich der Flankenwälle des Zulaufes in die eigentlichen Hafirwälle. Hier knickt (zumindest) die unterste Steinpackung am Fuß der Flankenwälle beiderseits des Zulaufes abrupt mit einem stumpfen Winkel jeweils nach außen und nimmt so die Ausrichtung der Wallinnenseiten an (Abb. 6). Zwischen diesen beiden Knickpunkten ließen sich die Hafirinnenfläche exakt gegen den Zulaufbereich abgrenzen und die genaue Breite des Zulaufes mit 51,50 m (im Niveau der heutigen Geländeoberfläche) ermitteln. Oberhalb dieser Fußbefestigung konnten noch mindestens zwei weitere dieser Befestigungsniveaus ausgemacht werden. Diese Befestigungen sind im gesamten Wallumfang vorhanden, nicht nur im Einlassbereich. Sehr wahrscheinlich sind es diese Strukturen, die auch auf dem 2001 gemessenen Magnetogramm im Bereich des Hafirzulaufes sowie 2002 für den gesamten südwestlichen Wallbereich sichtbar gemacht werden konnten. Vergleichbare Strukturen weist wohl auch der Kleine Hafir auf, wie die dortigen geomagnetischen Untersuchungen der Kampagne 2002 vermuten lassen.

Bezüglich des Großen Hafirs von Musawwarat ist weiterhin zu registrieren, dass er – abgesehen vom Zulauf – auch sonst keinen geschlossenen Ringwall besitzt. Vielmehr gliedert er sich in einzelne Wallabschnitte unterschiedlicher Höhe, die an vier zusätzlichen und sich gegenüberliegenden Stellen größere Öffnungen in Form von Unterbrechungen oder Depressionen (Hintze 1962, 459) lassen – im Westen, im NW, im NE und im Süden bis SW (vgl. Abb. 4). Deren Funktion ist bislang unklar, teilweise handelt es sich wohl um Zugänge. Sie wurden vermutlich schon beim Bau beabsichtigt, wie sich bereits nach Hintze (1962, 459) anhand von Wallschnitten “mit Sicherheit ergab”, leider aber nicht begründet wird. Zumindest werden sie spätestens während der

Nutzungszeit des Hafirs angelegt worden sein. Eine natürliche Entstehung z. B. durch lineare rück-schreitende Erosion im Wallhang kann unter Hinweis auf das äußerst geringe “Einzugsgebiet” auf dem jeweiligen Wallabschnitt ausgeschlossen werden.

Keine dieser Öffnungen reicht indessen bis in das ebenerdige (Zulauf-)Niveau hinab, was gegen eine Zugangsfunktion sprechen könnte, wenn man den Schutzaspekt für das Wasser (s. unten) außer Acht lässt. Zumindest für die westliche der Öffnungen, die dem Tempel II A gegenüber und gleichzeitig im Bereich des Werkplatzes II G liegt (s. unten), ließe sich diese Tatsache aber mit einer nachträglichen Sedimentation von den Wällen abgeschwemmten Materials erklären, für die anderen nicht, da sich die oben erwähnten Sandsteinpackungen – mit Ausnahme der westlichen Öffnung¹¹⁾ – in ihrem entsprechenden Niveau auch innerhalb der flachen, senkenartig abfallenden Wallabschnitte fortsetzen. Dies ist ein klarer Hinweis, dass diese Depressionen einerseits auch nicht ursprünglich bis in den ebenerdigen Tiefenbereich des umgebenden Geländes reichten, sie aber andererseits wohl auch nicht aus einer erosiven Zerstörung dieser Wallbereiche resultieren, sondern so geplant waren.

Die langgestreckte, südlich bis südwestlich liegende Wallabflachung könnte mit dem etwa 100 m weiter nach Südwesten entfernt stehenden Löwentempel zusammenhängen. Vielleicht sollte hier (nachträglich?) eine Art Sichtachse geschaffen werden, die u. U. mit dem Fruchtbarkeitsaspekt des Löwengottes Apedemak und seiner diesbezüglichen(?) Beziehung zum Wasser erklärt werden könnte, die auch in den an Hafiren mehrfach vorgefundenen Löwenskulpturen deutlich wird. So fand sich im Schnitt H-5 auf der Westseite des Hafirinneren, etwa 3,25 m von der Abgrabungskante nach innen entfernt und in unmittelbarer Nähe zur Wasserleitung II F, die 1,60 m hohe Sandsteinskulptur eines sitzenden Löwen (Hintze 1963, 68, 69: Abb. 8 und 76: Tafel Va, b) – ein Merkmal, das der Große Hafir von Musawwarat mit weiteren Hafiren, wie z. B. denen in Basa oder Umm Usuda (Crowfoot 1911; F. W. Hinkel 1977), teilt. Aus Basa sind zusätzlich zu den insgesamt neun sitzenden Löwen auch zwei Froschskulpturen bekannt geworden (Crowfoot 1911; Hinkel 1977), in Umm Usuda wurden außer drei liegenden und fünf sitzenden Löwenskulpturen noch drei liegende Widder sowie eine Stele mit meroitischer Inschrift gefunden (M. Hinkel 1991, 41ff.). Der Löwe im Schnitt H-5 wurde 2004 erneut freigelegt und seine stratigraphische Position dokumentiert. Dabei stellte sich heraus, dass er – wie von Hintze beschrieben –

11) Was vorläufig nur heißen soll, dass sie hier nicht sichtbar waren. Unter der Oberfläche könnten sie durchaus vorhanden sein.



zwar innerhalb des eigentlichen Hafirbeckens steht, sich aber dennoch in situ befindet, d. h. dieser Aufstellungsort war intendiert, was sich am Vorhandensein einer Fundamentierung erweist.

Insgesamt jedenfalls erscheint neben der Abraumbewältigung eine Schutzfunktion der Wälle am plausibelsten. Der Oberflächenabfluss konnte auf diese Art nicht unkontrolliert die Beckenränder erodieren, andererseits wurde die Wasserverschmutzung durch Tierherden wirksam vermindert. Ein weiterer Effekt, den als bewusst angestrebt zu betrachten jedoch spekulativ wäre, ist die verminderte Verdunstungsrate aufgrund des herabgesetzten direkten Einflusses des Windes auf die Wasseroberfläche. Denkbar ist aber auch eine zusätzliche technische Funktion der Wälle, in dem durch ihre Höhe ein größerer Gefälledruck in eventuellen weiteren, im oberen Wallbereich liegenden Wasserleitungen oder -kanälen erreicht worden wäre, wodurch das Wasser über größere Entfernungen – mit der Anwendung des Prinzips kommunizierender Röhren auch bis weit auf die andere Wadiseite – transportiert worden sein könnte. Vorläufig muss dies jedoch Hypothese bleiben. Die ergrabenen Wasserleitungen II F und II F-2 waren jedenfalls ebenerdig, d. h. inner- bzw. unterhalb des Walles angelegt worden.

2.2.2.6 Modellvorstellungen zum Kleinen Hafir

Modellhaft kann auch beim Kleinen Hafir von einer Kegelstumpfform mit einer ähnlichen (durchschnittlichen) Wandneigung von $15,5^\circ$ wie im Großen Hafir ausgegangen werden. Weiterhin ist die Annahme eines oberen Beckendurchmessers von ca. 100 m angemessen, der demnach nur die Hälfte dessen des Großen Hafirs misst. Entsprechend würde die Maximaltiefe einer derartigen Kegelform 13,86 m erreichen und läge damit noch innerhalb der für den Großen Hafir anzunehmenden Tiefe. Für eine Kegelstumpfform hingegen könnte eine Tiefe von vielleicht 6-8 m vermutet werden. Wie oben dargestellt, muss sich die Tiefe eines Hafirs im Gegensatz zum vom Untergrundmaterial abhängigen Böschungswinkel vorrangig an den Verdunstungsverlusten und in Zusammenhang damit an der angestrebten Dauer der Wasserverfügbarkeit orientieren. Insgesamt sind aufgrund dieser Relation geringere Hafirtiefen als ineffizient einzuschätzen.

Denn bei einer Tiefe von nur 3 m ergäbe sich anhand der oben benutzten Formel (4) zwar immerhin ein Volumen von 18.831 m^3 , und bei 4 m Tiefe würde es sich auf 23.227 m^3 belaufen, jedoch sind davon etwa 2,50 m Verdunstungshöhe abzuziehen – gleichbedeutend mit 83 bzw. 62,5 % Verdunstungsverlusten. Legt man daher eine größere Tiefe zu Grunde, ergeben sich Speichervolumina von 29.671 m^3 für 6 m (41,7 % Verlust) und von 33.550 m^3 für 8 m Tiefe (31,25 % Verlust) und nutzbare Wassermengen von

17.298 m^3 bzw. 23.066 m^3 . Dass die Annahme dieser Hafirtiefen ungeachtet des geringeren Durchmessers als realistisch gelten kann, belegt das Beispiel des oben erwähnten Hafirs beim Gebel el Beneya, der bei einem Durchmesser von ebenfalls 100 m über 6 m tief ist (DV 10, 102: 4. April 1968; DV 113).

2.3 Weitere Hafire in Musawwarat

2.3.1 Ein Hafir im Oberlauf des Wadi es Sufra

In der Kampagne 2003 wurde im Rahmen einer Erkundungsfahrt¹²⁾ im Oberlauf des Wadi es Sufra, etwa 3 km östlich von Musawwarat, ein bislang undokumentierter Hafir entdeckt (Plan 2). Der Zulauf des an der südlichen Wadiflanke gelegenen Hafirs weist ca. nach NE. In Form, Größe und Erhaltungszustand ist er dem Kleinen Hafir vergleichbar und es ist sehr wahrscheinlich, dass auch seine Errichtung in die antike Zeit zurückreicht. Für dieses Gebiet existiert noch keine Bezeichnung, weshalb ich in Fortführung der in Musawwarat gültigen Einteilung (I bis IV) für dieses Areal, das als Einzugsgebiet des Großen Hafirs ohnehin in direktem archäologischen Bezug zu Musawwarat steht, die Ziffer "V" vorschlagen möchte. Der neu entdeckte Hafir wäre entsprechend als "Objekt V A" zu bezeichnen.

2.3.2 Der Hafir am Steinbruch I J

Auch im engeren Talkessel lässt sich noch mindestens ein weiterer Hafir ausmachen, der vermutlich der Nutzungszeit von Musawwarat entstammt, und zwar am großen Steinbruch I J an der westlichen Talflanke (Plan 1). Auf den ersten Blick erscheint der Hafir zunächst recht jung, da sein nach SE exponierter Wall offenbar frisch aufgeschüttet ist. Dieser Schein trügt jedoch in so fern, als der inzwischen neu aufgeschüttete Wallabschnitt die Reparatur eines Wallbruches darstellt, dessen Spuren sich im unterhalb gelegenen Hangbereich deutlich abzeichnen. Das Einzugsgebiet dieses ebenfalls undokumentierten und unbenannten Hafirs wird von einem Teil des westlichen Sandsteinplateaus und dessen ostexponierten Hanglagen gebildet. Diese Konstellation konnte einen Durchbruch des Hafirwalles hervorrufen, da das Einzugsgebiet und der Hafirzulauf mithin höher liegen als der Wall. Dieser Hafir ist nicht sehr groß, sein Durchmesser beträgt geschätzte 40-50 m. Sein Innenraum scheint aber doch in den Untergrund eingetieft zu sein, so dass nicht nur der Wall für das Speichervolumen sorgt. Der Hafir ist noch in Nutzung, wofür neben offensichtlichen Reinigungsarbeiten wohl auch die

12) Durchgeführt von R. Mucha, D. Billig, T. Karberg und dem Verfasser.



Tatsache verantwortlich zu machen ist, dass sein felsig-steiniges Einzugsgebiet vergleichsweise wenig Sedimentfracht bereitstellt.

Die Vermutung des Verfassers, dass es sich auch hierbei um einen antiken Hafir handelt, gründet sich neben der Tatsache, dass eine unmittelbare Wasserversorgung an einem solchen doch recht ausgedehnten Steinbruch zweckmäßig ist, auf eine diesjährige Beobachtung im Einzugsgebiet. Letzteres weist Erschließungsspuren auf, die allgemein in der Beräumung und Abgrenzung von Hangabschnitten zum Zwecke der Ableitung und Konzentration des Oberflächenabflusses und seiner Zuleitung zum Hafir bestehen. Können diese Maßnahmen an sich noch keinen Datierungsansatz liefern, so findet er sich aber doch – und zwar in Form von Meißelspuren, die im kaskadenartigen Wasserlauf am Hang an (bislang) einer Stelle vorkommen, an der das Wasser konzentriert und zum Hafir abgeleitet wird. Diese Meißelspuren im Sandstein wiederum sind nahezu identisch mit jenen im Steinbruch. Im Rahmen der Erschließung des Einzugsgebietes wurde hier offenbar durch Veränderung auch des festen Gesteinsuntergrundes, d. h. nicht nur durch Verlagerung bzw. Anhäufung losen Materials, der Wasserabfluss gesteuert.

In Ergänzung der voranstehenden sei noch eine weitere Beobachtung aus dem Steinbruch selbst erwähnt. Dieser wurde "tagebauartig" in den Untergrund vorgetrieben, so dass eine Hohlform entstand. Hangabwärts tritt heute eine den Sandstein durchschneidende Abflussrinne aus dem Steinbruch aus. Dieses enge und partiell sehr steile, schluchtartige Tälchen weist die typischen fluviatilen Erosionsformen auf und vermittelt den Eindruck einer natürlichen Entstehung. Jedoch finden sich auch hier, innerhalb der Abflussbahn, zahlreiche Meißelspuren, die darauf hindeuten, dass es sich um eine künstlich angelegte Abflussrinne handelt – sie diene der Entwässerung des Steinbruches, der – abgesehen vom Regen selbst – sonst wohl vom hangabwärts strömenden Oberflächenabfluss überschwemmt worden wäre.

2.3.3 Ein alter Hafir in der Großen Anlage?

2.3.3.1 Vorbemerkung

Ein letzter Befund soll an dieser Stelle angesprochen werden, wenngleich eine endgültige Deutung seines Charakters noch unsicher ist. Über mehrere Kampagnen hinweg haben verschiedene Befunde und Detailbeobachtungen den Verfasser zur Überzeugung gelangen lassen, dass es innerhalb der Großen Anlage (mindestens) eine – neutral formuliert – tiefgründige Hohlform im Untergrund gegeben haben muss, und zwar nördlich der Zentralterrasse im Bereich des Hofes 122 (und eine weitere möglicherweise im Hof 415).

2.3.3.2 Argumente – Der Erkenntnisstand bis 2003

In der Kampagne 1998 wurde im Süden des Hofes 122, unmittelbar nördlich der Mauer 120+121/122, ein Suchschnitt angelegt, dessen Ziel die Klärung der Frage nach einer ursprünglich vorhandenen Fortsetzung der abgerissenen Mauer 117a/117b nach Norden war, da diese Mauer noch als Schwelle im Durchgang 120-121 sowie als Fundamentlage unter der heutigen Mauer 120/121 erhalten ist (Wenig & Wolf 2000; für eine ausführliche Diskussion s. Scheibner 2003). Die Mauer fand sich nicht; statt dessen wurde ein mächtiges lehmig-toniges Sedimentpaket angeschnitten, das den gesamten Schnitt ausfüllte und in der erreichten Tiefe von ca. 1,20 m nicht noch nicht endete. Im südlich angrenzenden Hof 120 (Schnitte 120.30+31; Grabung durch R. Mucha und Verfasser) erwies sich in der Kampagne 2000, dass auch die Mauer 120/122 selbst über einer tiefgründigen, mit Bauschutt aufgefüllten Eingrabung errichtet wurde, die unmittelbar südlich dieser Mauer beginnt. Auch im Rahmen der Untersuchungen 2004 (Grabung T. Karberg) konnte deren Untergrenze nicht ergraben werden. In der Kampagne 2003 schließlich zeigte sich in einem Schnitt an der Mauer 122/227 (angelegt durch R. Mucha und Verfasser; 2004 von D. Eigner fortgeführt) an der Nordseite von Hof 122 ein vergleichbarer Befund wie 1998 an der Südseite des Hofes – ein lehmig-toniges Sedimentpaket, das etwa 1,50 m in die Tiefe reicht. Ein weiteres Indiz stammt aus dem östlich benachbarten Hof 304, der den Tempel 300 umgibt. Es ist dies der einzige Bereich der Großen Anlage, dessen Oberfläche durch eine Anreicherung der Mittelkies- (6 mm - 2 cm) und Grobkiesfraktion (2-6 cm; wobei im Hof 304 die größten Anteile ca. 3-4 cm erreichen) charakterisiert ist. Und schließlich wurde im Rahmen der Wiedererrichtung der Umfassungsmauer der Großen Anlage in der Kampagne 2002 (Grabung durch D. Billig) eine lokal eng begrenzte, mehrere Dezimeter mächtige Mittel- bis Grobkiesfraktion erfasst, die an der Außenseite der Mauer 304/E anliegt und die – im Gegensatz zu den meisten anderen Schichten – eine relativ inhomogene Färbung von hellen, gelblichen bis grünlichgrauen und dunklen, rötlichbraunen Anteilen aufwies.

2.3.3.3 Diskussion

2.3.3.3.1 Die Sedimente im Hof 122

Wie bereits dargelegt (vgl. oben), kann sich ein derartiges Feinmaterial, wie es in Hof 122 angetroffen wurde, nur durch eine Sedimentfallenwirkung dauerhaft ablagern, vorzugsweise in Stillgewässern (Stillwassersedimentation). Wird das Material als Suspensionsfracht des zufließenden Wassers trans-



portiert, wirkt die Hohlform als Falle. Durch die Beruhigung des Wassers, d. h. die absinkende bzw. zum Erliegen kommende Fließgeschwindigkeit, lässt dessen Transportkraft nach und die mitgeführte Fracht sinkt zum Grund. Durch die Verdunstung wird der Prozess verstärkt und beschleunigt, so dass nach dem Trockenfallen alles Material sedimentiert ist. Ein zweiter Prozess, der für – durchaus gleichzeitigen – Materialeintrag sorgen kann, ist der äolische Transport. Dabei wirkt zunächst die Wasseroberfläche selbst als Sedimentfalle, die eingewehten Partikel werden gestoppt und sinken langsam zum Grund, wo sie sedimentiert werden. Dabei genügt, z. B. nach einer Austrocknung des Gewässers, aber bereits eine noch hinreichend feuchte Bodenoberfläche, auf der auftreffende Kleinstpartikel adhäsiv gebunden und auf diese Art akkumuliert werden.

Insgesamt sind im Hinblick auf den in Hof 122 angetroffenen Befund nun zwei Dinge wichtig: Erstens konnte der Oberflächenabfluss nicht soviel Feinmaterial – über die Außen- und die Hofmauern hinweg! – in die Große Anlage hinein transportieren, sofern er den Hof 122 überhaupt erreicht hätte. Es bliebe die Möglichkeit, dass das Material äolisch eingetragen wurde. Dann aber – und das selbe gilt für die fluviale Zufuhr – sollte sich dieser Sedimenttyp nicht just auf den Hof 122 beschränken, sondern großflächig in mehr oder weniger jedem Hof auftreten. Zweitens aber, und das ist das Entscheidende, fanden sich die in Rede stehenden Sedimente bis in einen Tiefenbereich hinein, der verglichen mit den umliegenden Hofarealen per se die (Prä-)Existenz einer Hohlform erweist – ebenso wie die tiefe Auffüllung mit antikem Bauschutt unter der südlichen Hofmauer. Anderenfalls hätte unterstellt werden können, dass die Sedimente sich erst nach der Zerstörung der Hofmauern akkumuliert haben. Dies ist aber nachweislich nicht der Fall.

2.3.3.3.2 Die Kiese im Hof 304 und vor der Außenmauer 304/E der Großen Anlage

Die Auffälligkeit dieser mittel- bis grobkiesigen Ablagerungen resultiert gewissermaßen aus der Umkehrung voranstehender Überlegungen. Denn diese Korngrößenfraktionen könnten überhaupt nur noch durch fließendes Wasser transportiert worden sein, nicht aber durch den Wind – wenn man denn einen natürlichen Ablagerungsprozess unterstellen will. Dieser ist aber speziell für den Innenbereich des Hofes 304 auszuschließen, weil selbst die verstürzten Hofmauern als Hindernis gewirkt hätten und einen fluvialen Eintrag dieser Kiese nicht zuließen. Eine Akkumulation des Kiespaketes an der Außenseite der Umfassungsmauer 304/E durch den Abfluss im Wadi hingegen wäre theoretisch möglich, da dessen Transportkraft am Rand naturgemäß geringer

ist, womit das Fehlen derartiger Kiese im inneren Wadibereich erklärt werden könnte. Im Hinblick auf eine eventuelle natürliche Ablagerung der beschriebenen Kiesschicht ist jedoch auf deren Färbung zurückzukommen.

Kiese oder andere Sedimente, die vom Oberflächenabfluss sedimentiert werden, müssen zuvor (“flussaufwärts”) an der Geländeoberfläche erodiert worden sein. Nun ist der obere Tiefenbereich des Untergrundes im Wadieinzugsgebiet aber einerseits durchgehend (dunkel)rotbraun gefärbt und weist andererseits nur geringe Kiesanteile auf, die zudem kaum die Grobkiesfraktion erreichen (vgl. Gabriel 1997, 26f.). Helle mittlere bis grobe Kiese finden sich hingegen in größerer Tiefe, wie in der bereits erwähnten Grube K 174 im Schnitt 117.11N festzustellen war (vgl. Schmidt 1998, 75: Abb. 3). Die helle gelbliche Färbung deutet dabei auf reduzierendes Milieu und entsprechende zweiwertige Eisenverbindungen hin, während die dunkelrotbraunen oberflächennäheren Bereiche durch Oxidation der Eisenanteile zu Fe(III)-Verbindungen ihre Farbgebung erhielten. Diese Aufoxidierung ist naturgemäß an hinreichenden Sauerstoffzutritt gebunden, der in größerer Tiefe fehlt.

Wird also solch ein helles kiesiges Schichtmaterial an der Geländeoberfläche abgelagert, muss es zuvor in größerer Tiefe abgetragen worden sein. Dies kann aber mit natürlichen Prozessen hier nicht erklärt werden. Auch die enge räumliche Begrenztheit der Ablagerung nur im Bereich des nördlichsten Abschnittes der Ostmauer von 304 kann mit fluvialer Sedimentation nur schwer in Übereinstimmung gebracht werden. Ebenso, wie die Kiesanreicherung an der Oberfläche des Hofes 304, dürfte auch die Kiespackung außerhalb anthropogenen Ursprungs sein.

2.3.3.4 Schlussfolgerungen

Im Bereich des Hofes 122 muss eine tiefgründige Hohlform existiert haben, die teilweise auf natürlichem Wege (lehmig-tonige Sedimente), zum Teil anthropogen (Bauschutt) verfüllt worden ist. Die Entstehung dieser Hohlform dürfte am ehesten mit menschlichen Aktivitäten erklärbar sein – es handelt sich um eine Eingrabung in den Untergrund. Im Zuge ihres Aushebens wurden in tieferen Schichten des Untergrundes besagte kiesführende Sedimentschichten angeschnitten. Die Kiesstreuung im Hof 304 sowie die Kiespackung im Außenbereich der Großen Anlage stellen Reste des anthropogen verlagerten Aushubs dar. Gleichartige Aushubanteile finden wir im Übrigen sowohl auf bzw. in den Wällen des Großen wie des Kleinen Hafirs – an letzterem sind sie zudem wesentlich auffälliger, da seine Wälle nicht mit dem am Großen Hafir üblichen Sandsteinschutt bedeckt sind. Zudem entspricht die



Mischung dunkelrotbrauner und heller Anteile im Aushub dem zu erwartenden Bild, da zuerst der obere Tiefenbereich durchgraben wurde, bevor man in größerer Tiefe auf die helleren Schichten stieß.

Alles in Allem konnte bisher zumindest hypothetisch davon ausgegangen werden, dass es sich bei dieser Eingrabung um einen nicht näher anzusprechenden Wasserspeicher handelte, der entweder im Rahmen der Wassergewinnung als übergeordnetes Speicherelement im Sinne eines Hafirs – durch Zuleitung von Oberflächenabfluss – funktionierte, oder aber einen Zwischenspeicher darstellte. Die partielle Verfüllung mit Bauschutt – sofern es sich insgesamt tatsächlich um die selbe Hohlform handeln sollte – spricht jedenfalls für die Existenz dieser Eingrabung noch innerhalb der Nutzungszeit der Großen Anlage.

2.3.3.5 *Der Nachweis in der Kampagne 2004*

In der diesjährigen Kampagne konnte überraschend kurzfristig eine erste Untersuchung im Bereich des Hofes 122 durchgeführt werden, deren Hintergrund die Überprüfung soeben diskutierter Hypothese war. Dankenswerter Weise war P. Wolf in der Lage, diese zusätzliche Grabung in seinen ebenfalls vollen Zeitplan zu integrieren und die Untersuchung durchzuführen (s. Beitrag Wolf, Hof 122 in diesem Heft). Um es kurz zu machen: Die Hypothese konnte bisher zumindest dahin gehend bestätigt werden, dass tatsächlich die erwartete tiefgründige Hohlform/Eingrabung existiert.

3. DIE BEDEUTUNG UND STELLUNG DER HAFIRE INNERHALB DER CHRONOLOGIE DER BAUWERKE VON MUSAWWARAT

3.1 *Relativ- und absolutchronologische Ausgangsbasis*

Die absolutchronologische Einordnung der Hafire ist aufgrund des Fehlens einer verlässlichen stratigraphischen Anbindung an andere datierte Objekte im Tal von Musawwarat vor Schwierigkeiten gestellt – allein schon aufgrund ihrer räumlichen Distanz zu den (meisten) anderen Bauwerken. Für den Kleinen Hafir existieren gar keine stratigraphischen Anhaltspunkte. Die Hinweise zur stratigraphischen Anbindung des Großen Hafirs an andere Strukturen beruhen ausschließlich auf deren Verhältnis zu seinen Wällen. Hierin liegt aber eine bislang nicht einzuschätzende Unsicherheit, da gerade die Hafirwälle höchstwahrscheinlich keine in zeitlich-stratigraphischer Hinsicht geschlossenen Befunde darstellen, sondern vermutlich durch quasikontinuierliche Materialakkumulation während späterer Ausbau-

und/oder Reinigungsphasen des Hafirinneren sowie im Gefolge erosiver Prozesse (Abschwemmkegel) einer permanenten stratigraphierelevanten Modifizierung unterlagen.

In so fern kann die Errichtung des Großen Hafirs innerhalb der Nutzungszeit des antiken Musawwarat derzeit nicht näher als mit der immerhin plausiblen Vermutung eingegrenzt werden, dass er zu jener Zeit, als der unmittelbar benachbarte, wasserintensive Kalkmörtel-Werkplatz II G (s. Hintze 1962, 460) in Betrieb war, bereits existierte. Anderenfalls wäre die Anlage dieses Werkplatzes wohl in der Nähe des Kleinen Hafirs zu erwarten. Auch das in der Wallschüttung des Großen Hafirs partiell enthaltene Bau- oder Abrisschuttmaterial aus gebrannten Ziegeln und mit Kalkmörtel verputzten Sandsteinblöcken (Hintze 1962, 459; 1963, 69) ist derzeit weder in seiner räumlichen noch zeitlichen Herkunft bestimmbar und kann sowohl zeitgleich mit der Errichtung des Hafirs als auch in späterer Zeit in die Wallschüttung gelangt sein. Nur unter der Voraussetzung, dass der als Umfassungsmauer angesprochene, unregelmäßig-ovale Mauerzug (II E) tatsächlich die ursprüngliche Einfassung des Löwentempels darstellt (Hintze 1962, 452f.), böte sich ein absolutchronologischer terminus ante quem für die Existenz des Großen Hafirs, da diese Umfassungsmauer auf Schichten des Abschwemmkegels seines südwestlichen Wallbereiches gegründet ist (Hintze 1962, 453; 1963, 65 u. Abb. 13). Der Autor weist zudem selbst auf den nicht mehr klärbaren stratigraphischen Zusammenhang zwischen dem Löwentempel und dieser Mauer hin.

3.2 *Funktionale Chronologie oder das Verhältnis zwischen Zeitstellung und Funktion der Hafire*

3.2.1 *Die zeitlich-funktionale Stellung der Hafire in Musawwarat*

Ebenso, wie aus der Form häufig auf die Funktion geschlossen werden kann, weil sie zumeist die Form bestimmt, mag es unter Umständen außerdem möglich sein, aus der Funktion auf wenigstens die relative Zeitstellung zu schließen. Die Hafire bieten eine solche Möglichkeit. Es wurde bereits betont, dass die Wasserversorgung in vielerlei Hinsicht das primär zu lösende Problem der Unterhaltung, erst recht aber der Errichtung eines Ensembles von der Größe und Komplexität des antiken Musawwarat gewesen ist. Ein Unterfangen dieser Größenordnung war unter den gegebenen Umweltbedingungen ohne langfristige und durchdachte Planung, verbunden mit einem entsprechenden Machthintergrund und dem erforderlichen technologischen Kenntnisstand, nicht durchführbar. Daher kann wohl davon ausgegangen werden, dass auch und gerade das Wasser-



versorgungsproblem von Anfang an Berücksichtigung gefunden haben wird.

Doch was bedeutet in diesem Zusammenhang 'von Anfang an'? Nichts anderes, als dass zuerst die übergeordnete Wasserversorgung und daher zuerst die Wassergewinnung in hinreichendem Umfang sichergestellt werden mussten. In so fern ist zu fragen: Welche (stein)baulichen Strukturen dieses Fundplatzes können denn überhaupt älter als zumindest einer der Hafire sein? Die Antwort ist simpel: keine. Die in verschiedener Hinsicht wasserintensive Bautechnologie, die in Musawwarat zur Errichtung sämtlicher Gebäudekomplexe – vom kleinen Tempel II A bis hin zur gesamten Großen Anlage – angewandt wurde, ließ sich ohne die vorherige Sicherstellung einer Wasserversorgung größeren Umfangs nicht umsetzen.

Der rein technologiebedingte Wasserverbrauch beim Bauen resultierte einerseits aus der Verwendung großer Erdmörtelmengen als Versatz- und vor allem Füllmaterial der in Zweischalenbauweise mit Sandsteinblöcken ausgeführten Mauern. Ein zweiter technischer Belang war die mehrfach nachgewiesene Herstellung von Kalkmörtel für den Verputz von Gebäuden oder – in mengenmäßig kleinerem Umfang – eben auch von Wasserbecken. Ob die für letztere verwendeten gebrannten Ziegel in Musawwarat hergestellt oder von anderswo hierher verbracht wurden, muss vorläufig offen bleiben – ihre Formung jedenfalls bedarf ebenso des Wassers wie die Herstellung des Mörtels, in dem sie versetzt sind. Jegliche mit dem Bau in Zusammenhang stehenden Arbeiten jedoch – so zu sagen vom Steinbruch bis zur Baustelle – mussten personell abgesichert sein, wodurch ein Trinkwasserbedarf für die Menschen entstand, sicher aber auch ein Tränkwasserbedarf für Bestände verschiedener Nutztiere, die einerseits für den Lastentransport eingesetzt worden sein könnten, andererseits der Nahrungserwirtschaftung oder auch Ernährung der Arbeitskräfte gedient haben mögen. Und mit Sicherheit bedurfte es zusätzlich eines beachtlichen Personals, das nicht direkt an den Baumaßnahmen beteiligt war, sondern ausschließlich für die Planung und Koordinierung der Arbeiten sowie für die Logistik, d. h. für die Versorgung von Mensch und Tier mit Wasser und Nahrungsmitteln sowie Werkzeugen etc., zuständig gewesen ist. Es ist schwer, die Gesamtzahl der an der Bautätigkeit und ihrer Organisation bzw. Koordinierung direkt oder indirekt beteiligten Personen abzuschätzen. Es dürften aber zeitweilig, besonders während der Errichtung der Terrassenbauten in der Großen Anlage, mehrere Hundert gewesen sein. Auch ohne Wasserversorgungsproblem stellte dies wohl eine enorme logistische Herausforderung dar.

Die Wasserbereitstellung war somit von grundlegender Bedeutung für die Durchführung der Bau-

projekte. Ungeachtet seiner Form und Größe (vgl. unten) muss also mindestens ein Hafir als erstes Projekt in Musawwarat realisiert worden sein – oder schon existiert haben.

3.2.2 *Der zeitlich-funktionale Zusammenhang zwischen Kleinem und Großem Hafir*

Der Bau des Großen Hafirs erforderte einen enormen Arbeitsaufwand. Die mit 135.000 m³ eher zu vorsichtige Schätzung (vgl. oben) des Aushubvolumens bzw. Fassungsvermögens durch M. Hinkel (1991, 37: Anm. 8; 1994, 172: Anm. 8) ergibt ihren Berechnungen zu Folge eine Zahl der beim Bau des Großen Hafirs in Musawwarat nur für Aushub und Transport erforderlichen Arbeitskräfte von 1250 Personen bei einjähriger Bauzeit (250 Arbeitstage) bzw. von 250 Menschen bei fünfjähriger Errichtungsdauer (M. Hinkel 1991, 38; 1994, 172). Insgesamt erscheint die sich daraus ergebende Tagesleistung von etwas über 1 m³ Aushub pro Tag durch 100 Arbeitskräfte (5 Jahre Bauzeit) bzw. 500 Arbeitskräfte (1 Jahr Bauzeit) und dessen Abtransport durch entsprechend 150 bzw. 750 Arbeiter realistisch. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass diese Arbeitskräftezahl anhand eines etwa nur halb so großen Hafirvolumens geschätzt wurde, als die oben angestellten Berechnungen nahe legen. Es wäre anhand der neuen Erkenntnisse also von einer Anzahl von 500 bis 2500 Personen oder entsprechend längerer Bauzeit auszugehen. Diese Arbeitskräfte jedenfalls mussten angeleitet, koordiniert, untergebracht und für den jeweiligen Zeitraum versorgt werden, so dass die Gesamtzahl der an diesem Projekt beteiligten Personen noch wesentlich höher war. Es fragt sich, auf welcher Grundlage die Wasserversorgung dieser Menschen stand.

In diesem Zusammenhang könnte von Bedeutung sein, dass es in Musawwarat außer dem Großen auch noch den Kleinen Hafir gibt. Schon oft wurde (untereinander) die Frage diskutiert, wozu es dieses mit einem vergleichsweise geringen Fassungsvermögen ausgestatteten Hafirs bedurfte. Zumeist erfolgte eine Betrachtung dieser Fragestellung unter dem Ausgangspunkt seiner Nähe zur Großen Anlage. Es besteht jedoch noch eine weitere Möglichkeit. Denn der Arbeitsaufwand für die Errichtung des Kleinen Hafirs war um ein vielfaches geringer als der für den Großen Hafir erforderliche es gewesen ist. Jedoch ist es gerade deshalb nicht auszuschließen, dass sich das geringere Speichervolumen des Kleinen Hafirs nicht vordergründig an einer geringeren Abflussmenge seines Einzugsgebietes bemaß, sondern dass er von Anfang an nicht größer geplant gewesen ist, um seine Bauzeit und die benötigten Arbeitskräfte in Grenzen zu halten.



Die modellhaft berechneten Werte des Speichervolumens im Kleinen Hafir liegen zwischen ca. 29.000 und 34.000 m³. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass aufgrund der Verdunstungsverluste geringe Hafirtiefen eher ineffizient sind und deshalb der Annahme einer größeren Tiefe von vielleicht 6-8 m der Vorzug gegeben werden sollte. Die kaum ermittelbare Versickerung in den Untergrund bleibt hier deshalb unberücksichtigt, da sich gegen sie leichter Maßnahmen einleiten ließen und sie die Größenordnungen wohl auch nicht deutlich verändern würde. Insgesamt kann nach beschriebenen linearen Verdunstungsmodell ein Näherungswert der über die Trockenzeit aus einem 6-8 m tiefen Kleinen Hafir nutzbaren Wassermenge, d. h. abzüglich der Verdunstung, von etwa 60-70 % des Speichervolumens und damit von ca. 17.000-23.000 m³ als realistisch gelten.

Die bei schwerer körperlicher Arbeit, die der Hafirbau mit Sicherheit darstellte, pro Tag je Person benötigte Trinkwassermenge dürfte auch bei Gewöhnung an die klimatischen Bedingungen im Mittel vielleicht 7 Liter betragen. Somit ergäben sich bei 250 Arbeitstagen also durchschnittlich etwa 1750 Liter oder 1,75 m³ Trinkwasserbedarf pro Kopf. Ausgehend von einer aufgrund der neuen Ergebnisse auf 500 verdoppelten Anzahl der Arbeitskräfte am Großen Hafir errechnet sich für zehn Monate – bis der Kleine Hafir wieder beginnt, sich zu füllen – ein Trinkwassergesamtbedarf der am Hafirbau direkt tätigen Arbeitskräfte von 875 m³, bei (eher unrealistisch anmutenden) 2500 Personen wären es entsprechend 4375 m³. Zusammen mit dem sonstigen Koordinierungs- und Versorgungspersonal und der schwer zu schätzenden Größenordnung an Brauchwasser für Hygiene, Nahrungszubereitung etc. ergäbe sich ein Gesamtwasserbedarf in der Größenordnung von vielleicht jeweils der drei- bis vierfachen Menge, maximal also 17.500 m³. Daraus wird ersichtlich, dass der Kleine Hafir unter den gegebenen modellhaften Annahmen die Wasserversorgung während der Errichtungszeit des Großen Hafirs ohne weiteres sicherstellen konnte.

Es ist daher denkbar, dass der Kleine Hafir das älteste der Bauwerke ist, die in Musawwarat mit der Errichtung von Steinarchitektur großen Stils in Zusammenhang stehen. Seine Errichtung wurde gleich zu Beginn in Angriff genommen, um die Wasserversorgung der Arbeitskräfte für die anschließenden geplanten bzw. beginnenden Baumaßnahmen sicherzustellen. Die Ausführung des Kleinen Hafirs benötigte vermutlich nur eine vergleichsweise kurze, versorgungstechnisch durch Wasserbereitstellung aus anderer Quelle, möglicherweise durch Lieferungen vom Nil, überbrückte Zeit. Denn setzt man den für den Großen Hafir veranschlagten Personalbedarf (s. oben) ins Verhältnis zum Volumen des Kleinen

Hafirs, das vielleicht ein Achtel betrug, reduzieren sich entweder der Arbeitskräfte- oder der Zeitaufwand entsprechend. Vielleicht aber existierte der Kleine Hafir sogar schon seit längerer Zeit – errichtet von lokalen, vielleicht tierhaltenden oder zusätzlich Wadifeldbau betreibenden Populationen.

Um zur oben dargelegten Hypothese eines möglichen alten Hafirs in der Großen Anlage auch etwas Spekulation hinzuzufügen, sei noch die Frage aufgeworfen, ob es sich bei diesem Wasserspeicher um den Vorgänger eines der anderen Hafire von Musawwarat gehandelt hat – und ob dieser alte Hafir sogar einer der Gründe für die Errichtung der Großen Anlage an dieser Stelle war. Letztere Überlegung erscheint vor allem deshalb interessant, als sich die Große Anlage mit ihren frühen Baustufen ursprünglich nicht bis in den Bereich des späteren Hofes 122 ausdehnte, aber unmittelbar benachbart war.

3.2.3 Überlegungen zur internen Chronologie des Großen Hafirs

Ungeachtet der oben erwähnten Schätzung des Arbeitskräfte- und Zeitaufwandes sind die Anhaltspunkte für den genauen Bauablauf bei der Errichtung eines Hafirs von den Dimensionen des Großen Hafirs in Musawwarat es Sufra äußerst gering. Mit der Errichtung des Großen Hafirs wird, so wie mit allen Bautätigkeiten, nach der Regenzeit begonnen worden sein, wenn sich der Kleine Hafir aufgefüllt hatte. Der genaue chronologische Zeitpunkt indes muss offen bleiben. Entgegen einer früheren Auffassung des Verfassers ist der Große Hafir zudem nicht als unmittelbare Voraussetzung für die architektonische Bautätigkeit in Musawwarat anzusehen, da diese durch die im Kleinen Hafir gespeicherte Wassermenge abgesichert werden konnte (Scheibner 2003, II, 16 ff.).

Insbesondere ein über längere Zeiträume – nicht nur fünf Jahre – hinweg erfolgter, sukzessiver Ausbau bis zum Erreichen seiner endgültigen Größe sollte als mögliches Bauverfahren in Rechnung gestellt werden – und dies nicht allein des erforderlichen Arbeitsaufwandes wegen, sondern gerade auch unter dem Aspekt mit der Zeit möglicherweise gestiegenen Wasserbedarfes. Weshalb allerdings nur der Große Hafir sukzessive bis zu seiner endgültigen Größe erweitert und offenbar nicht auch der Kleine Hafir ausgebaut worden ist, kann vorerst nicht geklärt werden. Am ehesten mag dies doch dem Abflussmengenpotential seines Einzugsgebietes geschuldet sein. Der mehr oder weniger kontinuierliche Ausbau des Hafirvolumens könnte zudem noch einen anderen, rein praktischen Hintergrund gehabt haben und die Frage beantworten, auf welche Art denn das Wasseraufkommen des Einzugsgebietes in das erforderliche Hafirvolumen umge-



rechnet wurde. Anders gefragt, woher wussten die Baumeister, dass es sich lohnen würde, ein bestimmtes Hafirvolumen überhaupt auszuheben? Zwei Erklärungen kommen in Frage.

Einerseits ist denkbar, dass Abflussmessungen im Einzugsgebiet vorgenommen wurden, etwa durch Ermittlung der Abflusshöhe der Schichtfluten und der zeitgleich vom Oberflächenabfluss überfluteten Fläche. Die hiermit verbundenen Unsicherheiten betreffen dabei keineswegs in erster Linie die mathematischen Fähigkeiten kuschitischer Baumeister, die gerade anhand ihrer Bauwerke als fortgeschritten eingeschätzt werden dürfen. Vielmehr kommt hier die jährliche Variabilität der Regenfälle ins Spiel, die eine gewisse Langfristigkeit dieser Messungen voraussetzt, um aussagekräftige Ergebnisse hinsichtlich der zu erwartenden Wassermassen zu erzielen. Daher könnte eine sukzessive Erweiterung des Hafirvolumens neben steigendem Wasserbedarf auch Erfahrungswerten bezüglich der veränderlichen Abflussmengen und der daraus abzuleitenden potentiell speicherbaren Wassermenge Rechnung getragen haben.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass bei einer mehrjährigen Bauzeit der Große Hafir während dieses Zeitraumes gegen in der Regenzeit eindringendes Oberflächenwasser geschützt werden musste. Das heißt, dass der Hafirwall im Bereich des heutigen Zulaufes in einer gewissen Höhe provisorisch geschlossen gewesen sein sollte und erst nach Fertigstellung des Beckens selbst geöffnet werden konnte. Vermutlich wurde der Bau des Hafirs aus diesem Grund sogar an der Ostseite – der Seite seines Zulaufes – begonnen, um den Wall dort bis zur nächsten Regenzeit aufzuschütten. Der Beginn der Bautätigkeit am Ende der Regenzeit hatte neben der Füllung des Kleinen Hafirs wohl auch den Grund, dass erst dann der Oberflächenabfluss aus dem späteren Einzugsgebiet des zu errichtenden Hafirs zum Erliegen gekommen war. Im Hinblick auf einen bis zur endgültigen Fertigstellung des Hafirs möglichst ungestörten Wasserabfluss im Einzugsgebiet wird dann ein eventuelles Absetzbecken vor dem Hafirzulauf zuletzt angelegt worden sein – zumal es ja in den Zulauf hinein entwässern musste.

3.2.4 Schlussbemerkung

Die Prämissen zur zeitlich-funktionalen Abfolge und die darauf aufbauende Diskussion lassen es als wahrscheinlich gelten, dass der Kleine Hafir in die unmittelbare Anfangszeit der Existenz von Musawwarat als antiker Stätte gehört. Es kann jedoch auch seine Präexistenz (oder die eines anderen Hafirs?) nicht ausgeschlossen werden. Sicher scheint aufgrund der oben dargestellten Überlegungen nur, dass er für den Beginn der Bautätigkeit eine Voraussetzung gebildet haben muss. Der umgekehrte Fall, dass

nämlich der Große Hafir zuerst und der Kleine im Nachhinein errichtet worden sei, lässt sich sowohl bezüglich der für den Bau des Großen Hafirs vorauszusetzenden Wasserversorgung von Arbeitskräften als auch in funktionaler Hinsicht – denn wofür hätte es dann zusätzlich noch des vergleichsweise geringen Wasservorrates im Kleinen Hafir bedurft? – nicht begründen.

Insbesondere ist aber zu betonen, dass jegliche der in der Keraba ausgeführten Bauprojekte zuerst(!) wasserversorgungstechnisch abgesichert werden mussten. In jedem Fundort abseits vom Nil, der ganz allgemein mit Mörtel erbaute Stein- oder Ziegelerchitektur enthält, muss davon ausgegangen werden, dass die Errichtung oder Existenz eines jeweiligen Hafirs die Vorbedingung für diese weiteren Bauprojekte gewesen ist.

Wie auch immer die Bauorganisation in Musawwarat im Einzelnen vonstatten gegangen ist und zu welchem Zeitpunkt auch immer die verschiedenen Objekte im Tal und die unterschiedlichen Baustufen der Großen Anlage errichtet worden sein mögen, ohne die Absicherung der Wasserversorgung wenigstens durch den Kleinen Hafir waren sie nicht durchführbar. Dass sich eventuell auch noch in nachmeroitischer bzw. christlicher Zeit der Hafire bedient wurde und – zumindest der Große Hafir – sogar Reparaturen und Umbauten erfahren haben mag, unterstreicht ihre existentielle Bedeutung für das Leben im antiken Musawwarat.

LITERATUR

AKHTAR-SCHUSTER, M. (1995): *Degradationsprozesse und Desertifikation im semiariden randtropischen Gebiet der Butana/Rep. Sudan*. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Heft 105, Göttingen.

ALI, AHMED M. (1972): *Meroitic settlement of the Butana (central Sudan)*. In: Peter J. Ucko, Ruth Tringham und G. W. Dimbleby: *Man, settlement and urbanism*. Proceedings of a meeting of the Research Seminar in Archaeology and Related Subjects held at the Institute of Archaeology, London, 639-646.

BRADLEY, R. J. (1992): *NOMADS IN THE ARCHAEOLOGICAL RECORD*. Meroitica 13. Berlin.

CROWFOOT, J. W. (1911): *The Island of Meroe. 19th Memoir of the Archaeological Survey of Egypt*. Egypt Exploration Fund. London

DV (DOKUMENTENVERZEICHNIS)10: *Ausgrabungen der Musawwarat es Sufra Expedition*. Feldtagebuch der 7. Kampagne (1968). Unpubl.



- DV (DOKUMENTENVERZEICHNIS) 113: *Survey in der Umgebung des Wadi es Sufra, 4. April 1968*. Unpubl.
- GABRIEL, B. (1997): *Zur quartären Landschaftsentwicklung der nördlichen Butana (Sudan)*. MittSAG 7, Berlin, 23-30.
- GLÄSER, B., H. PFLAUMBAUM & H. G. MENSCHING (1988): *Morphodynamisch-paläoklimatische Untersuchungen zur jungquartären Reliefentwicklung im Nordsudan – ein Forschungsbericht*. Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. II. Mathematisch-physikalische Klasse. Jahrg. 1988, Nr. 1, Göttingen.
- GULDIN, D. & ST. KROLL (2002): *Bericht über die geophysikalische Prospektion 02/2002 im Umfeld des Großen Hafir, Kleinen Hafir und innerhalb der Großen Anlage*. SONTEC. Oranienburg. Unpubl.
- HINKEL, F. W. (1977): *Ein neues Triumphalbild des meroitischen Löwen*. In: Erika Endesfelder, Karlheinz Priese, Walter-Friedrich Reineke und Steffen Wenig (Hrsg.): Ägypten und Kusch. Festschrift Fritz Hintze. Schriften zur Geschichte und Kultur des Alten Orients 13, Berlin, 175-182.
- HINKEL, F. W. (1985): *‘Alim – El Hosh – Shaq el Abmar*. In: Francis Geus und Florence Till (Hrsg.): *Mélanges offerts à Jean Vercoutter*. Éditions Recherche sur les Civilisations, Paris, 163-180.
- HINKEL, M. (1991): *Hafire im antiken Sudan*. ZÄS 118, 32-48.
- HINKEL, M. (1994): *The Water Reservoirs in Ancient Sudan*. In: Charles Bonnet (Hrsg.): *Études Nubiennes*. Conférence de Genève. Actes du VIIe Congrès international d'études nubiennes, 3-8 septembre 1990. Band II. Genf, 171-176.
- HINTZE, F. (1962): *Vorbericht über die Ausgrabungen des Instituts für Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin, 1. und 2. Kampagne (1960-1961)*. WZHU, Gesellschafts- und Sprachwiss. Reihe XI, 441-488.
- HINTZE, F. (1963): *Musawwarat es Sufra. Vorbericht über die Ausgrabungen des Instituts für Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin, 1961-1962 (Dritte Kampagne)*. WZHU, Gesellschafts- und Sprachwiss. Reihe XII, 63-77.
- IRELAND, A. W. (1948): *The Climate of the Sudan*. In: J. D. Tothill (Hrsg.): *Agriculture in the Sudan*. Being a handbook of Agriculture as practised in the Anglo-Egyptian Sudan, London, 62-88.
- KLEINSCHROTH, A. (1986): *Die Verwendung des Hafirs im meroitischen Reich*. BzS. Beiheft 1. Wien-Mödling, 79-96.
- RZÓSKA, J. (1976): *Nile Waters – Hydrology Past and Present*. In: Julian Rzóska (Hrsg.): *The Nile, Biology of an Ancient River*. Monographiae Biologicae Vol. 29, The Hague, 145-153.
- SCHEIBNER, T. (2002): *Neue Untersuchungen zur Wasserversorgung von Musawwarat es Sufra – Ergebnisse der Kampagne 2002*. MittSAG 13, 22-34.
- SCHEIBNER, T. (2003): *Die Wasserversorgung von Musawwarat es Sufra. Bde. I, II u. Anhang*. Magisterarbeit. Humboldt-Universität zu Berlin. Unpubl.
- SCHMIDT, R. (1998): *Boden- und Landschaftsentwicklung im Gebiet der Tempel von Musawwarat es Sufra/ Nordsudan*, MittSAG 8, 68-77.
- VIETE, G. (1961): *Geologisch-hydrologischer Bericht. Ausgrabung Musawwarat es Sufra*. DV 61. Unpubl.
- VRBKA, P. (1996): *Hydrogeologische und isopenhydrologische Untersuchungen zu regionalen Problemen der Grundwasserneubildung, der Grundwasserzirkulation und des Wasserhaushaltes im Nord-Sudan*. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen. FU, TU, TFH. Reihe A, Band 186, Berlin.
- WENIG, ST. & P. WOLF (2000): *Feldarbeiten des Seminars für Sudanarchäologie und Ägyptologie der Humboldt-Universität zu Berlin in Musawwarat es Sufra. Vierte Hauptkampagne, 12.1.1998-1.4.1998*, Der Antike Sudan, MittSAG 10, 28-48.
- WHITEMAN, A. J. (1971): *The Geology of the Sudan Republic*, Oxford.