

FUSION VON STEINZEITMETHODEN UND MODERNER INGENIEURARBEIT

Wie die Aufrichtung eines zerbrochenen Pfeilerschaftes in der Grabungsstätte am türkischen Göbekli Tepe zur höchst riskanten Improvisationsaufgabe für ein Ingenieur- und Steinsanierungsteam wurde. Über einen Drahtseilakt um Materialbeschaffung, Wetter und die Gesetze der Physik, im Wettlauf gegen die Zeit...

Göbekli Tepe – wenige Worte zur Einstimmung

Im Laufe der letzten Jahre haben wir schon alle irgendwie davon gehört: vom „Jahrtausendfund“ am Göbekli Tepe, den berühmten Steinkreisanlagen, die sowohl in ihrer Größe als auch in ihrer zeitgeschichtlichen Einordnung als einzigartig zu beschreiben sind. Die ältesten Pfeiler der Anlage im Südosten der Türkei sind mit 12.000 Jahren älter als weltweit alle bisher gefundenen Steinkreise. Diese archäologische Weltsensation liegt im heutigen Anatolien, ca. 15 km nordöstlich der Stadt Şanlıurfa, unweit der Grenze zu Syrien, im oberen Euphrattal. Die als Langzeitprojekt vom Deutschen Archäologischen Institut (DAI) unter der Leitung ihres Entdeckers Prof. Dr. Klaus Schmidt auszugrabenden Anlagen bestehen aus monolithischen T-förmigen Pfeilern, die eine Höhe von bis zu 5 Metern erreichen bei einer Stärke von nur ca. 20 - 45 cm. Bislang sind vier Steinkreise vollständig ausgegraben, weitere 16 durch geomagnetische Kartierung entdeckte Anlagen warten noch auf ihre Freilegung. Die Anordnung der Pfeiler folgt immer dem gleichen Schema: T-Pfeiler sind durch grob geschichtetes Bruchsteinmauerwerk und steinerne Bänke zu kreis- oder ovalförmigen Anlagen verbunden. In der Mitte eines jeden Kreises befinden sich jeweils zwei zentrale, freistehende Pfeiler, die die äußeren Monolithen an Größe deutlich übertreffen.



Foto: Prof. Dr. Klaus Schmidt

Bild 1

Aufsicht Anlage „C“ Pfeiler Nr. 37: in der Mitte der Anlage, links vor dem Erdsteg.
Gut erkennbar sind die aus dem massiven Fels herausgearbeiteten Köcher.

Verziert sind ein Großteil der Pfeiler mit als Relief dargestellten menschlichen Armen und Händen an den Schmalseiten, zahlreiche Tierdarstellungen befinden sich auf den breiten Seiten. Zur Bearbeitung wurde lediglich Steinwerkzeug benutzt, Metall war noch unbekannt zu dieser Zeit der Menschheitsgeschichte. Die Anlagen auf dem Göbekli Tepe stammen aus der Schlussphase der Zeit der Jäger und Sammler also aus der Übergangsphase in die Sesshaftigkeit, die so genannte „Neolithische Revolution“. Für die zeitaufwendige Errichtung einer derartigen Anlage war neben einer bereits hoch entwickelten steinzeitlichen Gesellschaft ein gewisser Grad an Sesshaftigkeit zumindest während der Dauer der Erstellung der Anlage unabdingbar.

Die Steinkreise wurden, nachdem sie - für was auch immer – „ausgebraucht“ waren, von ihren Erbauern zugeschüttet.

Der zerbrochene Pfeiler Nr. 37

Die Aufrichtung eines zerbrochenen Pfeilerschaftes mit der Nummer 37 sollte nun zu unserem Projekt werden. Einer der beiden zentralen Pfeiler der Anlage C, oder besser gesagt der Pfeilerschaft (das Kopfstück wurde bislang noch nicht gefunden), lag in zwei Teile zerbrochen schräg auf einem Erdhügel, sowie auf einem Bruchstück des zweiten, vor tausenden von Jahren mutwillig zerstörten Zentralpfeilers dieser Anlage.



Bild 2: Pfeiler Nr. 37. Zustand vor Beginn der Maßnahmen. Die Lage des zerbrochenen Pfeilers auf dem Erdreich behinderte die weiteren Ausgrabungen.

Im etwa 8. vorchristlichen Jahrtausend wurde der Bau neuer Steinkreisanlagen aufgegeben, ein über Jahrhunderte gewachsener künstlicher Hügel überdauerte die Jahrtausende. Der gesamte Hügel, mit einer Höhe von über 18m, auf dem heute die Grabungen stattfinden, ist damit erst im Verlauf von Jahrhunderten durch die immer an der gleichen Stelle erfolgte Errichtung von Anlagen und deren Auffüllung entstanden.



Bild 3:
Übersicht über den „Hügel“ - Gesamtanlage. Im Vordergrund die Anlage „D“.

Unser Pfeiler Nr. 37 zerbrach durch eine mutwillige Zerstörung erst lange nach der Aufschüttung des Berges – wahrscheinlich durch Bauern, die den aus der Erde herauschauenden störenden Stein bis auf den Köcher ausgruben und ihn, vermutlich mit Tierkraft, in die Waagrechte zogen, wobei er zerbrach. Die beiden jeweils ca. 1,8 m breiten und ca. 42 cm starken Teilstücke sind im Einzelnen jeweils ca. 2,0 m hoch, bei einem Gesamtgewicht von ca. 10 – 12 to. Würde man das fehlende Kopfstück noch dazurechnen, ergäbe sich ein Pfeiler mit einem Gewicht von 14 bis 15 to und einer Gesamthöhe von über 5 m. Der Pfeilerschaft steckte mit einer geringen Einspanntiefe von nur 30 cm in einem, aus dem massiven Fels herausgearbeiteten Köcher.



Bild 4:
Der ausgeräumte Köcher mit der sehr geringen Einbindetiefe.

Die Fortführung der archäologischen Grabung war ohne die Beseitigung des Erdhügels, auf dem der Pfeiler Nr. 37 lag, unmöglich, so dass Herr Prof. Dr. Schmidt eine Instandsetzung und Aufrichtung des Pfeilers wünschte.

Ein erstes Konzept

Somit entwarfen wir noch in Deutschland ein Aufrichtungskonzept nach einem üblichen System, bei dem wir die anzunehmende Einfachheit der technischen Mittel vor Ort glaubten zu berücksichtigen: Mit Hilfe eines Tragsystems aus Stahlgerüstrohren und einem Kettenzug sollte das Oberteil des abgebrochenen Pfeilers heruntergehoben und neben dem Unterteil zwischengelagert werden. Dann sollte der ebenfalls schief stehende untere Teil aufgestellt und mit Hilfe des Gerüsts wieder mit dem oberen Teil verbunden werden. Diese einfache Gerüstkonstruktion wurde in einer Werkstatt zur Probe aufgestellt und mit einem 5 to schweren Betonblock erfolgreich getestet. Eine detaillierte Material- und Geräteliste wurde zusammengestellt und ans DAI geschickt, die erforderlichen Teile sollten rechtzeitig vor Ort geordert werden. Alles schien perfekt durchorganisiert. Leider hat nicht alles wie vorgesehen geklappt.

Die Realität vor Ort

Durch einen verspäteten Arbeitsbeginn vor Ort war es nicht mehr möglich, technische Ausrüstungen, wie Stahlgerüste oder besondere Werkzeuge zu beschaffen

Die Steinrestauratoren hatten jedoch die für ihre Arbeit besonders wichtigen Werkzeuge, wie z.B. eine Kernbohrmaschine im Reisegepäck dabei.

Ein weiteres Problem war, dass die mit einer Spedition rechtzeitig versandten Materialien (Spezialkleber, Edelstahlstangen etc) bei unserer Ankunft noch nicht zur Verfügung standen.

Die Situation erforderte schnellstmöglich, also über Nacht, ein angepasstes Konzept zu erarbeiten.

Plan B auf Skizzenpapier und mit dem Taschenrechner

Am Abend vor dem geplanten Arbeitsbeginn musste demnach eine neue Vorgehensweise ausgetüftelt werden. Nach dem nun neuen Kenntnisstand standen vor Ort lediglich Kanthölzer, Dielen und, mehrere LKW-Wagenheber mit geringem Hub, sowie einige normale Gewindestangen zur Verfügung. Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzungen wurde auf der Grundlage einfacher statischer Berechnungen ein System für das Bewegen, Zusammenfügen und Aufrichten der jeweils 5 to schweren Steinteile skizziert.

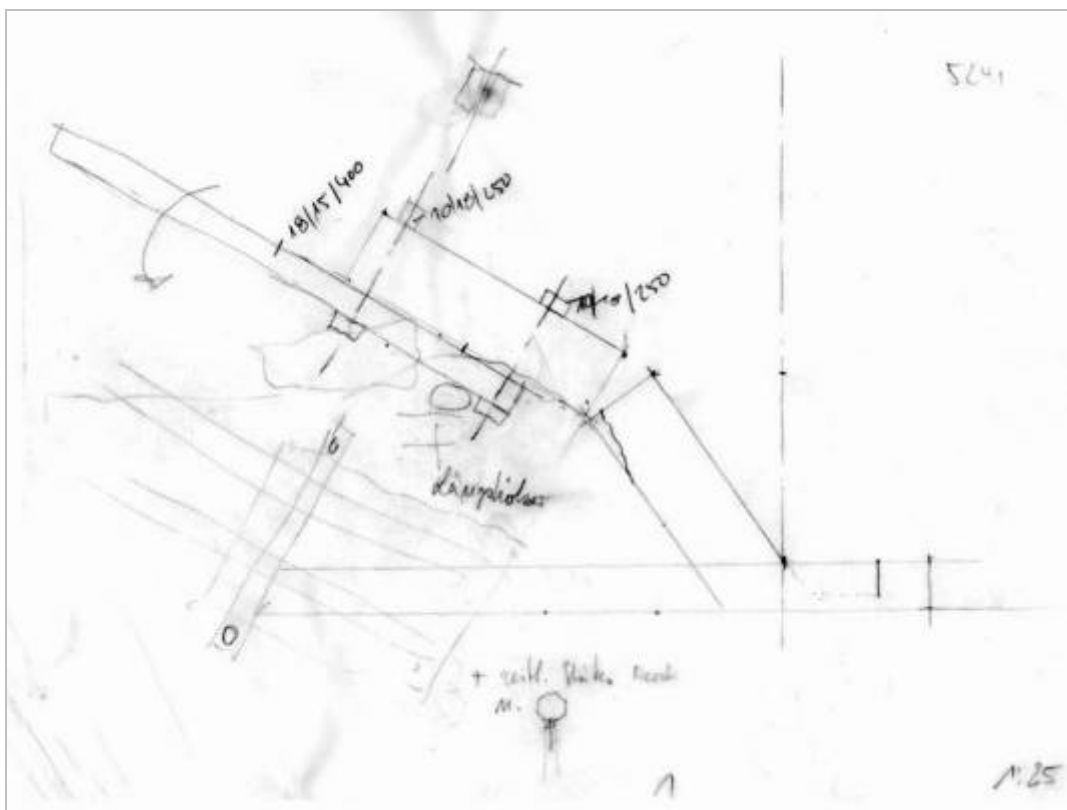


Bild 5:
Skizze Vorzustand – Befestigung der Hebel am Oberteil des Pfeilers.

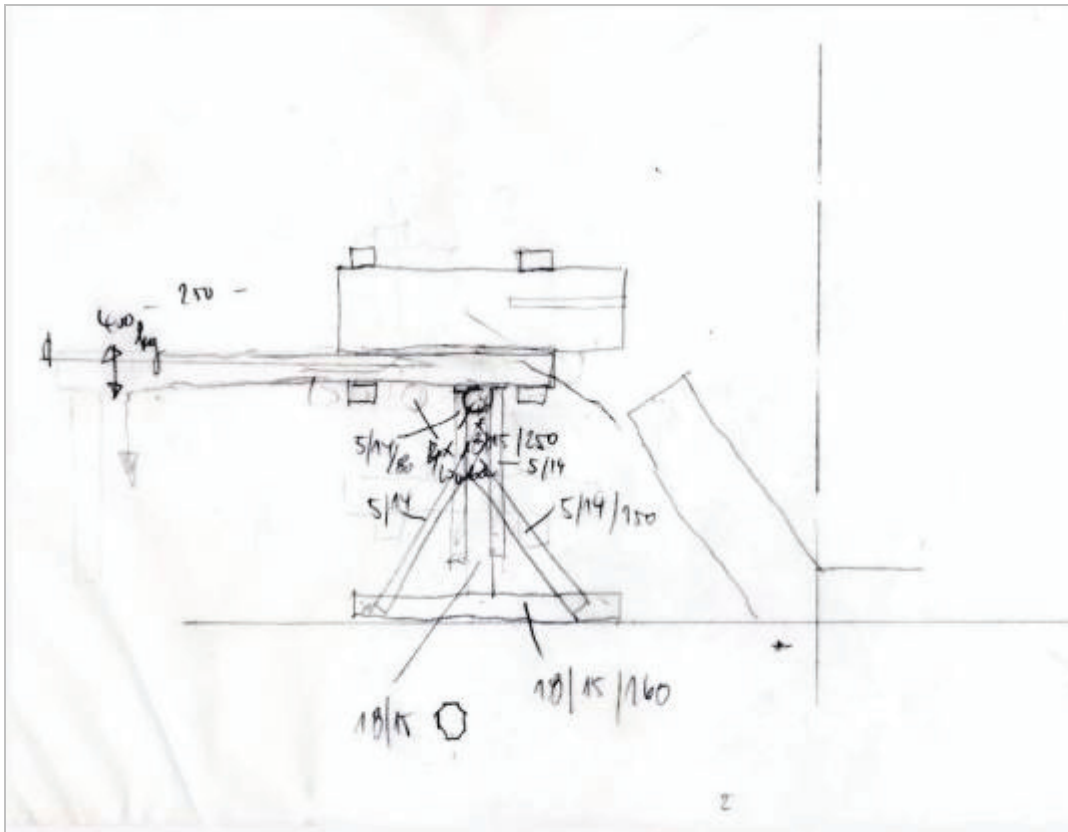


Bild 6:
Skizze mit Entwurf der Unterstützung der Schwelle, Zustand nach dem Kippen des Oberteils in die Horizontale, als Voraussetzung für das Einbohren der Falldübel.

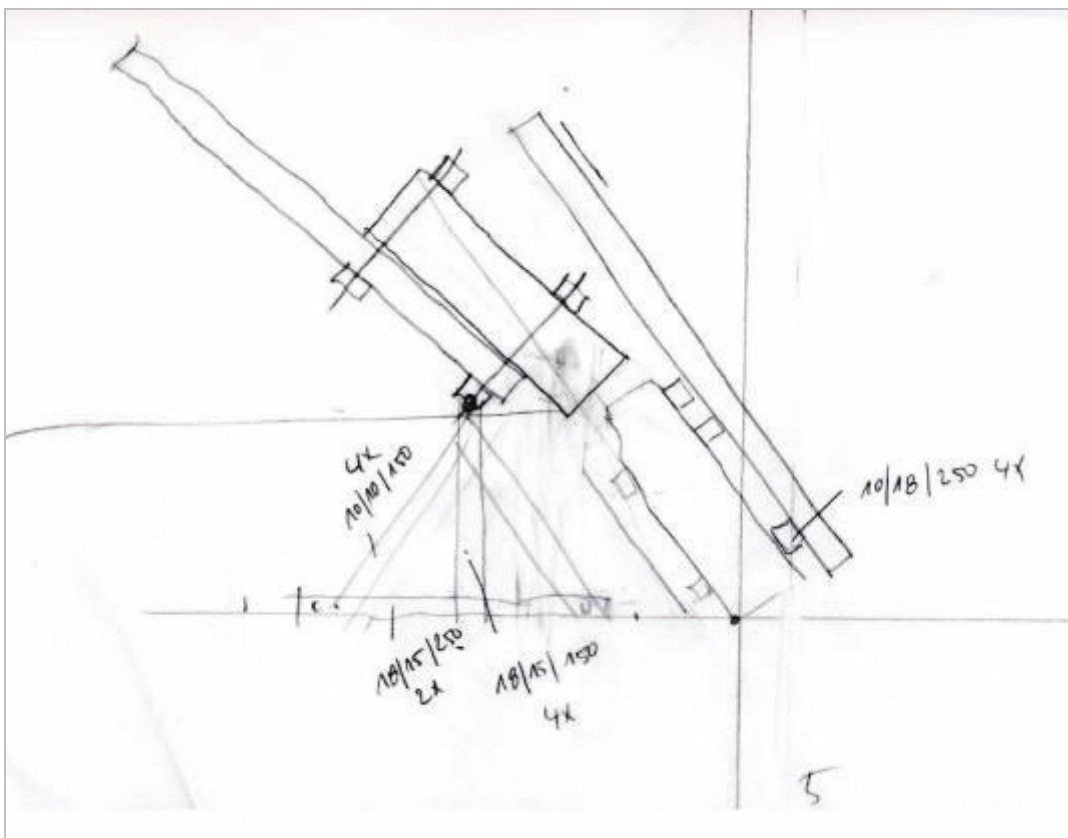


Bild 7:
Skizze – Aufrichten des Pfeilerobertheils nach dem Schubkarrenprinzip.

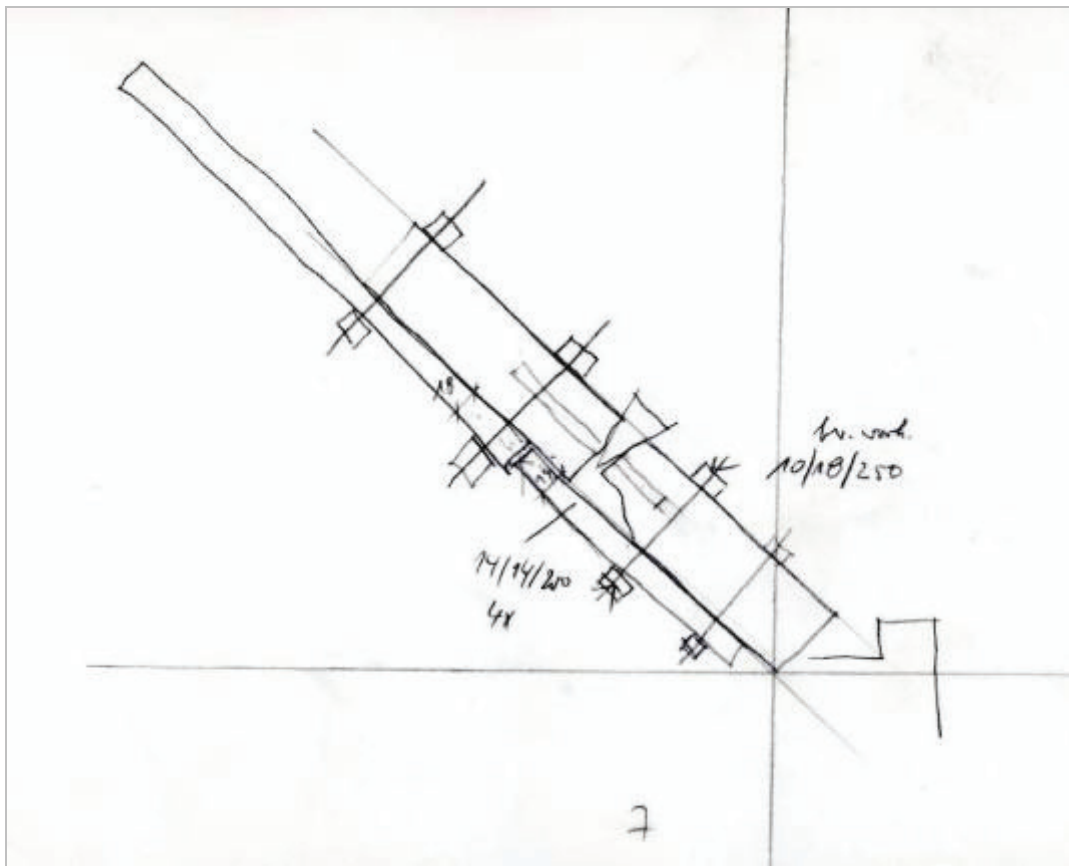


Bild 8:
Skizze – Ausrichtung der beiden Pfeilerhälften für das Einbringen des Klebers.

Diese Lösung baute auf folgendem Prinzip auf: Um die Bohrungen für die Dübelverbindungen auf beiden Bruchflächen einbringen zu können, musste das Stein-Oberteil in eine waagerechte Lage gekippt werden. Vorstellbar war dies durch die Montage 5-6m langer Kanthölzer und den Einbau einer Schwelle unter dem Stein als Drehpunkt. Das System entsprach in etwa dem Prinzip eines „Schubkarrens“. Auf dieser Grundlage wurde eine Holzliste für den Einkauf im türkischen Basar zusammengestellt.

Mit der neuen Lösung kamen wir, einmal abgesehen vom Wagenheber, den prähistorischen Gegebenheiten von vor 12.000 Jahren wohl sehr nahe. Zum heutigen Zeitpunkt erfüllte dieses Bewusstsein jedoch keinen der Beteiligten mit Stolz oder Freude. Prähistorische Authentizität war nicht gerade das, wonach wir bei diesem ohnehin schon heiklen Unterfangen streben wollten.

Nach einem abenteuerlichen, aber erfolgreichen Einkauf der notwendigen Mittel am nächsten Tag im Basar konnten die Aufrichtungsarbeiten endlich beginnen. Oder zumindest fast, denn für die nächsten zwei Tage machte uns nun das Wetter mit besonders heftigen Regenfällen und eiskalten Windböen einen gewaltigen Strich durch die Rechnung. Ob uns die steinzeitlichen Ahnengötter vielleicht nicht wohl gesonnen waren? Nur gut, dass wir alle vollkommen nüchterne Ingenieure und Handwerker ohne jegliche abergläubische Ader waren...

Kippen, Hebeln und Kleben

Die Hebel für das Bewegen des Pfeiler- Oberteils wurden mit Kantholz- Spangen, verbunden mit Gewindestangen, am Stein befestigt. Der Einbau der Schwelle unter dem Schwerpunkt des Steins erwies sich als äußerst mühsam. Eine Abstützung dieser Schwelle vor der Böschung des Erdhügels unter dem Pfeiler- Bruchstück war erforderlich, um eine Schräglage oder gar das Abrutschen des Steins während des Aufrichtens zu vermeiden.



Bild 9: Pfeileroberteil nach dem Kippen in die Waagerechte.

Dann – die rechnerischen Annahmen waren richtig - ließ sich der Stein mit einer Kraft von 4kN (entspricht dem Gewicht von vier Männern) fast mühelos in die waagerechte Lage kippen.

Auf Wunsch des Grabungsleiters wurde zusätzlich das Pfeilerunterteil mit Hilfe von Wagenhebern und Sicherung durch den Kettenzug in die Gegenrichtung gekippt, um alle Bereiche im Köcher hinsichtlich archäologischer Feststellungen untersuchen zu können. Nach Entfernen der Kalksinter- und Schmutzschichten auf den Bruchflächen konnten in beide Steinteile je zwei Kernbohrungen eingebracht werden. Damit die Dübel das Zusammenfügen der Steine nicht behinderten wurden die Bohrungen im Oberteil für die Gesamtlänge der inzwischen mit der Spedition angekommenen Edelstahlstangen, mit ca. 60 cm Tiefe angelegt. (Prinzip Falldübel). Der obere Teil des Pfeilerschaftes konnte dann mit Hilfe der Hebel in eine annähernd gleichgerichtete Lage zum Unterteil gebracht werden.



Bild 10: Versuch der exakten Ausrichtung, mit horizontaler Sicherung.

Was nun folgte, war die überaus komplizierte und Nerven aufreibende Ausrichtung beider Bruchstücke für das Zusammenfügen, die ausschließlich mit unseren etwas schwächlichen Wagenhebern zu bewerkstelligen war. Dabei wurden die beiden Bruchstücke in ihrer Schräglage so präzise übereinander geschoben, dass wir nur noch eine offene Fuge von ca. 8-10cm Breite als Voraussetzung für das Aufbringen des Klebers auf die Bruchstellen übrig behielten.

Doch bevor wir mit dem Kleben beginnen konnten, kam es mal wieder zu unvorhergesehenen Komplikationen. Die auf dem Basar erworbenen Plastikschüsseln, in denen wir den Kleber anrührten, setzten offensichtlich eine Substanz frei, die eine komplette Aushärtung des Klebers in nur wenigen Minuten verursachte. Zusätzlich behinderte ein heftiger Gewittersturm das weitere Arbeiten an diesem Tag und die Stimmung im Team hatte den absoluten Nullpunkt erreicht. Erst durch das Ersetzen der Made-in-China-Plastikschüsseln durch Metalldosen konnten wir mit den Arbeiten am nächsten Tag fortfahren.

Vor dem Aufbringen des Klebers auf die Bruchflächen wurden jedoch zunächst die herausgezogenen Falldübel (Edelstahlgewindestangen) in das obere Bruchstücke eingeklebt. Für das Einpressen des festen, harzartigen Klebers in die Löcher des oberen Bruchstückes leerten wir gängige Kartuschen mit dauerelastischem Fugenmaterial, füllten sie mit dem Kleber und brachten so die Masse gegen die Schwerkraft durch den dünnen Spalt nach oben ein. Für das Einfüllen eines flüssigen Klebers in die Bohrlöcher im unteren Bruchstück durch die schmale Fuge hindurch mussten wir uns ein weiteres Mal kreativ der einfachen Arbeitsmaterialien vor Ort bedienen. Es war nur möglich, den flüssigen Kleber mittels aufgeschnittener Plastikflaschen, die als Trichter und Rinne dienten, durch den dünnen Spalt einfließen lassen. Das endgültige Zusammenpressen der beiden Teile musste dann, nach dem mühevollen Auftragen des Klebers auf die Bruchflächen (beengte Arbeitsverhältnisse), aufgrund der geringen Reaktionszeit des Klebers unter enormem

Zeitdruck erfolgen. Für sämtliche Klebearbeiten (2 Komponenten Epoxydharz „AkepoX“ 2000 und 2040) hatten wir weniger als eine Stunde Zeit.

Der Moment des Zusammenpressens war also gekommen. Jetzt durfte nichts mehr schief gehen, oder das gesamte Projekt wäre gescheitert und wir hätten sofort mit unbekanntem Ziel das Land verlassen müssen.... Es gab nur diesen einzigen Versuch, und die Zeit drängte, uns blieben nach dem Auftragen des Klebers noch 20-30 Minuten, dann mussten die beiden Hälften final ausgerichtet und zusammengeführt sein. Das Zusammenziehen beider Steinhälften erfolgte mit einem Kettenzug auf der Oberseite der Steine.



Bild 11: Zusammenziehen der beiden Hälften des Pfeilers.

Da das auf der Unterseite durchgeschleifte Seil an den jeweiligen Enden der Steine nur mit erheblicher Reibung (ohne Rollen) umgelenkt werden konnte, musste das Oberteil mit einer „gefühlten“, nach unten abgeknickten Lage zum Unterteil ausgerichtet werden. Erst die Zugkraft des oben liegenden Kettenzugs sollte dann das Oberteil leicht aufrichten und in eine gemeinsame Achse zum Unterteil bringen.

Es funktionierte!

Beide Bruchstücke konnten bis auf das Maß der Stärke des Klebers von ca. 2-3 mm zusammengeführt werden.

Die endgültige Aufrichtung

Zusätzliche Kanthölzer an der Unterseite, sowie eine zusätzliche Spange an der unteren Pfeilerhälfte sollten die noch frische Klebefuge beim Aufrichten entlasten. Das Aufrichten selbst geschah dann – wie konnte es anders sein – wieder mit Hilfe der Wagenheber. Wieder und wieder neu eingeschobene Kanthölzer während des Aufrichtungs Vorganges gewährleisteten eine optimale Unterstützung der hölzernen „Steinbahre“. Um ein Zurückfallen des Steines bei einem potentiellen Versagen der Wagenheber, und ein daraus folgendes Menschenopfer zu verhindern, stellten wir fortlaufend immer längere Sicherungsbalken unter die Hebel. Natürlich ging wieder nicht alles glatt, die Aufrichtarbeiten mussten mehrmals unterbrochen werden, da die Spangen an der Frontseite des noch nicht abgetragenen Erdreiches streiften. Doch dann, als wollte sich das Schicksal im letzten Moment doch noch von seiner netten Seite zeigen, geschah etwas, mit dem niemand mehr gerechnet hatte: am letzten Tag der Aufrichtarbeiten kamen aus Istanbul zwei bestellte Fußwinden auf der Grabung an! Ach hätten wir die doch schon zu Beginn der Arbeiten zur Verfügung gehabt – es wäre uns viel Zeit Mühe erspart geblieben. Mit zunehmender Aufrichtung und den damit verbundenen geringeren Lasten war es nun möglich, den Pfeiler mit den Fußwinden bei größerer Hubhöhe relativ rasch zu bewegen, bis er schließlich senkrecht im Köcher stand.



Bild 12: Aufrichten des zusammengefügt Pfeilers mit abenteuerlichen Methoden.

Nach dem Ausbau der Führungshölzer aus dem Köcher begannen wir mit dem Verkeilen des Pfeilers mit Steinen. Die Steine bauten wir dabei lagenweise, wie nach Befund, in den Köcher ein und verschlammten sie wie im historischen Vorbild mit gesiebter Erde, um die Hohlräume zwischen den Steinen zu schließen. Einzig und allein ein Kantholz unter der Mitte des Pfeilers, das wir zur Ausrichtung benötigten, verblieb als Neuteil im Köcher. Das Kantholz wird über die Jahre verrotten und die unter dem Pfeiler liegenden Steine werden alle Lasten übernehmen. Nun konnte der Erdkörper, auf dem ursprünglich der zerbrochene Pfeiler lag, abgetragen werden. Das Holzkorsett um den Stein wurde abgebaut und der gereinigte Pfeilerschaft konnte am Tag 13 nach Beginn der Arbeiten, am 11. April 2009,

wieder frei stehen. Natürlich hatte niemand zu keinem Zeitpunkt etwas anderes erwartet....! Zusätzlich zur Sicherung legten wir eine nicht verkeilte Kontrollabstützung an, um über einen längeren Zeitraum auch geringste Bewegungen des Pfeilers feststellen zu können. Durch die Aufrichtung des Steins Nummer 37 schufen wir die Voraussetzung für sämtliche weiterführenden Grabungen in Anlage „C“.



Bild 13: Der aufgerichtete Pfeiler steht wieder im mit Steinen ausgefüllten Köcher.

Damit war es geschafft. Was uns noch zwei Wochen zuvor als nahezu aussichtsloses und verrücktes Unterfangen schien, war nun durch eine geschickte, aber gleichzeitig auch höchst riskante Verflechtung von Improvisation und historischem Vorbild zur Erfolgsgeschichte geworden. Was wir gelernt haben? Dass es irgendwie immer eine Lösung gibt. Aber vor allem, dass unsere sonst so starre und bis ins letzte Details durchgestylte Ingenieursarbeit sich manchmal durchaus der Improvisation bedienen darf, kann und sogar muss. Schließlich konnten unsere frühesten Vorfahren es auch schon. Und sogar ohne Wagenheber.



Bild 14: Der fertig gestellte aufgerichtete Pfeiler.

Leitung der Ausgrabung	Prof. Dr. Klaus Schmidt Deutsches Archäologisches Institut 14195 Berlin
------------------------	---

Auf Grund der begrenzten finanziellen Situation konnte das DAI nur die Reise- und Unterbringungskosten übernehmen. Alle weiteren Maßnahmen bei diesem Projekt wurden ohne weitere Kosten durch die folgenden Beteiligten gesponsert:

Steinrestaurierung, Steintechnik	Fa. Steinsanierung- Denkmalpflege Crailsheim Andreas Götz Wolfgang Brück 74589 Satteldorf
Verfasser, Technische Leitung, Organisation	Eduard Knoll Beratender Ingenieur, Architekt 91541 Rothenburg o.d.T.

Alle Fotos, wenn nicht besonders vermerkt: vom Verfasser