

**Die Hammerschmiede des Næs Jernverksmuseums
in Südnorwegen**

**Erhaltung des Großhammers – Fragen der Klimatisierung
Band 1**

Diplomarbeit

vorgelegt dem Fachbereich 5, Gestaltung
Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik
der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

von: Christian Bode
2002/3

betreut durch
Frau Prof. Ruth Keller-Kempas
Herrn Dr. Achim Unger

Kurzzusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist eines der drei mechanischen Hammerwerke aus der Hammerschmiede des Næs Jernverksmuseums in Südnorwegen. Das Museum bewahrt das einzige, nahezu vollständig erhaltene Eisenwerk Norwegens und repräsentiert heute drei Jahrhunderte der norwegischen Eisenproduktion. Es verfügt über eine einzigartige, durch das Werk geprägte und seit 150 Jahren nicht nennenswert veränderte, Kulturlandschaft.

Die seit dem Stillstand des Eisenwerkes, im Jahr 1959, einem fortgeschrittenen Abbauprozess unterliegenden Hammerkonstruktionen werden am Beispiel eines Aufwerfhammers beschrieben und dokumentiert. Die Wahl eines geeigneten Diagnoseverfahrens für alte Holzkonstruktionen, die bereits durch Holz zerstörende Organismen abgebaut worden sind, ist hierbei ein wesentlicher Bestandteil.

Unter Berücksichtigung des Aufbaus, der Funktion und des Zustands der Hammerkonstruktion und des historischen Hintergrundes werden die Möglichkeiten für eine Erhaltung der Anlage und deren Durchführung entwickelt.

Abstract

Subject matter of this work is one of the three existing mechanical hammer of the hammer forge in the Jernverkerksmuseum in southern Norway. The museum houses the only remaining, nearly fully-preserved ironworks of Norway and therefore, today, represents three centuries of Norwegian ironworks. It possesses a unique cultural landscape that has not been changed for the last 150 years.

The continuing decomposition in the field of hammer constructions since the close-down in 1959, are described and analyzed by looking at the example of shindling hammer. A major aspect here is the choice of a suitable diagnostic routine for ancient wood constructions, which have already been dismantled by destructive organisms.

The possibilities of the preservation of the construction and their realizations are developed, taking into account the consideration of composition, the functioning and condition of the hammer construction as well as the historical background.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, ohne deren Geduld und Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ebenso herzlich danke ich der Stiftung und den Mitarbeitern des Næs Jernverksmuseums, insbesondere Herrn Gunner Molden¹ und Herrn Hans K. Helseth, dass die Diplomarbeit ermöglicht und jederzeit mit großer Unterstützung durchgeführt werden konnte.

Für die fachliche und engagierte Betreuung, auch über die Landesgrenzen hinaus, möchte ich mich herzlich bei meinen beiden Mentoren, Frau Prof. Ruth Keller-Kempas und Herrn Dr. Achim Unger bedanken.

Außerdem möchte ich mich bei folgenden Personen, Firmen und Institutionen bedanken, die meine Arbeit durch ihre Hilfe in vielfältiger Weise unterstützt und gefördert haben:

Kompetenzzentrum Präventiver Umweltschutz:

Herr Prof. Reichert, Herr Ohde und die Studenten Simone Brandt, Matthias Krüger und Steffen Richter des Studiengangs Umweltverfahrenstechnik für die Erarbeitung des Konzeptes zur Klimatisierung der Hammerschmiede; und Herr Prof. Dr. Verleger, Herr Dipl.-Ing. Albrecht, Frau Prof. Damm und Herr Dipl.-Ing. Arnold des Studiengangs Bauingenieurswesen

Frau Prof. Dr. Unger, FH Eberswalde

Herr Dr. Heydeck, Landesforstanstalt Eberswalde, Abteilung Waldschutz

Prof. Dr. Stanjek, Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen

Herr Dr. Ing. E.-J. Vater und Herr Dipl.-Holzw. M. Grinda, Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin

die Mitarbeiterin der aus der FHTW-Verwaltung Frau Brümmer

Erik und Familie Gjendem, Schmiede in Arendal

Technische Hochschule Sørnorge

FEM Design, John Skjærvold

Stjørdal 3D Verksted

Tinnoset SAG AS

Dr. Wolman GmbH, Herr

Testo GmbH & Co

SØR-TRE BRUK AS

MTB GmbH, Herr Steinbach

Thermo Lignum, Herr Rotberg

¹ Direktor zur Zeit der Diplomarbeit.

Inhalt Band 1

<u>EINLEITUNG</u>	10	
<u>1</u>	<u>AUFGABENSTELLUNG</u>	12
<u>2</u>	<u>DAS NÆS JERNVERKSMUSEUM</u>	13
<u>3</u>	<u>AUFBAU UND FUNKTION DER HAMMERSCHMIEDE</u>	17
3.1	DER STOR- ODER GROßHAMMER	19
3.1.1	DAS WASSERRAD	20
3.1.2	DIE RADWELLE	22
3.1.3	BÄR, AMBOSS, HELM UND PRELLHOLZ	23
3.1.4	DAS HAMMERGERÜST	25
3.2	KNIP- UND SINKHAMMER	28
3.2.1	DER KLEINE AUFWERF- ODER SINKHAMMER	28
3.2.2	DER SCHWANZ- ODER KNIPHAMMER	29
3.3	DAS HAMMERGEBÄUDE	31
3.3.1	FUNDAMENTE UND BODEN	31
3.3.2	DIE KONSTRUKTION DES HAMMERGEBÄUDES	32
3.3.3	DIE WASSERFÜHRUNG UND DIE EINHAUSUNG DER WASSERRÄDER	36
3.3.4	DIE EINRICHTUNG	38
<u>4</u>	<u>ZUSTANDSBESCHREIBUNG NACH VISUELLER BEGUTACHTUNG</u>	52
4.4	ZUSTANDSBESCHREIBUNG DES GROßHAMMERS	52
4.4.1	DAS WASSERRAD	52
4.4.2	DIE RADWELLE	54
4.4.3	BÄR, AMBOSS, HELM UND PRELLHOLZ	57
4.4.4	DAS HAMMERGERÜST	61
4.4.5	KNIP- UND SINKHAMMER	67
4.4.6	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION WEITERER UNTERSUCHUNGEN	70
4.5	ZUSTANDSBESCHREIBUNG DES HAMMERGEBÄUDES	71
4.5.1	DAS KLIMA	71
4.5.2	DAS DACH	72
4.5.3	HOLZKONSTRUKTION	75
4.5.4	STEINWAND	75
4.5.5	FUNDAMENTE UND BODEN	76
4.5.6	DIE WASSERFÜHRUNG	78
4.5.7	DIE EINRICHTUNG	82
4.5.8	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION WEITERER UNTERSUCHUNGEN	88

5	<u>DIE UNTERSUCHUNGSMETHODEN</u>	90
5.6	KLASSIFIZIERUNG UND METHODEN	90
5.6.1	UNTERSUCHUNG VON KONSTRUKTIONSHOLZ	91
5.6.2	ANFORDERUNGEN AN DIE WEITEREN UNTERSUCHUNGEN	94
5.7	AUSWAHL DER UNTERSUCHUNGSVERFAHREN	95
5.7.1	ULTRASCHALL-LAUFZEITMESSUNG	96
5.7.2	BOHRWIDERSTANDSMESSUNG	97
5.7.3	KLIMAMESSUNGEN	106
5.7.4	HOLZFEUCHTE	107
5.7.5	HOLZARTENBESTIMMUNG	108
5.7.6	HOLZ ZERSTÖRENDE INSEKTEN	108
5.7.7	BESTIMMUNG DER PILZARTEN	108
5.7.8	BODENFEUCHTIGKEIT UND ZUSAMMENSETZUNG	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Legende zum Modell des Næs Jernverksmuseum um 1880 aus der Museumsausstellung, Beschriftung auf folgender Seite	14
Abbildung 2: Verhüttungsprozess, vorn Aufwerfhammer D und hinten Frischherd A aus: AGRICOLA 1974, 538.	17
Abbildung 3: Hammergebäude mit Blick auf den Sinkhammer.....	18
Abbildung 4: Schnittzeichnung Hammergebäude, Technik Museum Norwegen, nach G. THUESEN um 1948, aus: AAA 2899 Bildemappe Holt, Aust-Agder Archiv.	19
Abbildung 5: Storhammer Südseite.....	20
Abbildung 6: Segmente der Wasserradwangen aus Gusseisen, Breite ca. 35 cm	21
Abbildung 7: Wasserrad des Storhammers.....	21
Abbildung 8: Vorderes Wellenlager mit Nockemring.....	22
Abbildung 9: Storhammer Nordseite.....	24
Abbildung 10: Schwedisches Hammergestell mit Hammerfundamenten	26
Abbildung 11: Fundamenterneuerung des Sinkhammers, 1989.....	27
Abbildung 12: Freigelegter Teilbereich des Amboßfundamentes.....	28
Abbildung 13: Sinkhammer.....	29
Abbildung 14: Kniphammer	30
Abbildung 15: Gebäudefundament auf der Ostseite.....	32
Abbildung 16: Holzkonstruktion des Hammergebäudes aus SO, Länge = 35 m	33
Abbildung 17: Hammergebäude, Südseite	34
Abbildung 18: Hammergebäude, Westseite	34
Abbildung 19: Hammergebäude 1949, aus: THUESEN 1977, 17.....	35
Abbildung 20: Rekonstruierte Wasserrinne.....	37
Abbildung 21: Folge der undichten Dachabdichtung	38
Abbildung 22: Überblick Ausstattung 1	39
Abbildung 23: Überblick Ausstattung 2	40
Abbildung 24: von links nach rechts: Amboss, Esse und Glühofen.....	41
Abbildung 25: Doppelkammerofen, davor der Wagen der für den Transport der erwärmten Eisen zum Hammer verwendet wurde; rechts Wasserkasten	42
Abbildung 26: Yeakley-Luftdruckhammer	43
Abbildung 27: Die Nachstellung des Bärzylinders aus: FUCHS 1922, 64.	44
Abbildung 28: Mittelgroßer Yeakley-Luftdruckhammer aus: FUCHS 1922, 64.	45
Abbildung 29: Rundschieber-Steuerung aus: FUCHS 1922, 65.	45
Abbildung 30: von links nach recht: Richtplatte, Amboss und Esse.....	47
Abbildung 31: Holzdrehkran mit Winde des Storhammers, aus: THUESEN 1948.	48
Abbildung 32: Verschlag mit Schalttafel und Kreiselgebläse; links vertikales Rohrstück für die Zuluft des Ofens	51
Abbildung 33: Hintere Wasserradwange mit Schussbrett	53
Abbildung 34: Fruchtkörper eines Holz zerstörenden Pilzes in einer Balkenfuge.....	55

Abbildung 35: Fruchtkörper eines Holz zerstörenden Pilzes zwischen den Balken	55
Abbildung 36: Hinteres Wellenlager mit deutlicher Verformung	56
Abbildung 37: Datierung im vorderen Hirnholz des Helms	58
Abbildung 38: Hülse und Lagerung des Helms	59
Abbildung 39: Prellholz mit ca. 3 mm Fluglöchern und frischem Bohrmehl ..	60
Abbildung 40: Fruchtkörper eines Holz zerstörenden Pilzes im Fußbereich der Drumstütze-West	61
Abbildung 41: Abgebauter Fußbereich der Drumstütze-Ost	63
Abbildung 42: Rückseite der Drumstütze-Ost mit Abstützung	64
Abbildung 43: Zange mit Lunkern	65
Abbildung 44: Fundamenterneuerung des Kniphammers	66
Abbildung 45: Abgebaute und gebrochene Welle des Kniphammers	68
Abbildung 46: Starke Zerstörung des Querbalkens über dem Hammerkopf durch Braunfäule	69
Abbildung 47: Hammergebäude 1950iger Jahre, Rauch kann durch das Dach entweichen, Foto: Technik Museum Norwegen.....	71
Abbildung 48: Hinteres Wellenlager und strömungsoffene Schalung der Wasserradeinhausung	72
Abbildung 49: Gebäudeostseite mit Dachrinne und kurzem Fallrohren	73
Abbildung 50: Nordseite des Gebäudes, rechts Lamellenfenster	76
Abbildung 51: Pilzmycel auf dem Boden	77
Abbildung 52: Mangelhafte Abdichtung der Pfosten,	79
Abbildung 53: Folge der undichten Dachabdichtung	80
Abbildung 54: Stehendes Wasser im Abflussgraben.....	81
Abbildung 55: Zerfall der Seitenwand des Doppelkammerofens und.....	83
Abbildung 56: Luftdruckhammer	84
Abbildung 57: Geöffnetes Fundament des Luftdruckhammers.....	85
Abbildung 58: Holzlager (links) und Schacht des Doppelkammerofens (rechts), das Laub gelangt durch die Lamellenfenster auf die Konstruktion	87
Abbildung 59: Bohrwiderstandsmessgerät und Notebook	99
Abbildung 60: Messvorgang an der Welle	104
Abbildung 61: Bohrnadelkopf (b = 3 mm) und Führungsspitze.....	105
Abbildung 62: Widerstandsprofil des Kniphammerstiels, Darstellung am PC	106
Abbildung 63: Daten Logger zur Messung von Temperatur	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Untersuchungsmethoden für Holz.	92
Tabelle 2: Auswirkung einiger holzanatomischer Strukturen auf den Bohrwiderstandsmesswert (ohne Störeinflüsse und ohne Handhabungsfehler).....	100

Aus der Beschreibung des Dichters Andreas Munch. Als Knabe besuchte er 1823 mit seinem Vater Næs Verk:

„Da vi kom ud af Skoven, saa jeg en stor Ildsøile stige op af en taarnlignende Bygning nede i Dybet og med sit flammende, usikre Skjær oplyse rundt omkring store, mørke Huse, underlige Broer og Gallerier samt hvidtskummende Vansfald. Det var Smelte-Ovnen i Nes Jernverk, der er beliggende i en stor, vid Dal, paa alle Sider omsluttet af skogbegrøede Aaser. Som vi rullede nærmere lød tydelig dernedefra de taktfaste Drøn af Stangjernshammeren og Brusen af de mange Vande.”

„Da wir aus dem Walde kamen, sah ich eine hohe Feuersäule, die aus einem turmähnlichen Gebäude in der Tiefe stieg und mit ihrem flackernden, unsicheren Schein beleuchtete sie ringsum große, finstere Bauten, wunderliche Brücken und Galerien neben weißschäumenden Wasserfällen. Das war der Schmelzofen in Nes Jernverk, gelegen in einem großen, weiten Tal, auf allen Seiten umgeben von Wald bewachsenen Hügeln. Wie wir weiterfahren tönte deutlich von unten das rhythmische Dröhnen des Stabeisenhammers und das Brausen der Wassermassen.“

Einleitung

Das Næs Jernverksmuseum beherbergt das einzige, nahezu vollständig erhaltene Eisenwerk Norwegens. Drei Jahrhunderte wurde hier Eisen und Stahl produziert, und es besteht durchaus die Wahrscheinlichkeit, dass Werkzeuge aus dem Barbu Eisenwerk von 1574 noch bis zum letzten Tag in Gebrauch waren. Nes Verk erreichte nicht nur im eigenen Land, sondern auch europaweit ein beachtliches Ansehen und eine ökonomisch gewichtige Position. Das mit dem Werk entstandene und durch den langen Betrieb geprägte Umfeld ist ebenso zu einem Großteil, mit Arbeiterhäusern, Schule oder dem romantischen Park, als einheitliches Ensemble bewahrt worden. Dem zur Seite steht der außergewöhnlich lange Betrieb mit veralteten, die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte ignorierenden, Anlagen.

Dass wir heute vor dieser fast vollständig erhaltenen Anlage und nicht vor einer Neubebauung stehen, führt neben dem eben genannten Aspekt vermutlich auch darauf zurück, dass das Ende des Werkes in eine Zeit fiel, in der das technisch-historische und denkmalpflegerische Bewusstsein bereits weit entwickelt war. Schon 1924 stellte man das Herrenhaus und die Arbeiterhäuser unter Schutz. Dennoch kam es durch den schicksalhaften Winter im März 1966 zum Zusammenbruch des Hammergebäudes und im Dezember gleichen Jahres wurde neben dem Tiegelstahlwerk, dem Stahllager auch das Hammerwerk zum Technischen Kulturdenkmal erklärt.

Nachdem A/S JACOB AALL & SØN diese Gebäude zur musealen Nutzung abgab, erfolgte 1969, in Anlehnung an die letzte Konstruktion, der Neuaufbau des Hammergebäudes. 1966 bis 1969 standen die Hämmer ungeschützt den Witterungseinflüssen ausgesetzt und der Prozess des Verfalls begann. Die bis zu zwei Meter tiefen Holzfundamente gaben, durch biologische Abbauprozesse geschwächt, zwei Jahrzehnte später der Last der Hammerkonstruktion nach. Die drei Hämmer versanken etwa einen Meter in die Tiefe. Das führte auch zu Schäden an der Konstruktion selbst. 1989 wurden die drei Hammerfundamente erneuert. Die Fundamente wurden, die oberste Schicht ausgenommen, entgegen dem Original mit einer Splittauffüllung versehen.

Neben den Fundamenten wurden auch andere Konstruktionsteile durch Holz zerstörende Organismen befallen, denn die Hammerschmiede hatte zwar durch das neue Gebäude eine luftdurchlässige Hülle erhalten, aber vereinzelt Dachleckagen, fehlende Arbeitstemperaturen und die ehemals, wegen der hohen Temperaturen, erforderliche Bodenfeuchtigkeit bieten nun gute Bedingungen für die Ansiedelung und Entwicklung von Holz zerstörenden Organismen.

Heute präsentiert sich die Hammerschmiede folgendermaßen: Beim Eintritt in das Hammergebäude erwartet den Besucher, die für eine Schmiede zur Zeit der Arbeitsruhe typisch düstere Atmosphäre. Hat sich das Auge an die neuen Lichtverhältnisse angepasst, heben sich allmählich die gewaltigen Hammerwerke und das in großem Umfang erhaltene Inventar aus der Dunkelheit ab. Die neue Gebäudekonstruktion wird erst später erkennbar.

Es ist nicht ein sauber, aufgeräumtes und klimatisiertes Museum, in dem sich unmissverständlich ein abgeschlossenes Kapitel vergangener Zeiten präsentiert; ebenso wenig erhält man den Eindruck einer sich auflösenden, destrukturierten Ruine. Vielmehr erahnt man beim Betreten der Schmiede nur einen vorübergehenden Stillstand oder Schlafzustand: Es scheint, als wäre die Arbeit zwar vor einer gewissen Zeit abgebrochen worden, aber sie würde noch einmal aufgenommen und die Schmiede als solche gebraucht werden.

Die gewaltige Anlage wirkt auch auf mich persönlich respekteinflößend, aufgrund meiner jahrelangen Ausübung des Kunstschmiedehandwerks und somit der Vergleichsmöglichkeit mit anderen, auch neuen Schmiedehämmern. Mit einem Bärgewicht des Storhammers von einer Tonne, übersteigt er zum Beispiel das einer in Deutschland üblichen Konstruktion eines Aufwerfhammers um etwa einem Drittel.

1 Aufgabenstellung

In der vorliegenden Arbeit werden Aufbau und Funktionsweise des Storhammers² sowie des Hammergebäudes beschrieben. Nach einer Bestandsaufnahme werden die für eine Zustandsdiagnose möglichen und ausgewählten Untersuchungsmethoden dargestellt und die aus den Messungen gewonnenen Ergebnisse diskutiert. Die Geschichte des Eisenwerks und seine Eingliederung in den technikhistorischen Kontext schließen sich an.

Die anhand dieser Grundlage möglichen Restaurierungskonzepte und die dafür notwendigen Maßnahmen werden theoretisch erarbeitet und beurteilt. Auf die technische Durchführung im Sinne des bevorzugten Konzepts wird abschließend eingegangen. Es war vorgesehen, die Ergänzung der Drumstütze der Ostseite als beispielhafte praktische Arbeit während der Diplomzeit im Jahr 2002 durchzuführen.

² Auf deutsch = Großhammer; folgend weiterhin als Storhammer bezeichnet.

2 Das Næs Jernverksmuseum

Das Næs Jernverksmuseum bewahrt heute Gebäude, technische Anlagen und Werkzeuge, die das wesentliche eines norwegischen Eisenwerkes darstellen. Das Herzstück des Eisenwerkes ist der einzige, gut erhaltene Doppelhochofen Norwegens. Ein Tiegelstahlwerk, die Hammerschmiede und die Maschinenwerkstatt sind weitere bedeutende, noch erhaltene Anlagen die durch das Museum bewahrt, rekonstruiert und dem Besucher vermittelt werden. Das Eisenwerk liegt an den Flüssen *Storelva* und *Lilleelv* westlich von Båseland. Die *Storelva* mündet in den Fjord des etwa 15 Kilometer entfernten Tvedestrand, einer kleinen Hafenstadt an der Südküste Norwegens, die als Lagerplatz und zur Verschiffung der Eisenwaren diente. Sie ist ein Teil der durch das Werk gewachsenen und nachhaltig geprägten Kulturlandschaft.

Die unmittelbare Umgebung wird durch das Herrenhaus, *Storegård*, welches etwa 1740 von Ulrich Schnell erbaut wurde, beherrscht. Es ist umgeben von einer eindrucksvollen Gartenanlage und den Wohngebäuden der werksangehörigen Beamten und Arbeiter des 16. bis 18. Jahrhunderts. Die einst typischen, sich vor dem Haus ausbreitenden, Schlackeberge sind heute zu einer natürlichen Hügellandschaft bewachsen.

Weiter südlich liegt der romantische Park *Lunden*. Er wurde 1810 von der Ehefrau Jacob Aalls, Louise f. Stephansen, und dem Landschaftsgestalter Preus nach englischem Vorbild angelegt. Die Ufer der *Storelva* wurden zu einer stillen Buchtlandschaft umgestaltet, mit einer seltenen Vogel- und exotischen Pflanzenwelt, kleinen Grotten und einem Lustpavillon.

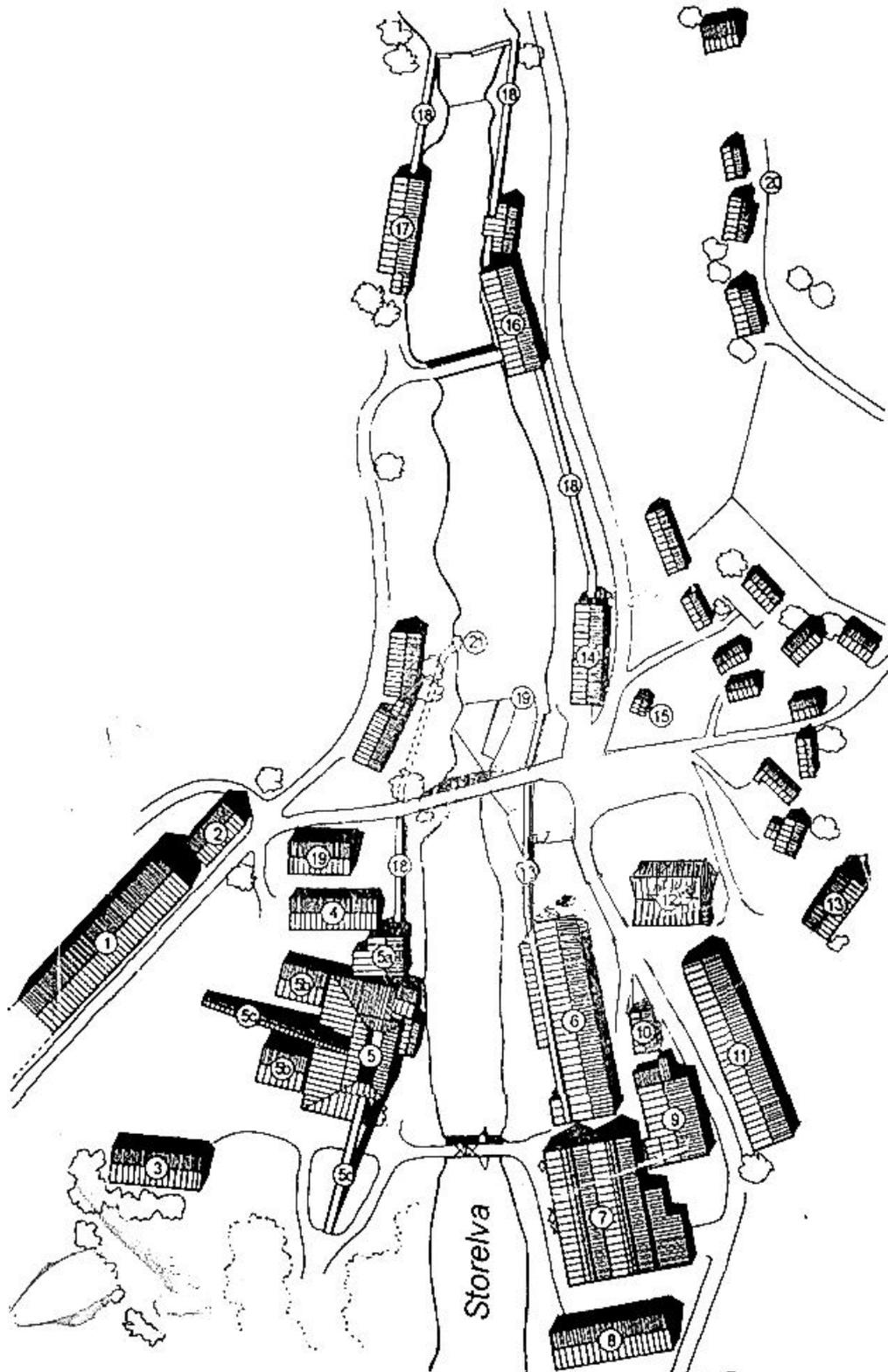


Abbildung 1: Legende zum Modell des Næs Jernverksmuseum um 1880 aus der Museumsausstellung, Beschriftung auf folgender Seite

Modell des Næs Jernverks um 1880

1. Kohlelager
- 2. Büro**
3. Gießerei
- 4. Tischlerei**
- 5. Hochofen**
 - 5a. Gebläse
 - 5b. Gießerei
 - 5c. Kohlebrücke**
 - 5d. Erzbrücke
- 6. Hammerschmiede**
7. Walzwerk
8. Stahllager
- 9. Tiegelstahlwerk (Stahlöfen)**
- 10. Materialboden**
11. Kohlelager
12. Zementierofen
- 13. Woodfiels Haus**
- 14. Maschinenwerkstatt**
15. Spritzhaus
16. Sägewerk
17. Kniphammer
18. Wasserrinnen
19. Hammerdamm
20. Hammerberg (Arbeiterwohnungen)
- 21. Wassertunnel für den Hochofen**

Erhaltene oder rekonstruierte Gebäude sind **hervorgehoben**.

- Aus den Aufzeichnungen des deutschen Geologen J. F. I. HAUSMANN, nach einem Besuch im Næs Verk im Jahr 1806:

„Treffen wir in einem fremden Lande, abgeschieden von Allem was uns lieb und theuer ist, mit einer Person zusammen, welche mit uns in Neigungen und Studien übereinstimmt, so ist es wohl sehr natürlich daß wir uns ihr noch mehr hingezogen fühlen, als wenn ein solches Zusammentreffen in unserm gewöhnlichen Leben sich fügt. Werden wir von einer solchen Person aber noch oben ein mit Gastfreundschaft aufgenommen und in unserer Muttersprache

angeredet, so fühlen wir uns schnell innig mit ihr verbunden; wir schenken ihr sogleich unser Zutrauen und werden von einer Anhänglichkeit zu ihr erfüllt, die keine noch so weite Trennung aufzuheben vermag. Diese beglückende Erfahrung machte ich zu Naes-Werk zwar nicht in Norwegen zuerst, aber in einem besonders hohen Grade. *Herr Jakob Aal*, der mit gründlicher Bildung, die er zum Theil einem Aufenthalte in Göttingen und Freiberg verdankt, die Humanität vereinigt, ohne deren Begleitung die Wissenschaft nie angetroffen werden sollte, hat durch die freundschaftliche Güte, womit er mich überhäufte und die mannigfaltigen Belehrungen, welche er mir ertheilte, die Tage meines Aufenthaltes beim ihm im höchsten Grade angenehm und ganz unvergesslich gemacht.

Aals Beszung liegt in einer lieblichen Gegend, auf einem Punkte, wo drei Thäler zusammentreffen, von denen zwei durch Flüsse bewässert sind, die über Felsen fortstürzen und mehrere Fälle bilden. Das sehr schöne Wohngebäude – welches nicht allein überaus geschmackvoll eingerichtet ist, sondern auch eine treffliche Gemälde-, Kupferstich- und Büchersammlung enthält – nebst den zweckmäßig eingerichteten, aus Schlackensteinen erbaueten und weiss berappten Oekonomiegebäuden und den daran stossenden wackeren Gärten, liegt auf einer Anhöhe, von welcher man das Eisenwerk und die umliegende Gegend ganz übersehen kann. Der sogenannte Stor-Elv girbt dem Werke nicht allein reichlichen Aufschlag, sondern befördert zugleich die Holzflösse. Nahe bei der Stelle, wo an der einen Seite ein in festen Felsen getriebener Stollen, an der anderen, ein hölzernes Gefluder ihm Wasser zur Betreibung der Werke rauben, bildet er einen schönen Fall. Etwas weiter hinauf stürzte er sich schon einmal, aber nicht in eine so bedeutende Tiefe hinab; und da ist sein rasches Wasser zur Treibung von Sagemühlen benutzt. Steht man auf der Brücke, welche den an der rechten Seite des Flusses liegenden Theil des Eisenwerkes mit dem am linken Ufer gelegenen verbindet, so übersieht man mit einem Male beide Fälle.“³

³ HAUSMANN 1812, 170 f.

3 Aufbau und Funktion der Hammerschmiede

Die Hammerschmiede, ein Produktionszweig des Næs Eisenwerkes, bewahrt heute die Technik der Eisenherstellung wie sie hier seit 1665 in Gebrauch war. Über viele Generationen haben die Hammerschmiede das von dem Hochofen bezogene Roheisen zu Schmiedeeisen oder Stahl verarbeitet. Um das nicht schmiedbare Roheisen zu *verhütten*, wurde es zunächst zu Barren gegossen und musste darauf in den Frischherden *gefrischt* werden. Während des Frischens wurden die unedlen Bestandteile wie Kohlenstoff, Phosphor Sili-cium oder Mangan durch Oxidation aus dem Roheisen entfernt. Unter schwe- ren mechanischen Hämmern wurden die gefrischten, glühenden *Eisenluppen* zu Stäben oder Schienen ausgeschmiedet. Deshalb werden sie auch Schmelz-, Stab- oder Schienenhämmer genannt (Abbildung 2).



Abbildung 2: Verhüttungsprozess, vorn Auf-
werfhammer D und hinten Frischherd A aus:
AGRICOLA 1974, 538.
wurden allein durch die Nutzung der Wasserkraft angetrieben. Der kleinste der

Seit der Errichtung des Tie-
gelstahlwerks im Jahr 1859 war
das Eisenwerk in der Lage, Guss-
stahl zu hochwertigen Stählen
mit einer bestimmten Werkstoff-
zusammensetzung herzustellen.
Diese Möglichkeit verhalf Næs
Verk auch nach der Stilllegung
des Hochofens 1909, den Betrieb
bis 1959 aufrecht zu erhalten und
die Schmiede trotz veralteter
Technik, bis zum Schluss weiter
zu betreiben.

In der Hammerschmiede
stehen heute drei schwere me-
chanische Hammerwerke der
letzten Produktionsjahre. Sie

drei Hämmer ist ein, im Südteil des Gebäudes stehender, Schwanzhammer, der als *Kniphammer* bezeichnet wird. In der Mitte und im Nordteil des Gebäudes steht je ein Aufwerfhammer. Die beiden Aufwerfhämmer sind das System und die Form ihrer Konstruktionen betreffend, gleich aufgebaut. Sowohl die Radwelle als auch das Hammergerüst mit Hammer und Amboss beider Anlagen sind quer zum Gebäude angeordnet. Unterschiedlich sind die Größe der Anlagen und die Drehrichtung der Radwellen und somit ihre Lage zum Hammerstiel. Dabei ist der mittig stehende der kleinere *Sinkhammer* und der rechts daneben stehende, der größere *Storhammer*.⁴ (Abbildung 3) Angetrieben wurden alle Hämmer über außerhalb des Gebäudes liegende, *oberschlächlige* Wasserräder. Die Drehrichtung des Wasserrades des *Sinkhammer*'s verlief entgegen und die des *Storhammer*'s verlief mit der Fließrichtung des *Fluterwassers*.⁵



Abbildung 3: Hammergebäude mit Blick auf den Sinkhammer

⁴ Allgemein wird in Norwegen der Schwanzhammer als *mumblingshammer* und der Aufwerfhammer als *brustningshammer* bezeichnet

⁵ Siehe auch Abschnitt 7.2.

3.1 Der Stor- oder Großhammer

Das beeindruckende Erscheinungsbild des Storhammer's wird durch die Dimension und die niedrige Anordnung der Konstruktionselemente bestimmt, welche sich über die gesamte Gebäudebreite ausdehnen (Abbildung 4). Gewaltige Baumstämme waren notwendig, um den wuchtigen Hammerkopf, mit Hilfe der Wasserkraft, in eine kontrollierte Bewegung zu versetzen (Abbildung 5). Als schwerster der drei Hämmer wurde er zum Schmieden von Eisenluppen und von Gussstahlbarren des Tiegelstahlwerks zu Stangeneisen oder Stahlstangen verwendet, die für die Weiterverarbeitung in kleineren Hammerwerken oder Walzwerken vorgesehen waren. In den letzten Jahren, so erklärte OLAF ASLAKSEN⁶, wurden aus 250 kg schweren Stahlbarren Spanten für den Stahl-schiffbau abgeschmiedet.⁷

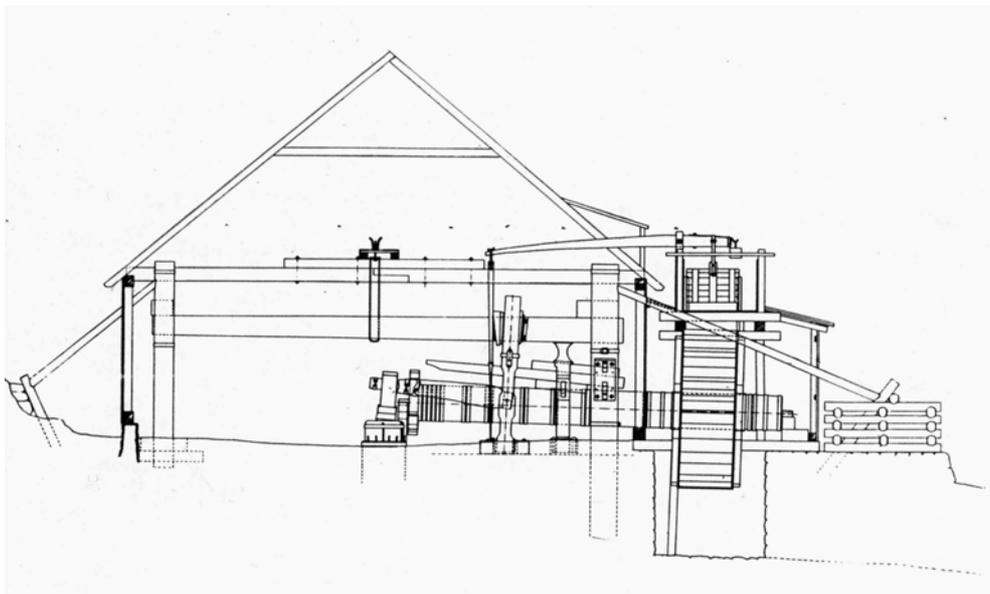


Abbildung 4: Schnittzeichnung Hammergebäude, Technik Museum Norwegen, nach G. THUESEN um 1948, aus: AAA 2899 Bildemappe Holt, Aust-Agder Archiv.

⁶ Olaf Aslaksen (1913 geboren) war der letzte Hammerschmied im Næs Verk, in siebenter Generation. 1927 wurde er eingestellt und arbeitete in den letzten Jahren bis 1959 als Vorschmied am Storhammer.

⁷ Siehe auch Abschnitt 7.2.



Abbildung 5: Storhammer Südseite

3.1.1 Das Wasserrad

Angetrieben wurde der Hammer durch ein überschlächtiges Wasserrad. Es ist am hinteren Ende der Welle außerhalb des Hauptgebäudes montiert. Der Durchmesser des Rades beträgt 3,76 m bei einer Breite von etwa 1,30 m. Vier Kanthölzer auf jeder Seite des Wasserrades mit einer Kantenlänge von 18 cm bilden das Radkreuz. Die Kanthölzer umschließen die vier Seiten der Welle, sind auf die Hälfte einseitig miteinander verkämmt und auf der Welle mit Keilen fixiert. Der dazwischen befindliche Radkranz ist mit den Kanthölzern verbolzt. 32 Wasserschaufeln bzw. -kammern, aus Brettern zusammengesetzt, werden von 35 cm breiten, gusseisernen Wangen aufgenommen. Jede Wange besteht aus acht Einzelsegmenten, von denen jedes über ein gekröpftes Ende mit dem nächsten Segment verschraubt ist (Abbildung 6). Auf den Innenseiten der Wangen sind bereits bei der Herstellung Stege vorgesehen worden, die in oft zu erneuernden Schaufelbretter eingeschoben werden konnten. An dem inneren Durchmesser der Wangeninnenseiten befinden sich je zwei umlaufende

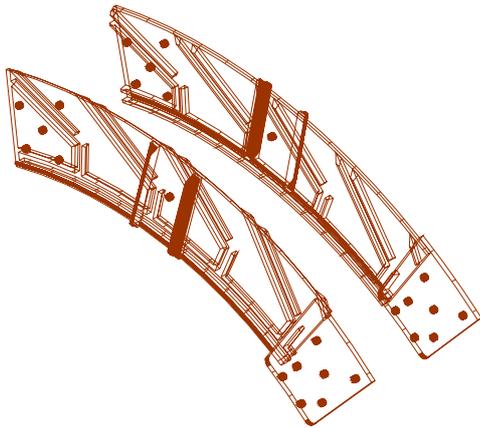


Abbildung 6: Segmente der Wasserradwangen aus Gusseisen, Breite ca. 35 cm

Stege, welche als Schaufelrückwand ebenfalls mit Brettern ausgefacht sind.

Die Außenseiten der Wangen haben mit schmalen, halbrunden Leisten eine Randverzierung und pro Segment ein radial ausgerichtetes Stegpaar zur Radkreuzaufnahme erhalten. Eine radiale Anordnung des Radkreuzes wurde jedoch in der letzten Konstruktion nicht

ausgeführt. Die vorhandenen Radkreuze sind mit nachträglich aufgenieteten Winkeleisen gefasst und auf die Wangen geschraubt worden. Mit 20 bis 22 mm starken Rundeisen werden die Wangen samt eingeschobenen Brettern axial zusammengehalten (Abbildung 7).



Abbildung 7: Wasserrad des Storhammers

3.1.2 Die Radwelle

Mit einer Länge von 8,60 m und einer Breite von fast 80 cm ist die Radwelle⁸ das schwerste Hammerelement. Da ganze Baumstämme in diesen Dimensionen nicht vorhanden waren, musste die Welle aus neun Balken zusammengesetzt werden. 18 Eisenbänder⁹ mit einer Breite von 8 cm und der Stärke von etwa 1 cm verbinden die Einzelbalken und haben zudem die Aufgabe, einem Splintern des Holzes vorzubeugen. Jeweils fünf Ringe konzentrieren sich an den Stirnenden der Welle. Dort sind die gegossenen Lagerzapfen¹⁰ eingesetzt und verkeilt worden (Abbildung 8). Gleichzeitig wurde an der, in das Gebäude gerichteten, Stirnseite der Welle das Nockenrad verkeilt, wobei neben Holzkeilen auch Stahlkeile zum Einsatz kamen. Die Radwelle übertrug das Drehmoment des Wasserrades auf das Nockenrad, das mit seinen vier Nocken den Hammerstiel kurz hinter dem Hammerkopf oder *Bär*, nach oben (auf-)warf. Die Grundform des Nockenrades ist ein Achteck, von dem jede zweite Seite mit einem 32 cm langen zapfenförmigen Nocken versehen ist.



Abbildung 8: Vorderes Wellenlager mit Nockemring

⁸ Auch Wellbaum oder Aas genannt, siehe Abschnitt 7.2.

⁹ Auch Schrumpfbänder genannt, siehe Abschnitt 7.2.

¹⁰ Auf der linken Seite des Storhammers liegt ein Reservezapfen, da es auch zu Brüchen kam.

Dadurch ergibt sich ein Gesamtdurchmesser von 1,80 m. Auf jedem Nocken ist ein Holzklotz, der *Frosch*, mit einem Eisenband befestigt, um einem Verschleiß der Nocken vorzubeugen. Die Welle mit allen Einzelteilen und das Wasserrad, ergeben ein Gewicht von etwa 7 t.

Gelagert ist die Welle mit ihren Lagerzapfen in halbrund ausgearbeiteten Gusseisenblöcken, die wiederum von flachen Gusseisenkästen gegen ein seitliches Verschieben gesichert wurden. Das vordere Lager am Nockenring ruht zusätzlich auf einem, ebenfalls gegossenen, nach rechts oben sich einseitig konisch verjüngenden Stützkasten. Das hintere Lager ruht auf einer schweren Holzschwelle und letztlich auf der Außenmauer des unteren Wassergrabens. Ein interessantes Detail ist die Neigung der Welle auf der Wasserradseite um zwei Grad. Erklärt wird diese geneigte Lage anhand zweier unterschiedlicher Theorien: OLAF ASLAKSEN¹¹ versteht den Sinn darin, dass die, über das Wasserrad stürzenden, Wassermassen nicht in das Gebäude gelangen sollten. KNUT AALL¹² hingegen vertritt die Ansicht, dass die Welle während des Betriebs, in ihrem Bestreben, am schrägstehenden Hammerstiel nach vorn abzugleiten, gehindert werden soll. Ein Teil des Eigengewichts wäre so genutzt worden, um die Welle in den Lagern zu halten.

3.1.3 Bär, Amboss, Helm und Prellholz

Die Umform- oder Schlagarbeit am Werkstück, das Schmieden, wird durch den gewaltigen Hammerkopf ermöglicht. Er ist mit seinem *Auge* auf dem Hammerstiel, dem *Helm*, fest verkeilt und hat bei einer Höhe von 90 cm, einer Breite von 56 cm und einer Tiefe von 38 cm, ein Gewicht von 1 t¹³. In die Unterseite ist über eine Schwalbenschwanzverbindung ein Stahlgesenk eingesetzt.

¹¹ ASLACKSEN, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

¹² K. AALL, frdl. mündl. Mittlg. 2001.

¹³ Die Masse des Gusseisenkopfes mit dem Gesenk ergibt über Volumenberechnung 950 kg. Für das Fallgewicht muss ein Teil der Masse des ca. 280 kg schweren Hammerstiels mitbedacht werden.

Mit einem Gesamtgewicht von etwa 2,3 t wurde als Amboss ein nach oben konisch verlaufender Gusseisenblock unter den Hammerkopf gesetzt. Er besitzt einen rechteckigen Querschnitt von 78 x 83 cm an der Oberseite. In der Mitte ist er mit einer Vertiefung versehen, in welche verschiedenen Stahlgesenke eingesetzt werden konnten. Die Arbeitsfläche oder Bahn des Gesenkes bestimmt mit 65 cm die Höhe der Arbeitsebene.



Abbildung 9: Storhammer Nordseite

Der Hammerstiel ist parallel zur Welle ausgerichtet und hat als einarmiger Hebel seinen Drehpunkt zwischen zwei gusseisernen 3,27 m und 3,40 m langen Stützen, der *Zange*. Die erstgenannte Stütze ist dicht neben die Welle gerückt, während der Fuß der zweiten Stütze nach außen steht. Oben sind beide im Hammergerüst und unten in einem Gusseisenkasten, der in das Hammerfundament eingelassen ist, befestigt. Der Hammerstiel ist fest in einer Lagerhülse mit Holz und Stahlkeilen verkeilt. Diese *Hülse*¹⁴ hat die Gestalt eines Ringes mit zwei halbrunden, horizontal liegenden Zapfen bzw. Gelenkkugeln.

¹⁴ Siehe Abschnitt 7.2.

In den beschriebenen Lagerstützen befindet sich jeweils ein eingekeilter Eisenquader, der mit halbrunden Vertiefungen bzw. Gelenkpfannen die Hülsenzapfen aufnimmt. Um ein Auseinadertreiben der Lagerstützen zu vermeiden, hat man beide über dem Lager quer mit einem kräftigen Holzzapfen, *Scheer* genannt, zusammengezogen.

Wichtiger Bestandteil ist ein über dem Hammerstiel befestigter Balken, das *Prellholz*¹⁵, der die Funktion einer Feder inne hatte. Er war fest im Hammergerüst verkeilt und musste den nach oben geworfenen Hammer in seiner Bewegung begrenzen, um eine höhere Schlagzahl¹⁶ zu erreichen (Abbildung 9).

Die Anzahl der Hammerschläge der beiden Aufwerfhämmer in der Hammerschmiede gibt HAMRAN¹⁷ mit je 60 Schlägen in der Minute an.

3.1.4 Das Hammergerüst

Bär und Hammerstiel werden von einem über den Hammer gespannten Rahmen aus mächtigen Holzstämmen zusammen gehalten und geführt, der in zusätzlichen Fundamenten außerhalb des Gebäudes abgestützt war. Er setzt sich aus zwei vertikalen, im Boden versenkten Stützen, den *Drumstützen*, und dem horizontal liegenden *Drumbalken*¹⁸ zusammen. Der 11 m lange und 40-50 cm starke *Drumbalken* ist über Zapfen in die beiden Stützen eingepasst. Die Stütze auf der Ostseite ist mit einer max. Breite von 65 cm aus einem Stamm gearbeitet worden. Diejenige der Westseite dagegen besteht aus vier einzelnen Balken, in die ein Gusseisengestell, als Lager für das Prellholz, eingearbeitet ist. Auch hier kamen Eisenbänder zum Einsatz. Für eine zusätzliche Lagerung des Prellholzes wurde zwischen den Lagerstützen des Hammerstiels und der Rahmenstütze der Westseite, eine weitere Gusseisenstütze, die *Büchensäule*¹⁹ gestellt. Das Prellholz wird durch sie hindurchgeführt und verkeilt. Ihr Fuß steht in einem versenkten Kasten und oben ist sie über einen Zapfen mit dem Querbalken verbunden. Die nach außen führenden Stützstreben, wie beim

¹⁵ Auch Prellbalken oder Reitel genannt, siehe Abschnitt 7.2.

¹⁶ Siehe ALTMANN und FUCHS in Abschnitt 7.2.

¹⁷ HAMRAN 1993, 16.

¹⁸ Auch als Drom, Trumm oder Tromm bezeichnet, siehe Abschnitt 7.2.

¹⁹ Siehe Abschnitt 7.2.

Sinkhammer noch zu sehen, fehlen heute dem Storhammer. Kurz vor der Zange wird das Gerüst seitlich, über die Welle hinweg, durch ein schlankes Rundholz in Richtung Welle gestützt und durch ein dreiteiliges Zugeisen in Richtung Ofen gehalten.

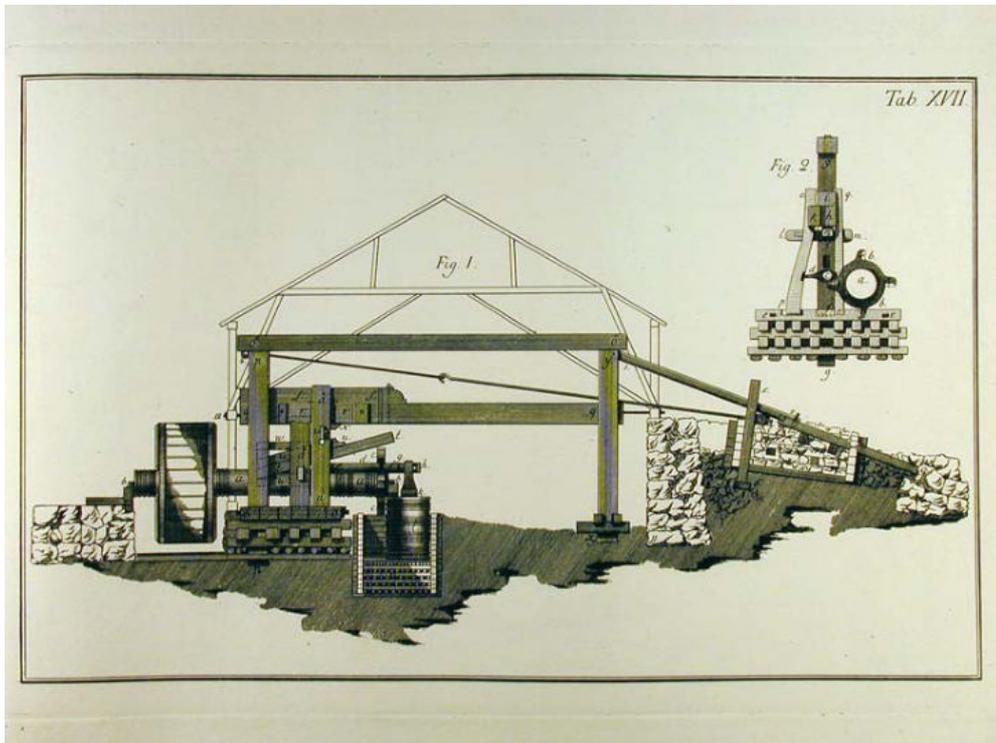


Abbildung 10: Schwedisches Hammergestell mit Hammerfundamenten
aus: RINMAN 1788.

Das Hammergerüst hatte die Aufgabe, die im Hammerbetrieb entstehenden Kräfte aufzunehmen und in die Fundamente abzuführen (Abbildung 10). Der Hammerstiel wird durch den auftreffenden Nocken einerseits quer und längs verschoben und andererseits muss die beschleunigte Masse des Hammers durch das Prellholz aufgefangen werden.

3.1.4.1 Das Hammerfundament

Als Fundament des Hammers ist heute lediglich die oberste Schicht und



Abbildung 11: Fundamenterneuerung des Sinkhammers, 1989

die Begrenzung zum Wassergraben zu erkennen. Längs zum Gebäude ausgerichtet liegen 2,80 m lange Rundhölzer, vom Wasserrad an bis auf 4 m in Richtung Amboss, dicht aneinander gereiht. Unter ihnen befindet sich eine bis zu 2 m tiefe Grube, in der ehemals neun Lagen²⁰ gekreuzter Hölzer zu einem elastischen Fundament geschichtet und mit Eisenbändern zusammen gehalten wurden.

1989 mussten alle drei Hammerfundamente

erneuert werden, da sie infolge des Materialabbaus durch Holz zerstörende Organismen in sich versanken, samt den Hammerkonstruktionen. Nach Ausräumen der organischen Reste der Fundamente und Wiederherstellung der alten Positionen der Hämmer, wurden die Gruben mit Splitt aufgefüllt. Die oberste Fundamentlage wurde mit imprägnierten Oberleitungsmasten²¹ rekonstruiert (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

²⁰ THUESEN 1948.

²¹ TORE FJELDSKÅR, frdl. mündl. Mittlg. 2001.

Anders verhält es sich mit der Gründung von Amboss und Wellenlager. Zwar wurden diese Fundamente ebenfalls aus Holz gefertigt, gaben aber der Last bisher nicht nach. In vertikaler Ausrichtung, sind sie entweder aus einem Stück oder einzelnen Stäben zusammengesetzt und mit Eisenbändern gefasst (Abbildung 12).



Abbildung 12: Freigelegter Teilbereich des Amboßfundamentes

3.2 Knip- und Sinkhammer

3.2.1 Der kleine Aufwerf- oder Sinkhammer

Wie in Abschnitt Aufbau und Funktion der Hammerschmiede dargestellt, kann der Sinkhammer einfach als geringfügig verkleinertes Spiegelbild des Storhammers beschrieben werden. Sein Bärgewicht liegt bei 750 kg. Er wurde in den letzten Produktionsjahren selten benutzt (Abbildung 13).²²

²² ASLACKSEN, frdl. mündl. Mittlg. 2002.



Abbildung 13: Sinkhammer

3.2.2 Der Schwanz- oder Kniphammer

Der Schwanzhammer kam erst 1917²³ von der anderen, kleineren Werkschmiede und ist dicht an die Südwand des Gebäudes gerückt. Kurz vor dem Ende der quer zum Flutergraben liegenden Radwelle ist das schwere ober-schlächlige Wasserrad befestigt. Seine Drehrichtung verlief entgegen der Fließrichtung des Fluterwassers weshalb, wie oben beschrieben, der Flutergraben als Staubecken endet. Der Hammerstiel und die Radwelle stehen rechtwinklig zueinander, so dass der Hammerstiel nach Norden, längs zum Gebäude ausgerichtet ist (Abbildung 14).

Die Bezeichnung „Knip-“ steht für *kneifen*, also *Kneifhammer*. Er wurde benutzt, um nach dem Ausschmieden der Stabeisen diese zuzuschneiden, aber auch um kleine Stücken zu schneiden, welche zum Einschmelzen im Tiegelschmelzwerk vorgesehen waren.



Abbildung 14: Kniphammer

²³ J. AALL, frdl. mündl. Mittlg. 2001.

3.3 Das Hammergebäude

Das Gebäude der Hammerschmiede liegt parallel zum Flusslauf in Nord-Süd-Richtung am Ost-Ufer der „Storelva“. Es ist etwa 50 Meter von der ehemaligen Dammkonstruktion und 10 bis 15 Meter vom Ufer entfernt erbaut worden. Die Mitte des Gebäudes liegt in der Höhenlage von etwa 34 Metern über Normal-Null mit einem Niveaufälle von einem Meter in Ost-West-Richtung.²⁴ An seinem oberen Ende ist es bis zur Traufhöhe in den Hang hinein gebaut.

Die Hammerschmiede ist während des kontinuierlichen Betriebes seit 1665 mehrfach geändert und umgebaut worden. Das aktuelle Gebäude ist, da das alte durch Schneelast zerstört worden war, lediglich 32 Jahre alt. Es handelt sich um eine schlichte Holzkonstruktion, die derjenigen des 1966 zerstörten Gebäudes nachempfunden ist. Sie unterscheidet sich von der alten durch eine höhere, den Schneelasten angemessene, Stabilität.

Maße: Das Gebäude ist 35 m lang, 12,5 m breit (ohne Wasserradeinhauung) und 9 m hoch.

3.3.1 Fundamente und Boden

Die rechteckige Grundfläche des Gebäudes ist bis auf die Nordseite mit einem etwa 30 Zentimeter breiten Fundament aus Beton und Schlackesteinen vorwiegend auf Erdboden gegründet. Es wird auf der Ost- und Südseite jeweils durch eine Tür und auf der Westseite durch die Öffnungen für die Hammerwellen unterbrochen. Das Betonfundament reicht hier nur bis zum mittleren Hammer und wird von einzelnen Steinsockeln fortgesetzt. Die Höhe des Fundamentes über dem Bodenniveau variiert mit dem Gefälle im Gebäude von wenigen Zentimetern bis zu einem Meter und außerhalb von wenigen Zentimetern bis zu einem halben Meter. Die obere Ebene der Fundamentabschnitte befindet sich in einem Niveau und nimmt die Grundschwelle, auch als Fußschwelle bezeichnet, der Holzkonstruktion auf.

²⁴ Lagekarte der Tvedestrand Kommune vom 24.05.02



Abbildung 15: Gebäudefundament auf der Ostseite

Die Fundamenttiefe unter dem Bodenniveau liegt im Schnitt bei einem halben Meter. Isoliert ist das Fundament auf der Oberseite mit einer Bitumenpappe gegen aufsteigende Feuchtigkeit (Abbildung 15).

Der Boden bestand und besteht, neben Lehm Boden typisch für eine Schmiede, auch heute noch aus Erdreich. Der Erd- oder Lehm Boden hatte in Schmieden eine besondere Funktion. Seine Feuchtigkeit verschaffte Kühlung und reduzierte die Staubentwicklung und Brandgefahr. Es konnten so auch glühende Werk- bzw. Schmiedestücke zum Abkühlen einfach auf den Boden gelegt werden. Diese Eigenschaften sind zwar heute nicht mehr erforderlich, aber charakteristisch und ein wesentlicher Teil der historischen Anlage.

3.3.2 Die Konstruktion des Hammergebäudes

Die Wände der Ost-, Süd- und Westseite der Hammerschmiede sind als einfache Ständerkonstruktion ausgeführt (Abbildung 16). Die Wand der in den Hang hinein gebauten nördlichen Giebelseite und die etwa vier Meter der anliegenden Ostwand sind aus Fels- und Schlackesteinen errichtet. Sie liegen auf

der Außenseite fast vollständig unterhalb des Bodenniveaus. Das Gebäude wurde vermutlich versenkt, da man einerseits genügend Gefälle zum Damm benötigte und andererseits das Hammerwerk nicht zu entfernt vom Damm errichtet werden sollte. Damit wollte man eine unnötig lange Wasserrinne vermeiden.

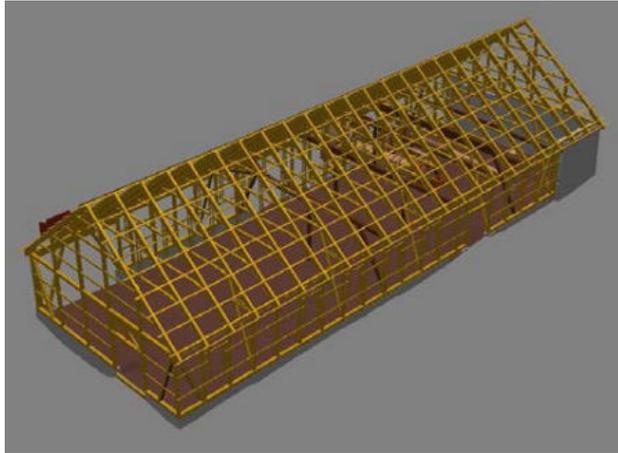


Abbildung 16: Holzkonstruktion des Hammergebäudes aus SO, Länge = 35 m

Mit einem Abstand von 1,55 Metern stehen die senkrechten 3,12 Meter hohen Pfosten, auch als Ständer oder Stiel bezeichnet, auf der Grundschwelle. Auf den Stützen liegt das als Rähm bezeichnete Rahmenholz, das hier gleichzeitig als Fußpfette genutzt wird. Ständer

und Dachbinder sind in der Regel²⁵ übereinander, also in einer Ebene und die Sparren liegen direkt auf dem Rahmen.

Das symmetrische Satteldach ruht auf einem Kehlbalkendachstuhl, wobei der Kehlbalken im unteren Drittel die Sparren hält und selbst mit zwei hängenden Streben abgefangen wird. Sowohl Sparren als auch Kehlbalken sind aus schichtverleimten Fichtenhölzern gefertigt. Zusätzlich sorgt an jeder vierten Stütze eine Sprengstrebe für die Aufnahme der quer zum Gebäude wirkenden Kräfte und in der Kehlbalkenebene steifen Diagonalstreben den Dachstuhl aus. Zwischen der regelmäßigen Anordnung der neuen Dachbinder sind fünf alte, von der Zerstörung verschont gebliebene Querbalken integriert.

²⁵ durch den Abzug des kleinen Glühofens wurden mehrere Binder versetzt

Aufbau und Funktion der Hammerschmiede



Abbildung 17: Hammergebäude, Südseite



Abbildung 18: Hammergebäude, Westseite

Um bei dem Betrieb der Hämmer die Wasserzufuhr in der Wasserrinne zu regulieren, führt für jeden Hammer ein Hebelgestänge durch eine Dachgaube in der Westflanke des Daches.

Das Dach ist neben der Lattung und der Ziegeleindeckung heute mit einer Schalung ausgeführt. Das bei Niederschlägen anfallende Wasser wird auf der Hangseite über eine rotbraun beschichtete Eisenblechrinne gesammelt und bei jeweils einem Drittel der Gebäudelänge in ein, bis kurz über den Boden reichendes, Fallrohr geleitet. Das anfallende Wasser auf der Flusseite wird in einer mit Dachpappe ausgekleideten Holzrinne gesammelt und zum nördlichen Ende geleitet, wo es überfließt.



Abbildung 19: Hammergebäude 1949, aus: THUESEN 1977, 17.

Die verbauten Hölzer sind aus Fichte und Kiefer gefertigt und ohne sichtbare Qualitätsmängel, wie Baumkantigkeit, Fehllastigkeit oder Krümmungen. Bis auf die Grundschwelle ist kein Konstruktionsholz des Gebäudes mit einem Holzschutzmittel behandelt worden.

Das tragende Holzskelett ist in einer vertikalen Anordnung mit sich überlagernden Brettern bekleidet. Diese auch als *Deckelschalung* bezeichnete Fas-

sade ist mit wenigen Nägeln, die für die nötige Bewegungsfreiheit sorgen, auf zwei waagerechten Unterbauhölzern, dem Rahmen- sowie dem Schwellenbalken befestigt. Die unteren Bretter sind dabei die *Kriecher* (o. *Schlupfer*) und die oberen die *Decker* (o. *Deckel*).²⁶

Ähnlich dem zerstörten Gebäude (Abbildung 19) sind in der Ostwand sechs kleine Fenster eingearbeitet, von denen alle verglast waren. Beim Neubau entschied man sich für vier offene Lamellenfenster, um die infolge der heute fehlenden Betriebstemperaturen entstehende hohe Luftfeuchtigkeit, durch eine bessere Durchlüftung zu reduzieren. Zwei kleine Lamellenfenster, welche vermutlich als Einfüllöffnungen für Kohle und Holz dienten, sind in die Steinwand eingearbeitet. Die Wand auf der Flussseite ist mit drei Öffnungen für die Antriebswellen, ursprünglich nur Durchbrüche im Wellendurchmesser, versehen. Die Schornsteine der Glühöfen sind nicht durch das Dach gezogen worden und die Dacheindeckung bestand zum Teil aus Wellblech.

Begehrbar ist das Hammerwerk durch das Haupttor im Südgiebel, ein weiteres in der Ostwand und durch eine versteckte Tür bei dem Wasserrad des Großhammers.

Nach 1992 wurde eine elektrische Anlage mit Beleuchtungsmitteln, eine Alarmanlage und Rauchmelder installiert.

3.3.3 Die Wasserführung und die Einhausung der Wasserräder

Der parallel zum Flussufer gelegenen westlichen Wand vorgelagert, verläuft die Wasserführung mit den beiden Wasserradeinhausungen. Um die Wasserräder der Hämmer an der Gebäudewestseite vor Witterung zu schützen, wurden sie mit einfachen Bretterwänden eingehaust und die Dächer mit Bitumenbahnen isoliert. Um auch hier für eine Durchlüftung zu sorgen, sind die Bretter mit mehreren Millimetern Abstand auf die Querriegel genagelt worden. Eine Einhausung steht für das Kniphammerrad und eine zweite für den Sink- und Storhammer.

²⁶ KRÄMER, 1998, S.291

Die Wasserrinne verläuft nah an der Westseite des Gebäudes entlang und wurde vom nördlich gelegenen Damm auf der linken Seite (in Fließrichtung) abgezweigt. Sie wurde bei dem Neubau teilweise rekonstruiert und erstreckt sich heute nur über die Längsseite des Hauptgebäudes (Abbildung 20).



Abbildung 20: Rekonstruierte Wasserrinne

Der oben offene Wasserkasten, auch *Flutergraben* genannt, ist mit Brettern verschalt, welche etwa alle 1,5 Meter durch einen Rahmen aus Kanthölzern gehalten werden. Jeder Rahmen steht auf 2,5 Meter hohen hölzernen Stützgestellen. Der innere Querschnitt der Rinne beträgt, bei einer Breite von 1,40 m und einer Höhe von 1,10 m, ca. 1,5 m².

Die Wasserrinne führt durch die Dachebenen der Wasserradeinhausungen derart hindurch, dass alle oben beschriebenen senkrechten Rahmenkanthölzer der Rinne durch die Dachfläche treten, wodurch es zu Schwachstellen in der Dachabdichtung gekommen ist (Abbildung 21). Über dem Wasserrad des Kniphammers ist die Wasserrinne als Staubecken auf eine Breite von 3,20 Meter und die Einhausung dementsprechend erweitert. Klappen bzw. Spanschüt-

ze sind nicht nachgebildet. Lediglich Teile der originalen *Schussbretter*²⁷ wurden mit neuen Hölzern repariert.



Unter den Wasserrädern führt ein Steingraben entlang, um das Abwasser der Rinne und der Wasserräder an zwei Durchlässen wieder in den Fluss Stodelva zu leiten. Der Grund des Grabens ist mit Trümmern der Überschwemmung und zum Teil mit Wasser gefüllt.

Abbildung 21: Folge der undichten Dachabdichtung

3.3.4 Die Einrichtung

Der Großteil der Geräte und Werkzeuge, ist während des kontinuierlichen Betriebes über drei Jahrhunderte, durch Reparatur und Erneuerung einer Veränderung unterworfen gewesen. Dennoch ist es nicht auszuschließen, dass einige, der 1665 vom Barbu Werk übernommenen Einrichtungen die Zeit über-

²⁷ Ssiehe Abschnitt 7.2.

dauert haben.²⁸

Neuentwicklungen in der Stahlproduktion in England oder Schweden, wurden auch im Næs Verk zum Teil eingeführt. Mit der Änderung der Produktionsmittel wie beispielsweise der Öfen, der Gebläse oder Hämmer und der damit verbundenen Produktionsmenge, variierte auch der Aufbau des Hammergebäudes.

Nachdem 1992 Gelder für eine Inventarisierung aller Gegenstände bewilligt wurden²⁹, ist das mobile Kulturgut mit kleinen Marken versehen worden. Die dazugehörige Inventarliste konnte durch den Autor noch nicht ausfindig gemacht werden.



Abbildung 22: Überblick Ausstattung 1

²⁸ THUESEN 1977, 13.

²⁹ Stiftelsen N.J. 1992, 22.



Abbildung 23: Überblick Ausstattung 2

3.3.4.1 Die Öfen

Heute existieren lediglich zwei Glühöfen und ein kleiner Schmiedeherd ohne Abzug. Im vorderen Teil quer zum Gebäude ausgerichtet und mit seinem rückseitigen Abzug nahe der flussabgewandten Gebäudewand, steht der kleine Glühofen. Seine gemauerte Konstruktion ist mit Eisenrahmen und -bändern eingefasst und hat eine Höhe von 1,50 m, eine Länge von 3 m und eine Breite von 1,80 m. Er ist mit einer schmalen, weit in sein Inneres reichenden, Brennkammer ausgestattet, die es ermöglichte, Eisenstangen auf etwa 1 m Länge zu erwärmen. Dieser Abschnitt konnte in einem Arbeitsgang zu einem bestimmten Querschnitt ausgeschmiedet werden. Die Brennkammer war ehemals mit einer Stahlplatte verschließbar, die mit einer einfachen, obenliegenden Hebewippe hochgezogen werden konnte. Der Glühofen wurde in der Regel für das Schmieden am Kniphammer genutzt.



Abbildung 24: von links nach rechts: Amboss, Esse und Glühofen

Auf der linken Seite des Ofens steht der ebenfalls gemauerte Schmiedeherd. Zwei Lagen Schlackesteine bilden die untere Ebene und zwei Lagen Schamottsteine die obere Ebene. Seine Grundfläche ist quadratisch mit einer Seitenlänge von 1 m und einer Höhe von etwa 70 cm. An der Rückseite ist ein Wasserkasten befestigt. Das Feuer wurde für die Herstellung und Reparatur kleinerer Werkstücke, wie Klingen, Handhämmer oder andere Werkzeuge verwendet (Abbildung 24).

Am Ende des Gebäudes vor der Steinwand steht der 1946³⁰ von einer Osloer Firma errichtete große Doppelkammerofen. In seinem quaderförmigen Grundkörper befinden sich zwei Brennkammern, die durch an Ketten und Gegengewichten aufgehängten, mit Wasser gekühlten Kammertüren verschlossen werden konnten. Eine turmähnliche Feuerung ist an seine rechte Seite gebaut worden. Der Ofen besteht aus einem Stahlgerüst und vermutlich aus einer feuerfesten und einer wärmeisolierenden Ausmauerung, welche mit Stahlblechen verkleidet ist. Nach GNADEN/GUGE verwendete man für die wärmeisolie-

rende Steinschicht Schamottesteine mit niedrigem Schmelzpunkt. „Damit die Mauer von den hohen Erwärmungstemperaturen nicht auseinandergetrieben werden kann, wird sie von einem Gerüst aus Profilstahl und Stahlplatten zusammengehalten.“³¹ Der Ofen wurde mit Holzkohle, Steinkohle und zu Kriegszeiten nur mit Holz gefeuert. Mit den beiden Brennkammern konnten sowohl der Storhammer als auch der Sinkhammer nebeneinander bedient werden. Unter anderem wurden die im Tiegelstahlwerk gegossenen Barren zur Weiterbearbeitung hier erwärmt und ausgeschmiedet (Abbildung 25).³²



Abbildung 25: Doppelkammerofen, davor der Wagen der für den Transport der erwärmten Eisen zum Hammer verwendet wurde; rechts Wasserkasten

3.3.4.2 *Der elektrische Luftdruckhammer*

Im Nordteil des Gebäudes, neben dem Storhammer wurde 1952/53³³ ein Luftdruckhammer der Firma BILLETTER & KLUNZ A.G., aus Aschersleben in Sachsen-Anhalt, installiert. Trotz seiner gedrungenen und standfesten Bauart, wird er durch seine zur Nordwand ausgerichtete Position, seine dunkle Be-

³⁰ J. AALL, frdl. mündl. Mittlg. 2002

³¹ GNADEN GUBE 1983, 14.

³² ASLACKSEN, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

schichtung und die geringe Beleuchtung erst spät wahrgenommen. Das schwere gusseiserne Hammergehäuse ruht auf einem etwa einem Meter tiefen, mit Kanthölzern ausgefüllten Betonkasten. Über dem Gehäuserücken, in einer Höhe von etwa 2,50 m, steht auf einer nach hinten auskragenden Platte ein gewaltiger Elektromotor. Sein Antriebsrad ist über einen breiten Lederriemen mit dem Schwungrad des Hammers verbunden. Auf dem Gehäuse ist eine Plakette mit der Nummer 511 und dem Herstellungsjahr 1912 montiert. Eine zweite Plakette trägt den Namen der heute noch bestehenden Maschinen-Vertriebsfirma: SCHUCHARDT & SCHÜTTE³⁴. Der Hammer wurde in Kongsberg gebraucht angekauft (Abbildung 26).



Abbildung 26: Yeakley-Luftdruckhammer

Nach GNADEN GUBE handelt es sich um einen, zur Kategorie der Freiformschmiedehämmer zählender, *Einständer-Lufthammer* mit angebautem Verdichter, der zum Schmieden von Freiformteilen und zum Vorschmieden von Gesenkschmiedeteilen verwendet wird. Weiter wird hervorgehoben: „Der Lufthammer mit vorgebautem Verdichter ist von einer zentralen Druckluftan-

³³ J. AALL, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

³⁴ Heute in Schweden unter dem Namen SCHUCHARDT & SCHÜTTE MASKIN AB. Auch in Berlin vertreten gewesen.

lage unabhängig. Er ist jederzeit einsatzbereit.“³⁵ Gerade in den Wintermonaten ein Vorteil gegenüber wasserbetriebenen Hämmern, deren Wasserräder am Beginn eines Arbeitstages und zwischen den Arbeitsgängen vom Eis befreit werden mussten.³⁶

Ein Luftdruckhammer ist generell aus einem Kurbeltrieb, einem Verdichter- und einem Bärzylinder sowie einem Amboss aufgebaut. Der Hammer aus Aschersleben ist für seine Bauart eine schwere Ausführung. Was ihn von der üblichen Bauweise unterscheidet, ist der rechteckige Querschnitt seines Bärzylinders. Eine gute Funktionsbeschreibung ist bei FUCHS zu finden und als Begründung für diese Bärform gibt er an: „ Er ist rechteckig ausgebildet, wodurch einerseits ein Verdrehen im Zylinder verhindert wird, und andererseits die Möglichkeit für eine eigenartige Nachstellung gegeben ist, welche ein andauerndes Dichthalten ermöglicht. Der Zylinder besitzt eine abnehmbare Hälfte, welche mittels warm angepasster Schrauben festgehalten wird.“³⁷ Die Nachstellung der ausgelaufenen Führung wird durch Einlegen verschieden starker Bleche zwischen die Sitzflächen beider Zylinderhälften erreicht (Abbildung 27).

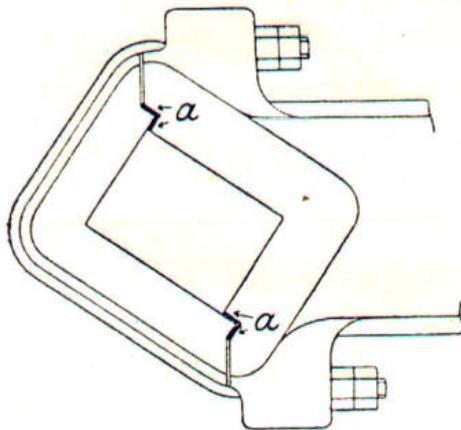


Abbildung 27: Die Nachstellung des Bärzylinders aus: FUCHS 1922, 64.

Wie in der Abbildung 28 deutlich wird, erfährt der Verdichterkolben *b* durch den, vom Elektromotor angetriebenen, Kurbeltrieb eine Auf- und Abbewegung. Die dabei über dem Kolben entstehenden Unterdrücke und Pressungen werden durch den Luftkanal *l* in den Bärzylinder geleitet und ermöglichen die Arbeitsbewegung des Bärkolbens *c*. In

³⁵ GNADEN GUBE 1983, 43.

³⁶ ASLACKSEN, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

³⁷ FUCHS 1922, 64.

dem Luftkanal befindet sich ein Rundschieber *d*, der über einen Fußhebel bedient werden kann und die unterschiedlichen Funktionen regelt.



Fig. 100. Yeakley-Luftdruckhammer.

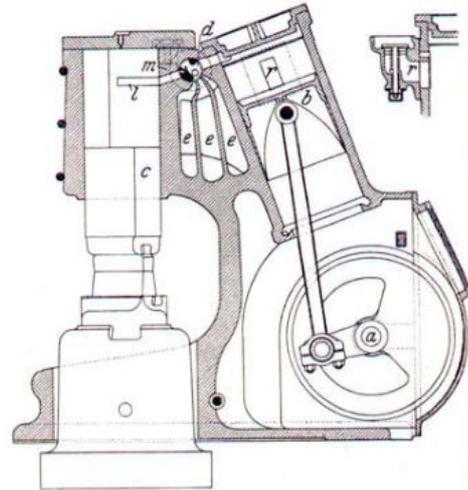


Fig. 101. Schnitt durch den Yeakley-Hammer.

Abbildung 28: Mittelgroßer Yeakley-Luftdruckhammer aus: FUCHS 1922, 64.

Neben der dosierbaren Schlagarbeit im SchmiedebetrieB, ist der Hammer in der Lage, den Bärzylinder in der oberen Position während der Arbeitspausen zu halten oder das Werkstück unter Druck auf dem Amboss zu pressen. Die Schlagzahl ist von der Drehzahl des Kurbeltriebs abhängig. Die benötigte Luft wird über eine Öffnung im Verdichterzylinder angesaugt und um einen Überdruck im Gehäuse zu vermeiden durch das Luftausstoßventil *r* geregelt. Die vom Luftkanal abgehenden Windkammern *e* dienen als Zwischenspeicher (Abbildung 29).³⁸

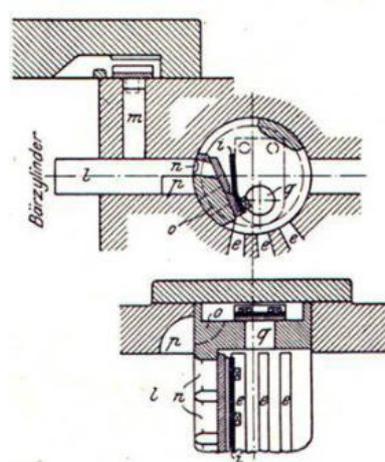


Abbildung 29: Rundschieber-Steuerung aus: FUCHS 1922, 65.

³⁸ FUCHS 1922, 64-65.

Der Luftdruckhammer war jedoch selten in Benutzung, da die Leistung des werkseigenen Kraftwerkes nicht ausreichte³⁹ und besonders für das Schmieden von harten, federnden Stählen ein schwerer Aufwerfhammer, durch seine mehr *drückenden* Schläge, bevorzugt wurde⁴⁰.

3.3.4.3 Werkzeuge und Hilfsmittel

Schmiedewerkzeuge

Eine große Anzahl an Schmiedewerkzeug ist in der Hammerschmiede noch vorhanden und zum großen Teil im Gebäude an den Seiten verteilt. Wie in Abschnitt 3.3.4.1 beschrieben, wurden auch kleinere Werkstücke bearbeitet, so dass kleinere Werkzeuge nötig waren. Hierzu gehört der, links neben dem Schmiedeherd stehende, kleine Amboss. Er besitzt eine rechtwinklige Bahn mit einem Rundhorn und einem Rund- und Vierkantloch, wie es für den *englischen* Amboss bezeichnend ist⁴¹. Als Sockel dienen zwei kurze Holzstämmen, und an der Seite eines Stammes wurde ein Holztisch als Werkzeugablage angebracht. In diesen Kleinschmiedebereich gehören zudem ein Sperr- sowie ein kurzes Ringhorn, eine kleine, aber schwere Richtplatte, eine Werkbank und vier Holzkisten. In den Kisten wurden Kleinteile wie Messwerkzeuge, Handhämmer, Meißel, Dorne und andere Werkzeuge zusammengetragen.

Hinter dem kleinen Amboss und der Richtplatte, an die Wand gelehnt, steht die einzige Werkbank der Hammerschmiede. Zwei, durch eine Mittelstrebe verbundene Querrahmen aus Kanthölzern, sind mit vier starken Bohlen als Tischplatte beplankt worden. Auf der ersten Bohle wurde ein kleiner Schmiede- oder *Flaschenschraubstock*⁴² befestigt, dessen langes unteres Ende mit einem extra Stützbrett an die Werkbank geschraubt wurde.

Kleine leichte Schmiedezeugen, überwiegend Flach- und Klauenzangen, lagern auf zwei Holzunterlagen, jeweils zwischen den Hämmern, um sie vor der Feuchtigkeit des Bodens zu schützen. Ein rekonstruiertes Gestell aus vernagelten Schalungsbrettern, auf der gegenüberliegenden Seite des Storham-

³⁹ ASLAKSEN, frdl. mündl. Mittlg. 2001.

⁴⁰ K. AALL, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

⁴¹ METZGER 1986, 84.

mers, war auch während der Betriebszeit für die großen Klauenzangen verwendet worden⁴³.

Diverse Haken und Spieße, die vermutlich für die Feuerführung verwendet wurden, liegen auf einem flachen und breiten Gestell aus Stahlprofil, dem Sinkhammer gegenüber. Ein vierbeiniger Bock steht vor dem großen Glühofen.



Abbildung 30: von links nach recht: Richtplatte, Amboss und Esse

Gesenke

Um während des Schmiedens das Material in die fertige Form zu bringen, wurden Hammerkopf und Amboss mit den gewünschten Gesenken versehen. Zwischen den Gesenkhälften konnte der Hammerschmied das Material exakt auf ein bestimmtes Querschnittsmaß schmieden, was durch die Sammlung im Stahllager deutlich wird. Sollte ein anderer Stangenquerschnitt produziert werden, mussten die Gesenke gewechselt werden, was bei einem Gewicht von 70kg pro Gesenkhälfte keine leichte Aufgabe war. Auf kleinen Tischen, neben dem Knip- und Sinkhammer, wurden die Gesenke in jüngerer Zeit zusammengetragen.

⁴² HUNDESHAGEN 1985, 36.

Gebläse

Die in den letzten Betriebsjahren verwendeten Gebläse, für die beiden Öfen und das Schmiedefeuer, wurden elektrisch angetrieben.⁴⁴ Überreste, wie unterirdisch verlegte Gussrohrleitungen und ein Kreisgebläse auf dem Verschlag vor der Steinwand, sind erhalten geblieben.

Hebevorrichtungen

Jeweils auf der Hammerstielseite der beiden Aufwerfhämmer, steht ein hölzerner Drehkran (Abbildung 31). FICKELER erklärt hierzu: „Wegen ihrer Form hießen sie treffend «Kranich» oder abgekürzt «Kran», und nach ihrer beschwerlichen Aufgabe trugen sie den Namen des alten vierbeinigen Lastenträgers . . . «Esel!»“⁴⁵

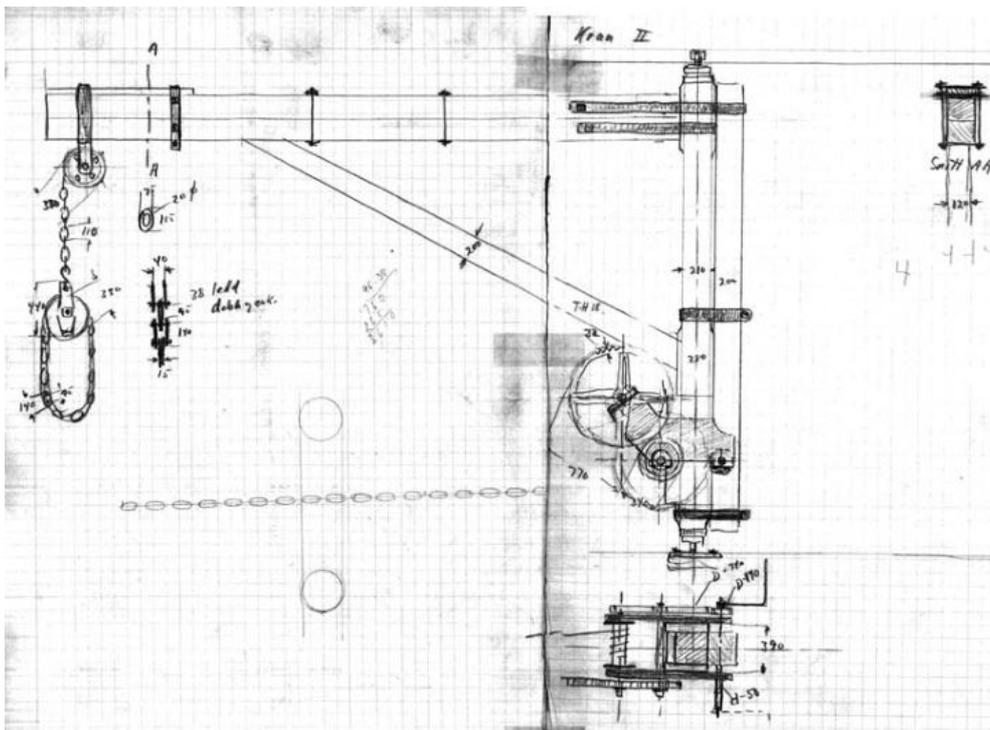


Abbildung 31: Holzdrehkran mit Winde des Storhammers, aus: THUESEN 1948.

⁴³ TORE FJELDSKÅR, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

⁴⁴ ASLAKSEN, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

Beide Kräne besitzen den gleichen Grundaufbau: Ein vertikal stehendes Kantholz, mit stirnseitig eingesetzten Stahlzapfen, bildet die Drehachse. Der Querausleger ist ebenso ein Kantholz, welches mit dem Kopf der Drehachse verbunden ist und durch eine diagonale Strebe am vorderen Ende gestützt wird. Als unteres Lager verwendete man eine Stahlplatte, in deren Mitte eine Vertiefung den Lagerzapfen aufnimmt. Gegründet wurde die Platte auf einer Schicht Holzbalken. Der obere Lagerzapfen wird lediglich in einem gelochten und gebogenen Flachstahl geführt. An einem quer durch das Gebäude reichenden Balken, wurde der Flachstahl angeschraubt.

Sie wurden benutzt, um die schweren Stahlbarren oder –stangen unter dem Hammer halten und drehen zu können. Nachdem die Zange in der Kettenschleife hing und den glühenden Barren sicher gefasst hatte, drehte man sie mit der Handkurbel auf die richtige Höhe und schwenkte den Kran zum Hammerbären. Die Zange samt Barren konnte so, gut in der Kette um die eigene Achse gedreht werden. Mit einer zahnradübersetzten Mechanik konnte die Kurbel durch Handkraft bedient und die schweren Schmiedestücke gehoben werden. Für den Transport der glühenden Barren nutzte man außer dem Kran den, noch jetzt vor dem Ofen stehenden, zweirädrigen Stahlhandwagen, auf dessen Rost der Barren gelegt und zum Amboss gefahren wurde.

Im Unterschied zu dem Kran auf der Sinkhammerseite wurde der Kran des Storhammers an der Drehachse und dem Ausleger mit einem zusätzlichen Kantholz verstärkt.

Gegenüber dem Sinkhammer, auf dem Boden, liegen heute die Überreste einer Krananlage aus der Zeit vor der Stilllegung. Auf den im Dach befestigten, mit Stahlband beschlagenen Balken, konnte die Last an einer Laufkatze⁴⁶ hängend, über weite Strecken transportiert werden.

3.3.4.4 *Sonstiges*

Pferdeschlitten mit Eisenerz

⁴⁵ FICKELER 1952, 149.

Zwischen Sink- und Kniphammer ist, vermutlich zur Anschauung früherer Transportmethoden und der Ausgangsmaterialien, ein kleiner hölzerner Pferdeschlitten mit Eisenerz befüllt und aufgestellt worden. Er steht quer vor der Wand mit, nach hinten gelegten, Einspannbügeln. Die beiden durchgehenden Kufen sind eisenbeschlagen.

Feuerlöscher

Eine in Schmieden alltägliche Gefahr war ein Brand der hölzernen Gebäudekonstruktion, der *Rote Hahn*. Mit einem kleinen Löschgerät, zwischen Sinkhammer und eben beschriebenen Schlitten, sollte dem vorgebeugt werden. Aus seinem unten liegenden Wasserkasten konnte mit Hilfe einer Handwippe, über die eingebaute Pumpe, Wasser zur Brandstelle gefördert werden.

Handwagen

Auf der Wellenseite des Sinkhammers steht ein flacher, 2 m langer Handwagen. Die vier eisenbeschlagenen Holzspeichenräder sind mit Vorder- und Hinterachse an einem einfach aufgebauten Holzrahmen befestigt. Über eine Deichsel aus Rohr und eine lenkbare Vorderachse konnte der Wagen gesteuert werden.

Arbeitsmaterial

Neben den vielen Zangen und Werkzeugen finden sich diverse Materialreste, die in den letzten Produktionsjahren zur Verarbeitung gedacht waren. Im gesamten Gebäude, an den Wänden und auf den Boden, stehen oder liegen Stangenmaterial und meist aufgekaufter Schrott. So stehen beispielsweise rechts hinter der Eingangstür zehn Eisenbahnradreifen, welche vermutlich zu Schiffsspanten umgeschmiedet werden sollten.

Holzlager

In der Nord-West-Ecke, links neben dem Doppelkammerofen, wo Stein- und Holzwand aufeinander stoßen, wurde eigens zur Brennholzlagerung, ein

⁴⁶ Bezeichnung für einen Lastthebeschlitten, der auf vier Rädern über die Träger läuft

kleiner würfelförmiger Verschlag, mit einer Seitenfläche von etwa 2,5 m, aus einem Holzgerüst mit Wellblechwänden errichtet. Er ist oben, über ein Blech mit dem Glühofen verbunden, so dass eine begehbare Fläche zur Verfügung stand.

Verschlag mit Schalttafel

Auf der rechten Seite des Doppelkammerofens, in der Nord-Ost-Ecke, ist vermutlich mit der Installation des Luftdruckhammers, eine kleine elektrische Schaltanlage entstanden. Im Grunde ist es ein begehbarer Holzverschlag, der an der Vorderseite über zwei Eisenbügel eine kleine Schalttafel mit einer Grundplatte aus weißem Marmor trägt (Abbildung 32). Neben vier Fassungen für Schmelzsicherungen gegen Überströme, befindet sich vermutlich der Hauptschalter für den Luftdruckhammer auf der Tafel. An der linken Seite der Holzkonstruktion ist eine Art Leiter integriert, und auf der Oberseite steht ein radiales Kreiselgebläse mit Riemenwelle mit einer vierfachen Keilriemenscheibe und der Aufschrift: G. SCHIELE & CO. FRANKFURT A/M.



Abbildung 32: Verschlag mit Schalttafel und Kreiselgebläse; links vertikales Rohrstück für die Zuluft des Ofens

4 Zustandsbeschreibung nach visueller Begutachtung

4.4 Zustandsbeschreibung des Großhammers

4.4.1 Das Wasserrad

Der Radkranz

Wird das Wasserrad in seiner Gesamtheit betrachtet, sind es besonders die rostroten gusseisernen Wangen des Radkranzes, die in das Blickfeld rücken. Durch ihre Konstruktion war es möglich, Reparaturen der Wasserfächer einfach und in kurzen Zeiten durchzuführen. Im Zuge letzter Instandsetzungen sind die aus 32 Kiefern Brettern¹ zusammengesteckten Fächer zum größten Teil ausgewechselt worden. Die wenigen originalen Bretter sind durch geringe Festigkeit, Vergrauung und Würfelbruch² der Oberfläche gekennzeichnet.

Die Oberflächen der Wangensegmente, Bolzen und Befestigungswinkel weisen eine langjährige Korrosion auf. Sie sind mit einer hellbraunen Schicht aus Korrosionsprodukten und Verunreinigungen zugesetzt, die von abgesprengten, dunkelbraunen Vertiefungen oder Narben durchbrochen wird. Ein Erscheinungsbild der Muldenkorrosion, welches auf fast allen Eisenoberflächen im Hammergebäude vorzufinden ist.

Die gewalzten, aufgenieteten Winkelanschlüsse für die Kanthölzer haben teilweise erheblich an Substanz eingebüßt.

Die Radkreuzstreben

Die gekreuzten Kanthölzer, die das Traggerüst des Wasserrades bilden, sind aus unbehandeltem Eichenholz³ gefertigt worden. Alle Kanthölzer sind vollkantig und aus dem Kern geschnitten worden, vereinzelt drehwüchsig und mit Trocknungsrisse durchzogen. Die Verbindungen untereinander und zu dem Radkranz, wurden durch Bolzen und unterschiedliche Bleche zusammen-

¹ Siehe Holzartenbestimmung.

² typisches Erscheinungsbild nach Celluloseabbau durch Braunfäule. Vgl. Weiß et al. 2000, 9-11 und Schmidt 1994, 98-106.

gehalten. An ihren Kontaktflächen hat eine Einlagerung der Korrosionsprodukte in die Holzoberfläche stattgefunden. Die Seitenflächen der Eichenhölzer sind zum Teil tief dunkelbraun verfärbt, und die gesamte Oberfläche weist eine feine würfelbruchartige Struktur mit einer geringen Festigkeit auf (Abbildung 33). Diese beiden Merkmale, wie auch die Hohlräume an den Stirnseiten der Kantenhölzer, sind ein deutlicher Hinweis auf eine Destruktion durch Holz zerstörende Pilze.

Ein Großteil der Keile⁴, mit denen das Wasserrad auf der Welle fixiert worden ist, zeigt neben einer Verbräunung auch einen fortgeschrittenen Abbau bis zur Zerfaserung. Vereinzelt sind sie in Spalten mit weißem, wattigem Pilzmycel bewachsen.



Abbildung 33: Hintere Wasserradwange mit Schussbrett

Das Schussbrett

Das Schussbrett über dem Wasserrad ist bis auf den originalen Rahmen mit neuen Kiefern Brettern versehen worden. Der Rahmen ist in einem ähnlichen Zustand wie die alten Fächerbretter.

³ Siehe Holzartenbestimmung.

⁴ Keile wurden aus Birke gefertigt, ASLACKSEN, frdl. mündl. Mittlg. 2001.

4.4.2 Die Radwelle

Die Wellenbalken

Die Welle ist mit zwei ihren vier Seitenflächen parallel zum Boden ausgerichtet. Unter dem Nockenring, unter dem hinteren Stirnende und kurz vor dem Wasserrad wurden 1997 imprägnierte Kanthölzer als Stützen für die Welle gestellt⁵. Anlass dieser provisorischen Lösung waren starke Verformungen der Welle.⁶ Die Welle wurde vermutlich nach 1948 montiert⁷.

Auf Grund ihres zusammengesetzten Aufbaus, befindet sich einer von neun quadratischen Kiefernbalcken in der Mitte und ist für den Blick nicht zugänglich. Von den anderen acht Balken können jeweils zwei Seiten der vier Eckbalken und lediglich eine Seite der dazwischen liegenden Balken visuell beurteilt werden. Die vier Eckbalken wurden an den äußeren Kanten stark abgerundet oder waren bereits baumkantig. Bei allen Balken liegt der Kern halbwegs im Zentrum. Die glatten, vergrauten Außenseiten sind großflächig dunkel verfärbt und tragen Spuren eines Befalls durch Holz zerstörende Pilze und vereinzelt Fluglöcher. Eine Klassifizierung nach den Sortiermerkmalen der DIN 4074, bezogen auf den angenommenen, gesunden Einbauzustand, würde für die Eckbalken die Sortierklasse S7 und für die vier Mittelbalken S10 ergeben.⁸

⁵ TORE FJELDSKÅR, frdl. mündl. Mittlg. 2002.

⁶ Die Stellung der Welle ist ein relevanter Aspekt für das Erscheinungsbild der Anlage. Historische Abbildungen dieser und auch anderer Hammerwerke belegen, dass im Stillstand die Wellenachse mit einem Winkel von etwa 45° gedreht war. Dabei wurde ein Nocken, vermutlich infolge des restlichen Wassers in den Fächern des Wasserrades, gegen den Hammerstiel gedrückt.

⁷ THUESEN 1948.

⁸ Als visuelle Sortiermerkmale für die Klassen S7, S10 und S13 (Kantholz) nach DIN 4074-1 gelten: Baumkante, Ästigkeit, Jahrringbreite, Faserneigung, Risse, Druckholz, Insektenfraß, Mistelbefall und Krümmung.



Abbildung 34: Fruchtkörper eines Holz zerstörenden Pilzes in einer Balkenfuge



Abbildung 35: Fruchtkörper eines Holz zerstörenden Pilzes zwischen den Balken

Das Hirnholz an den Enden der Wellenbalken ist durch die jahrelange Schmierung der Lager mit Talg und sonstigen Ablagerungen zugesetzt. Die ringgefassten Enden der Welle sind durch Fäulnis bereits erheblich geschwächt und Verformungen nahe der Bruchgrenze, am hinteren Lager, unterstreichen dieses

(Abbildung 36). Beide Lagerzapfen wurden vermutlich während der Fundamenterneuerung mit neuen Keilen im Hirnholz festgespannt. Ausbruch- und Druckstellen an der Unterkante der Wellensüdseite deuten auf ein zurückliegendes Versagen der Tragfähigkeit der Lager hin. Aufgrund der beschädigten Dachabdeckung über dem Wasserrad setzt infolge der Niederschläge periodisch eine starke Befeuchtung am hinteren Lager und vor dem Wasserrad ein.



Abbildung 36: Hinteres Wellenlager mit deutlicher Verformung

Der Nockenring

Der achteckige gusseiserne Nockenring ist wie alle Eisenobjekte durch Muldenkorrosion stark korrodiert und mit hellbraunen Auflagerungen bedeckt. Auf der Stirnseite der Welle ist die Oberfläche des Nockenrings mit den Schmierstoffen des Lagers zugesetzt. Da die Frösche⁹ einem starken Verschleiß unterlagen und fortwährend erneuert werden mussten, werden die derzeit montierten Hölzer jene der letzten Arbeitswochen sein. Sie sind bis auf Druck- und Schmierstoffspuren in einem guten Zustand.

⁹ Nockenhölzer aus Birkenholz, siehe Holzartenbestimmung.

Eisenbänder

Bis auf die fünf Ringe an den Enden der Welle sind die Eisenringe aus zwei Hälften zusammengeschaubt, entweder diagonal auf den Ecken oder auf der Seitenmitte. Die Verbindungen auf den Ecken bestehen aus zwei aufgeschweißten Hülsen, in denen der Schraubenbolzen liegt. Die Verbindungen auf der Seitenmitte sind durch einfaches Abwinkeln des Flacheisens hergestellt und ebenfalls mit einer Schraube zusammengezogen. Die Eisenbänder sind stärker als der gusseiserne Nockenring korrodiert.

Lager

Beide Lagerzapfen und Lagerschalen sind betriebsbedingt verschlissen und stark mit Schmierstoffen zugesetzt, so dass das Ausmaß der Korrosion sich in Grenzen hält. Der Kasten für die Aufnahme der vorderen Lagerschale und der darunter stehende Stützkasten sind an mehreren Stellen ausgebrochen. Gleichmäßig verteilte Fehlstellen auf der Rückseite sind durch das Gegen-schlagen des Nockenrings während der Rotation der Welle entstanden. Weggebrochene Führungszapfen des Stützkastens wurden schon zu Betriebszeiten durch Rundeisen ersetzt.

4.4.3 Bär, Amboss, Helm und Prellholz

Bär (Hammerkopf)

Sowohl Bär, als auch Amboss und Helm stehen in ihrer Position gegen Süden verdreht. Der Bär ist, bedingt durch die Gusstechnik, nach hinten leicht konisch. Sein Zustand macht einen relativ guten Eindruck. Die Korrosion der Oberfläche ist zwar dem Nockenrad ähnlich, aber der Guss ist von einer höheren Qualität, mit scharfen Kanten und glatten Flächen.

Aussagen O. ASLAKSEN zufolge, kam es mehrfach vor, dass die Hammerköpfe von der Gesenknut bis zum Auge aufgebrochen wurden. Deshalb hat man begonnen, Stahlbewehrung mit in die Gussform hineinzulegen und einzugießen.

Für die Demontage des Bären war im Dach ein, heute in der Nähe der Drumstütze-Ost befindliches, Hebezeug angebracht.

Amboss

Der Amboss ist mit einem Eisenring und Eisenhaken auf einem unterirdisch, vertikal stehenden Kiefernfundament gesichert. Auch der Amboss ist durch den Guss konisch geformt. Die Gesenkaufnahme, in der Mitte, ist im Laufe des öfteren Wechsels und Verkeilens der Gesenke, an den Ecken großflächig abgeplatzt. Die Oberflächen sind stark korrodiert. Historische Aufnahmen zeigen die Verwendung einer Platte auf dem Amboss.

Helm (Stiel)

Der Hammerhelm ist aus einem Birkenstamm gefertigt und grob abgebeilt. Um das Bärauge aufnehmen zu können, musste der Querschnitt rechteckig abgearbeitet werden. Auf dem vorderen Hirnholz ist das Datum 9/4 1951 eingearbeitet und steht für den Zeitpunkt des letzten Helmwechsels (Abbildung 37). Auf der, der Welle zu gewandten Seite, ist der Helm von einem 2 cm breiten Riss über fast die gesamte Wellenseite durchzogen. Die Risstiefe reicht stellenweise bis zum Mark.



Abbildung 37: Datierung im vorderen Hirnholz des Helms



Abbildung 38: Hülse und Lagerung des Helms

Der Bär wurde mit Birken- und Stahlkeilen festgekeilt. Das aus dem Bärange herausragende Ende des Helms ist neben einer Bohrung mit einem geschweißten Eisenring und zur Verkeilung mit einem Querdurchbruch versehen. Das hinter dem Bären und einem zweiten Ring angebrachte breite Anschlagblech ist aus Blechen, Bolzen und Flacheisen zusammengeschweißt und mit zwei Schrauben auf dem Stamm festgespannt worden.

Die Hülse wurde ebenfalls durch Birken- und Stahlkeile auf dem Stielende verkeilt (Abbildung 38). Sie ist unter einem Hammer zu einem Ring geschweißt worden, wobei die Schweißverbindung und die gegenüberliegende Seite zu halbrunden Lagerkugeln geschmiedet wurden. Die Oberfläche ist muldenförmig korrodiert. Das Hirnholz am Lager weist in der Mitte eine lokal begrenzte Grünfärbung auf. Ein Merkmal, das vermutlich einem Befall durch den Kleinsporigen Grünspanbecherling (Grünfäule, *Chlorociboria aeruginascens*)¹⁰ entspricht.

¹⁰ Der Kleinsporige Grünspanbecherling ist ein Vertreter der Holz verfärbenden Pilze. Er lebt von den Nährstoffen, die in den Zellen des Holzes eingelagert sind und verfärbt feucht lagerndes Laubholz grün bis blaugrün. Gelbe und grüne Farbstoffe werden besonders in den Holzparenchymzellen eingelagert und

Vor der Hülse auf der Kranseite ist der Stamm begrenzt durch Braunfäule befallen und zeigt vereinzelte 3 mm Fluglöcher.

Das Prellholz

Das Prellholz war wie der Helm ein hoch belastetes Hammerelement. Die nordischen Birken verfügen über die erforderliche Elastizität, so dass sie auch für das Prellholz genutzt wurden. Der verwendete Birkenstamm hat einen leichten Bogen, der abgebeilt und am hinteren Ende zu einem Rechteckformat geschnitten wurde, mit dem er eingespannt ist. Der Stamm ist über die gesamte Länge hohlklingend. Die Vermutung eines Abbaus durch Holz zerstörende Organismen bestätigt sich durch zahlreiche 3 mm Fluglöcher mit teilweise frischem Bohrmehl. Die Gebiete mit einem besonderen Aufkommen der Fluglöcher sind vor und hinter der Zange und auch hinter der BÜchse.

Die Kanthölzer, die über und unter dem Prellholz für dessen Befestigung in der BÜchse und der Drumstütze nötig sind, wurden ebenso befallen.



Abbildung 39: Prellholz mit ca. 3 mm Fluglöchern und frischem Bohrmehl

sind sehr stabil. Befallenes Holz der Pappel, welches vor 500 Jahren zu Intarsien verarbeitet wurde, verfügt noch immer über einen dekorativen Eindruck.(SCHMIDT 1994 , 93)

4.4.4 Das Hammergerüst

4.4.4.1 Die Drumstütze-West

Die Balken

Auf den Zeichnungen und Fotografien THUESENS von 1948 sind Details erkennbar, die an der heute vorhandenen Stütze fehlen. Die Stütze ist nach aller Wahrscheinlichkeit später erneuert worden.

Alle vier Balken sind allseitig durchlaufend von Kreissägespuren gezeichnet. Die Ecken sind baumkantig verblieben. Die Oberflächen sind, bis auf den unteren Teil, hell und glatt. Die Stütze, die etwa 1,5 m tief in das Hammerfundament reicht, ist ab 30 cm über dem Boden in Richtung Fundament, in ihrem Querschnitt erheblich reduziert. Unterhalb der Fundamentholzlage konnte sich ein Fruchtkörper entwickeln (Abbildung 40). Lediglich das dunkel verfärbte Kernholz ist noch vorhanden.



Abbildung 40: Fruchtkörper eines Holz zerstörenden Pilzes im Fußbereich der Drumstütze-West

Über dieser Fehlstelle hat sich das noch vorhandene Splintholz dunkel gefärbt und weist gleichmäßig verteilte Fluglöcher auf. Da die Stütze am Kopf nur durch zwei dünne Bretter gesichert ist, stellt sich hier die Frage der Stand-sicherheit.

Das Prellholzlager

Das heute aus zwei stark korrodierten, schweren Gusseisenelementen zusammengesetzte Prellholzlager diente zur festen Verankerung des Prellholzes gegen die enormen Kräfte des aufgeworfenen Hammers. Ein Element ist durch einen Durchbruch der Drumstütze gesteckt und mit dem anderen, dagege-netzten Element verschraubt.

Die Eisenbänder

Alle vier Eisenbänder sind ohne Spannung und in ihrer Lage verändert. Bis auf den obersten bestehen sie aus zwei Teilen. Jeweils an den diagonalen Ecken sind die Enden abgewinkelt und verschraubt. Die Bänder sind stark korrodiert.

4.4.4.2 Die Drumstütze-Ost

Der Balken

Die Drumstütze-Ost ist aus einem Fichtenstamm gefertigt worden. Der Stamm ist auf drei Seiten rechteckig geschnitten und auf einer Seite, Richtung Norden, mit dem Radius der Baumkante belassen. Er ist nach oben leicht konisch. Die Oberflächen sind natürlich vergraut und von geraden Säge- und Beilspuren gezeichnet. Einige Strukturen erinnern auch an rotierende Werkzeuge, wie die einer Abrichte. Das Alter ist nicht bekannt.

Das vordergründige Problem dieser Stütze ist die heute fehlende Einspannung im Boden (Abbildung 41). Der Fußbereich ist vollständig abgebaut. Ab Bodenniveau gibt es keine zusammenhängende Substanz mehr. Der offensichtlich durch Fäulepilze zersetzte Stammfuß erfüllt keine stützende Funktion mehr. Er versinkt allmählich. Um eine seitliche Arretierung zu schaffen, wur-

den drei Latten zwischen Stütze und Gebäude mit Nägeln angebracht (Abbildung 42).



Abbildung 41: Abgebauter Fußbereich der Drumstütze-Ost

Oben an der Rückseite befindet sich alter, abgetrockneter Pilzschaden. In etwa gleicher Höhe ist oberhalb des Schlitzes eine Vertiefung für die Außenabstützung eingestemmt.

Die gesamte Stütze ist mit Trocknungsrissen durchzogen. Zwei scheinen den Stamm in einer Ebene fast zu spalten. Der Riss auf der Rückseite misst etwa 2 cm und der auf der Vorderseite 1 cm. Der Stamm ist mit diversen Nägeln und mit einem kleinen Klotz unten an Nordseite versehen. Die Vorderseite ist durch eine Scheuerstelle vom Lufthammer gezeichnet, die vermutlich durch ein Standversagen zur Zeit des Gebäudeeinbruchs verursacht wurde. Darunter hat sich ein öliger Fleck ausgebreitet.

Der Holzkeil



Abbildung 42: Rückseite der Drumstütze-Ost mit Abstützung

Der Holzkeil ist kein typischer Keil, sondern ein gerader geschnittener Quader ohne Befund. Er ist mit den Latten für die Stütze festgenagelt worden.

Die Eisenbänder

Die zwei Eisenbänder sind ähnlich den anderen oberflächlich korrodiert, aber fest.

4.4.4.3 Der Drumquerbalken

1992 wurde der Westteil des Querbalkens durch TORE FJELDSKÅR erneuert, der infolge eines Dachlecks durch Pilze befallen war und gebrochen ist.¹¹ Der neue Kiefernstamm musste in Handarbeit längs zugeschnitten werden, da kein Sägewerk in der Umgebung die Dimension aufnehmen konnte. Er wurde durch ein Grades Hakenblatt mit Steckfalz und Keilen mit dem alten Fichtenstamm verbunden. Anschließend kam eine schwarze Holzlasur¹² zum Einsatz,

¹¹ Frdl. mündl. Mtlg. von TORE FJELDSKÅR.

¹² Als Lasur wurde das Produkt Trebitt Oljebeis (Ölbasis) der Firma JOTUN, Inhalt: WhiteSpirit, Minerals terpentin (17-22 %), aromater (30-60 %).

um die helle neue Oberfläche dem vergrauten alten Querbalken farblich anzupassen. An der Unterseite des neuen Querbalkens hat sich eine weiße Substanz abgelagert. Beide Seiten sind über die gesamte Länge von einem 1 cm Trocknungsrisse durchzogen.

Der alte Stamm ist drehwüchsig und zeigt zahlreiche feine Risse. In Handarbeit wurden die Flanken gesägt und mit dem Beil überarbeitet. Etwa auf seiner Hälfte ist an der Unterseite ein begrenzter, aber abgetrockneter Fäuleschaden zu erkennen. Das Hirnholz am Zapfen zeigt ebenfalls einen bereits abgetrockneten Pilzschaden.

4.4.4.4 Zange und BüchSENSäule



Abbildung 43: Zange mit Lunkern

Die Zange

Die zwei gusseisernen, stark korrodierten Schenkel lassen anhand der zahlreichen großen Lunker in der Mitte der Außenseiten vermuten, dass der Herstellungszeitpunkt in die Anfangsphase des Werks zurückführt (Abbildung 43). Die oberen Enden sind wie abgebrochen. Am Lager und darunter hat sich das Fett der damals erforderlichen Lagerschmierung abgelagert.

Historische Abbildungen zeigen, dass der gusseiserne Fußkasten

mit dem Originalfundament durch Eisenbänder verbunden war.

Der Scheer (Bolzen) ist, seinen Materialeigenschaften nach, aus der Zeit der Fundamenterneuerung. Er ist wie die Fundamenthölzer aus einem Kreosot imprägnierten Leitungsmast gefertigt. Seine Flanken wurden zunächst quer eingesägt und darauf längsgesägt und abgebeilt.

Die Büchsensäule

Am Fuß der Büchsensäule haften vermutlich seit ihrer Herstellung geschichtete Auflagerungen vorwiegend aus einem Formsand-Eisengemisch. Die Oberfläche ist stark korrodiert.

4.4.4.5 Das Hammerfundament



Abbildung 44: Fundamenterneuerung des Kniphammers

Das Fundament musste 1989 erneuert werden, da das Originale, aus geschichteten Balken bestehende Fundament verrottet war und die Hammerkonstruktion versank. Das verrottete Holz wurde vollständig entfernt und durch Splitt ersetzt (Abbildung 44). Nur die oberste Lage und eine zum Wasserrad als Begren-

zungswand für den Splitt, aus Steinkohlenteeröl-imprägnierten 22 cm starken Oberleitungsmasten, imitieren heute das Hammerfundament. Die untersten Hölzer liegen im Wasser des Abflussgrabens.

Während dieser Arbeiten mussten einige Hammerelemente vorübergehend demontiert werden. Kleinere Reparaturen, wie die Verkeilung der Lagerzapfen der Radwellen und Ergänzungen, wurden ebenfalls durchgeführt.

Die ursprüngliche Funktion der Hammerfundamente ist nicht mehr vorhanden.

Das Fundament unter dem Amboss ist durch seine vollständig unterirdische Lage noch original erhalten: Senkrecht stehende Kiefernhälzer sind mit vertikal angebrachten Eisenringen gefasst.

4.4.5 Knip- und Sinkhammer

Kniphammer

Ähnlich dem Storhammer ist auch der Kniphammer in seinem Bestand in hohem Maße gefährdet. Da die Wasserradeinhausung die gleichen Schwachstellen in der Dachabdichtung aufweist wie die des Storhammers, ist die Welle ständiger Nässe ausgesetzt. Die unter diesen Bedingungen durch Pilzbefall abgebauten Wellenbalken haben ein Versagen der Tragfähigkeit am hinteren Wellenlager bewirkt. Das Wasserrad steht auf dem feuchten Grund des Abflussgrabens (Abbildung 45).

Der Hammerhelm ist, wie die Markierung auf dem Hirnholz angibt, zusammen mit dem Helm des Storhammers 1951 ausgewechselt worden. Er ist vermutlich durch einen Simultanbefall von Anobien und Braunfäule so weit abgebaut, dass zwischen Bär und Helmlagerung lediglich eine dünne Hülle übrig geblieben ist. Bei einem Bärgewicht von 250 kg steht ein Bruch des Stamms bevor.

Ein Holz zerstörender Käfer und eine Larve wurden lebend in dem zerstörten Stamminneren vorgefunden.



Abbildung 45: Abgebaute und gebrochene Welle des Kniphammers

Sinkhammer

Der Zustand des Sinkhammers ist in etwa identisch mit dem des Storhammers. Beide Drumstützen sind im Bodenbereich durch Fäulepilze deutlich reduziert. Eine erneuerte Strebe der Drumstütze-Ost, die das Hammergestell an der außen liegende Felswand abstützt, wurde durch das Absinken der Drumstütze aus der Felswandlagerung um 20 cm angehoben beziehungsweise gehobelt. Der Drumquerbalken, der noch aus einem Stück besteht, ist in der Mitte infolge früheren Wasserzutritts durch Braunfäule abgebaut worden (Abbildung 46). Um ein Nachgeben unter seiner Eigenlast zu verhindern, ist eine Unterstützung erforderlich.

Auch der Bestand der Radwelle ist vergleichbar stark gefährdet. Die vor-

handenen Fruchtkörper sind eher dem Zaunblättling zuzuordnen¹³.

Der Hammerhelm trägt wie die beiden anderen das Datum 1951. Zu den späteren Erneuerungen gehören der Scheer und das Prellholz. Für beide wurden Kreosot imprägnierte Leitungsmasten verwendet.

Unter der Splittauffüllung des ehemaligen Hammerfundamentes konnte eine Quelle als eine Ursache des Wasserstaus im Abflussgraben gefunden werden.



Abbildung 46: Starke Zerstörung des Querbalkens über dem Hammerkopf durch Braunfäule

¹³ Eine Bestimmung ist bisher nicht durchgeführt worden.

4.4.6 Zusammenfassung und Diskussion weiterer Untersuchungen

Allen drei Hämmern gemein ist ihr gefährdeter Bestand, welcher am Beispiel des Großhammers dargestellt werden soll.

Feuchte Oberflächen, vorhandene Fruchtkörper, Fluglöcher und abgebauten Material lassen vermuten, dass die hölzernen Bauteile des Hammers zum Teil erheblich geschwächt sind. Da der Abbau durch Holz zerstörende Pilze und Insekten überwiegend im Kern beziehungsweise unter der Oberfläche stattfindet, ist eine Beurteilung des tatsächlichen Schadens durch eine visuelle Begutachtung nicht möglich. Um das Ausmaß und die Art der Destruktion bestimmen zu können, ist es notwendig, zunächst die vorherrschenden Bedingungen in Bezug auf die Lebensbedingungen Holz zerstörender Organismen zu erfassen und einzuschätzen. Da die Lebensbedingungen entscheidend durch die Holzfeuchte bestimmt werden, soll die Messung der Holzfeuchte der einzelnen Hammer-elemente erste wichtige Anhaltspunkte liefern.

Die für die Standsicherheit der Konstruktion notwendigen Kriterien wie das Elastizitätsmodul oder der Restquerschnitt, können nur durch einen Belastungstest oder mit einer Methode bestimmt werden, die die Holzstruktur über den gesamten Querschnitt erfasst. Die möglichen Diagnosemethoden werden im folgenden Kapitel aufgeführt und für die weiteren Untersuchungen ausgewählt.

Die Bestimmung der vorhandenen Pilzarten, der möglicherweise im Holz eingelagerten Stoffe, der aktiven Schadinsekten und der verbauten Holzarten ist ebenso Gegenstand der weiteren Untersuchungen, die zur Formulierung des derzeitigen Zustandes und der erhaltenden Maßnahmen erforderlich sind.

4.5 Zustandsbeschreibung des Hammergebäudes

4.5.1 Das Klima

Das Gebäude ist, wie in Abschnitt 2 beschrieben, ein einfacher Holzbau als Schutz gegen Witterungseinflüsse und in dieser Form in Norwegen überall anzutreffen. Wie im Hochofengebäude und im Tiegelstahlwerk, besteht der Boden der Hammerschmiede nur aus Erdreich, angereichert mit den Materialresten aus der Zeit des Betriebs (Abs.: 4.5.5). Die fehlenden Betriebstemperaturen erforderten bei der Neuerrichtung 1969 einige Veränderungen der Konstruktion, die den *neuen* Bedingungen angemessen sind. Neben einer stärkeren Ausführung des Dachstuhls wurde das ehemals für Rauch und Gase offene Dach (Abbildung 47) mit einer geschlossenen Dachschalung versehen.



Abbildung 47: Hammergebäude 1950iger Jahre, Rauch kann durch das Dach entweichen, Foto: Technik Museum Norwegen.

Auch der, auf das Innenklima negative Einfluss des feuchten Erdbodens wurde berücksichtigt: von den ehemals sieben verglasten Fenstern der Ostseite sind fünf als offene Lamellenfenster ausgeführt und bei den Wasserradeinhau-

sungen wurde mit einigen Millimetern Abstand zwischen den Wandbrettern eine Durchlüftung geschaffen (Abbildung 48).



Abbildung 48: Hinteres Wellenlager und strömungsoffene Schalung der Wasserradeinhausung

4.5.2 Das Dach

Das Hauptdach

Die 1969 zum Wiederaufbau des Gebäudes verwendetet und auf dem Dach verlegten Dachziegel sind, bis auf vereinzelte kleine abgeplatzte Ecken, intakt. Die Dachschalung zeigt von innen jedoch Spuren früherer Befeuchtung.

Eine ungünstige Lösung ist der Ablauf des Regenwassers. Das auf der Ostseite in der Rinne gesammelte Niederschlagswasser wird über zwei Fallrohre dicht am Gebäude in das Erdreich geleitet, wo es unter dem Hausfundament hindurch in den Boden des Gebäudes gelangt und in Richtung Storelva sickert. Des Weiteren ist die Dachrinne nur bis zur Steinwand verlegt worden, so dass das Regenwasser in die Steinwand laufen kann (Abbildung 49).

Auf der Seite der Wasserrinne ist eine Holzrinne montiert, deren Bitumenabdichtung auf der gesamten Länge durch Fehlstellen und Risse beschädigt ist.



Abbildung 49: Gebäudeostseite mit Dachrinne und kurzem Fallrohren

Dachgauben

Die als Deckel- und gefugte Schalung gearbeiteten Senkrechten der Gauben wurden wie das Gebäude rotbraun beschichtet. Die Witterung hat hier einen großflächigen Verlust der Beschichtung bewirkt, und das Holz zeigt erste kleine Fäuleschäden. Die Gauben über Stor- und Sinkhammer sind mit Dachrinne und Abfluss versehen. Bei der Gaube über dem Kniphammer fehlen diese. Zudem fehlt dort ein Teil der unteren Abdeckleiste. Die Abflussrohre der Rinnen der anderen Gauben stoßen stumpf auf die Bitumenpappe der Wasserradeinhausungen und verstopfen auf diese Weise.

Die Schützensgestänge befinden sich in ihrer originalen Position und sind dadurch ungeschützt und weitreichend abgebaut.

Die Wasserradeinhausungen

Das größte Problem der Wasserradeinhausungen zeigt sich deutlich während der Niederschläge: Alle drei Hammerwellen samt Wasserräder werden durch eintretendes Wasser durchfeuchtet. Die Dachabdichtungen der gesamten Wasserradeinhausungen sind mit einfachen Bitumenbahnen ausgeführt worden und sind heute versprödet und gerissen. Durch die ungünstige Konstruktion von Rinne und Überdachung sind Schwachstellen der Isolierung an 23 (18 u. 5) Pfosten der Rinne entstanden. Die durch die Dachschalung geführten Pfosten wurden ehemals mit Bitumenpappe abgedichtet, was sich später wieder ablöste, so dass Regenwasser direkt an den Pfosten in das Gebäude und auf die Hammerwellen fließt.

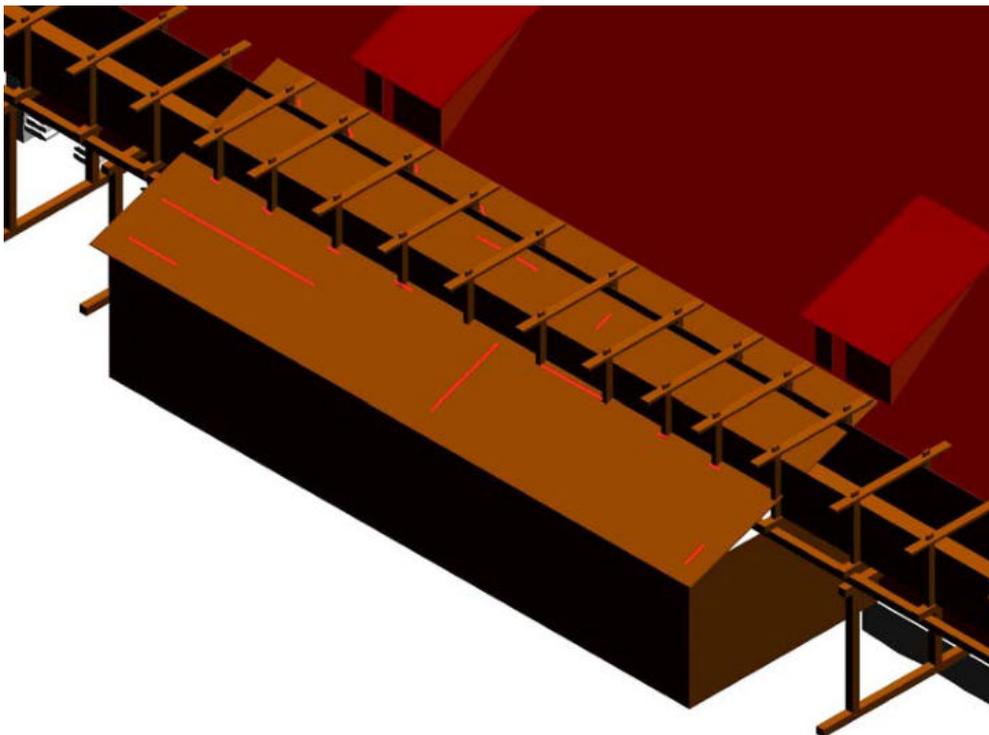


Abbildung 50: Defekte Bereiche der Wasserradeinhausung des Stor- und Sinkhammers

Im Winter muss der Schnee von der Rinne entfernt werden, da er aufgrund der Dach-/Rinnenkonstruktion aufgestaut wird und der Druck auf das Dach zu groß werden würde.

Die Wandflächen der Einhausungen sind aus nicht imprägniertem Bauholz hergestellt und nur von außen mit einer dunkelbraunen Holzschutzlasur versehen worden. Zwischen den Schalungsbrettern sind mehrere Millimeter Abstand um einen Luftdurchtritt zu ermöglichen. In der Nordseite der Einhausung des Storhammers wurde versteckt eine unverschlossene Tür eingearbeitet. Die vorhandene Alarmanlage wird diesbezüglich in Frage stellt.

Die zwischen den Wasserrädern des Stor- und Sinkhammers lagernden alten Balken sind durch fortgeschrittenen Pilzbefall abgebaut.

4.5.3 Holzkonstruktion

Die neue und alte Holzkonstruktion (Kiefer und Fichte) ist ohne sichtbare Beeinträchtigung. Lediglich die restlichen Stützbalken aus dem zerstörten Gebäude sind infolge früherer Fäulnis am Fuß geschädigt.

Bis auf die imprägnierte Schwelle, ist die Holzkonstruktion des Hammergebäudes nicht chemisch behandelt worden.

4.5.4 Steinwand

Die Steinwand an der Nordseite ist scheinbar ohne Schutz gegen Schicht- und Sickerwasser des außen angrenzenden Geländes. Das Wasser dringt außer durch die Wand auch über die beiden Lamellenfenster ein. Die Lamellenfenster liegen unterhalb des Geländes, so dass bei Niederschlag und Schneefall, Wasser wie durch einen Abfluss eintritt. Große Mengen an Laub und anderen Verunreinigungen kommen ebenfalls durch die Fenster in das Gebäude (Abbildung 51).

Durch die stets feuchte Wand ist die Luftfeuchte in unmittelbarer Umgebung nahe dem Sättigungspunkt, was bereits zu schweren Schäden an der Rückseite des Doppelkammerofens führte.



Abbildung 51: Nordseite des Gebäudes, rechts Lamellenfenster als Wasserabfluss und links fehlende Rinne

4.5.5 Fundamente und Boden

Die Fundamente

Die Fundamente sind überwiegend aus Beton. Auf der Flussseite wurden ab dem Sinkhammer gestapelte Steine verwendet. Die Fundamenttiefe ist etwa einen halben Meter unter dem Bodenniveau gemessen worden. Die unterirdischen Fundamentbereiche sind aus geschichteten Steinen ohne Bindemittel. An der Drumstütze-Ost des Sinkhammers ist ein 30 cm nach innen reichender Betonabsatz angegossen worden. Die Fundamente sind, bis auf eine aufgelegte Sperrschicht aus nackten Bitumenbahnen, nicht isoliert.

Der Boden

Der Boden des Hammergebäudes ist ein feuchter, tiefdunkler Boden aus Erdreich und Produktionsabfällen.

Um die Objekte vor der Bodenfeuchtigkeit zu schützen, sind einige auf Brettunterlagen zusammengetragen worden. Ein großer Teil ist noch immer in direktem Kontakt mit dem Erdreich. Der hohe Feuchtegehalt des Bodens zeigt sich bei Minusgraden als kleine Eiskristalle auf der Bodenoberfläche.

Vereinzelt auftretendes feines weißes Oberflächenmycel wird von Herrn FJELDSKÅR mit dem Fungizid BORACOL¹⁴ behandelt (Abbildung 52).

Historische Unterlagen früherer Einrichtungen wie beispielsweise unterschiedliche Glühöfen, weisen darauf hin, dass noch zahlreiche Reste und Fundamente unterirdisch verborgen sind.



Abbildung 52: Pilzmycel auf dem Boden

¹⁴ Borverbindung auf Wasserbasis.

4.5.6 Die Wasserführung

Der Flutergraben

Wie in Abschnitt 3.3.3 kurz angedeutet wurde, sind Flutergraben und die Einhausungen rekonstruiert. Für den Aufbau des Flutergrabens kamen vermutlich mit Kupfersalzen imprägnierte Kiefernholzer zur Verarbeitung, die nach der Montage mit einer dunkelbraunen Lasur zusätzlich geschützt und im Farbton dem Original angepasst werden sollten. Die Unterseite der Rinnenbretter ist nicht beschichtet und an den Stoßkanten sind weiße Ausblühungen an die Oberfläche getreten.

Das Gestell des Flutergrabens steht auf Steinsockeln und darunter auf den Steinwänden des Abflussgrabens. Neben den Steinsockeln wurde auch Originalmaterial als Unterlage verarbeitet. Auf die baulichen Mängel der Dachkonstruktion und –abdichtung ist oben bereits eingegangen worden (



Abbildung 53).

Die Zapfenverbindungen zwischen dem Zugsbrett und den Pfosten sind dem Original nachempfunden, schaffen aber mit nach oben geöffneten Fugen

Verunreinigungen und stehendes Wasser auf den Hirnholzflächen.

Abbildung 53: Mangelhafte Abdichtung der Pfosten,
Wasser läuft direkt in die Einhausung

Über dem Kniphammer sind zum Gebäude hin keine Pfosten angebracht. Die Zugbretter liegen nur auf einem Brett, das längs zur Rinne auf kleinen Stützen montiert ist. Die Stützen selbst stehen mit untergelegten Brettern auf der Bitumenbahn der Dachschräge.



Abbildung 54: Folge der undichten Dachabdichtung

Abflussgraben

In dem aus Felssteinen errichteten Abflussgraben lagern Ziegelbruch und anderer Schutt aus der Zeit des Gebäudezusammenbruchs. Der sich über die ganze Gebäudelänge erstreckende Graben ist zwischen den Einhausungen besonders hoch aufgefüllt.

Geröll und Schutt sind auch dafür verantwortlich, dass anfallendes Wasser in den Gräben nicht ablaufen kann, wie es unter den Wasserrädern des Stor- und Sinkhammers eingetreten ist. Durch den Einsatz einer Tauchpumpe¹⁵ konnte der Graben unter dem Stor- und Sinkhammer entleert werden. Auf diese

¹⁵ Freundlicherweise durch die Gemeinde Tvedestrands zur Verfügung gestellt.

Weise war es möglich, die Ursachen des steten Wasserstandes zu lokalisieren: Eine Quelle mit einem Volumenstrom von fast 200 Liter pro Stunde¹⁶ tritt aus dem Fundament des Sinkhammers aus, wird jedoch an ihrem weiteren Abfluss durch die zugeschütteten Grabenöffnungen gehindert. Nachdem die Grabenöffnung teilweise ausgeräumt worden war, konnte das Wasser abfließen. Da das vollständige Freilegen ohne schwere Technik nicht möglich war, verursacht das nachfließende Wasser weiterhin einen, wenn auch nur geringen, Wasserstand.

Der Graben unter dem Kniphammer ist ebenfalls sehr feucht und mit Schuttmassen aufgefüllt. Nach dem Bruch der Welle des Kniphammer steht das Wasserrad auf dem feuchten Grund.



Abbildung 55: Stehendes Wasser im Abflussgraben

¹⁶ Gemessen durch die Studenten der Umweltverfahrenstechnik der FHTW-Berlin.

4.5.7 Die Einrichtung

4.5.7.1 Die Öfen

Kleiner Ofen

Der kleine Glühofen befindet sich in einem ruinösen Zustand. Er scheint in sich zusammenfallen zu wollen. Die Ofentür ist demontiert und liegt, wie diverse Kleinteile und lose Steine, auf dem Ofen. Die Außenwandsteine sind ohne Zusammenhalt und werden nur noch von den korrodierten Eisenrahmen zusammengehalten. Der obere Bereich vor dem Schornstein scheint durch den Dacheinsturz, 1966, beschädigt worden zu sein. Der Schornstein selbst reicht nur noch bis unter das Dach und wird durch unterschiedliche Steinsorten in zwei Hälften geteilt.

Die rechte Seite des Ofens ist vermutlich gekürzt worden.

Doppelkammerofen

Der an der Nordwand installierte große Doppelkammerofen ist durch das über die Steinwand eindringende Wasser in seiner Substanz stark angegriffen. Die gesamte Konstruktion befindet sich in einem Zustand des Zerfalls. Die Blechverkleidung der Rückwand ist zerstört und die des Vergasungsschachts an der linken Ofenseite nur noch in Fragmenten erhalten. Die gesamte Stahlrahmenkonstruktion, die die Ausfachung zusammenhält, ist durch Korrosion geschwächt.

Auch die ausgemauerten Ofenwände haben ein fortgeschrittenes Zerfallstadium bis zur Pulverisierung erreicht (Abbildung 56).

Unsicher ist die Halterung der beiden schweren Ofentüren. Die rechte Tür hängt nicht mehr an den Ketten, sondern steht frei auf ihrer unteren schmalen Kante, die Gegengewichte stehen auf dem Ofen.

Der Schornstein ist nicht mehr vorhanden.



Abbildung 56: Zerfall der Seitenwand des Doppelkammerofens und feuchte Steinwand

Schmiedeherd

Die Fugen zwischen den Schlackesteinen sind gebrochen und leicht verschoben. Die verarbeiteten Schamottesteine sind größtenteils ohne Zusammenhalt. Auf dem Herd liegen neben verschiedenen eisernen Kleinteilen noch die Schlacke- und Kohlereste des letzten Feuers.

4.5.7.2 Der elektrische Luftdruckhammer

Die unbeschichteten Oberflächen, wie Schrauben und Gestänge, weisen dichte Korrosionsschichten auf. Die gesamte Beschichtung zeigt typische Arbeitsspuren: Verschmutzung, Fettspuren, abgelöste Partien und Unterwanderung von Korrosion. Um den Arbeitsbereich hat sich ein Gemisch aus Schmiermittelresten und Korrosion ausgebreitet. Im Fußbereich um den Amboss herum ist während des Betriebs die Beschichtung großflächig abgeplatzt und die dadurch ungeschützten Oberflächen korrodiert.

Aus den Motorlagern ist während des Betriebs Schmiermittel ausgetreten und über den Sockel, das Stützrohr des Motors und des Elektrokastens verteilt worden. Das Kabel für die Stromversorgung hängt über einem Brett oben am Motor. Der kraftübertragende Flachriemen wurde aus mehreren Lagen hergestellt, die sich großflächig auf der Innenseite ablösen.



Abbildung 57: Luftdruckhammer

Die Oberfläche des Kolbens zeigt am Übergang zum Zylinder unterschiedliche Korrosionsphasen, was ein Zeichen dafür ist, dass sich der Amboss setzt. Der Amboss steht auf einem Holzfundament und ist zum Hammergestell nur mit Holzkeilen ausgerichtet.

Vor dem Hammer, unter einer Holzwerkstoffplatte, ist eine Art Vorkammer des Hammerfundaments. Vermutlich hat sich durch Risse im Betonfundament ein fast 30 cm hoher Wasserstand in dieser Vorkammer angesammelt. Die Hölzer unter dem Amboss stehen dadurch im Wasser und verrotten. Nachdem das Wasser mit einer Tauchpumpe ausgepumpt und von verrotteten Holzresten ausgeräumt worden war, verblieb ein Wasserstand von wenigen Zentimetern. Die Kontrolle über eine Woche ergab kein weiteres Ansteigen des

Wasserstandes (Abbildung 58).

Auf dem vorderen Rand des Betonfundamentes stehen zwei große Gusseisenwasserkästen übereinander.



Abbildung 58: Geöffnetes Fundament des Luftdruckhammers

4.5.7.3 Werkzeuge und Hilfsmittel

Schmiedewerkzeuge

Die beiden Sockel des kleinen Amboss stehen auf dem Boden und sind von unten fortgeschritten abgebaut. Die am Sockel befestigte Werkzeugablage ist durch den Verlust ihrer Halterung in Schräglage gekippt. Alle Eisenteile sind stark und fleckig korrodiert.

Die Werkbank ist an die Gebäudewand gelehnt und hinten mit den Beinen im Boden versenkt.

Die Schmiedezangen lagern auf zwei Holzunterlagen, jeweils zwischen den Hämmern, um von der Feuchtigkeit des Bodens ferngehalten zu werden. Diverse Haken und Spieße liegen auf einem flachen und breiten Eisengestell, welches ebenfalls mit den Beinen eingesunken ist.

Gesenke

Die Gesenke wurden vor einigen Jahren mit Öl konserviert. Sie heben sich durch die dunkle Verfärbung erheblich von Gesamtbild ab.

Hebevorrichtungen

Der zum Sinkhammer gehörende Kran wurde, obwohl er in keinem direkten Bodenkontakt steht, im Fußbereich durch Insektenbefall und Fäule geschädigt. Das obere Lager beider Kräne ist stark ausgelaufen. Die Zahnradmechanik der Kettenwinde ist korrodiert, aber noch frei beweglich.

Die Lagergründung am Kran des Storhammers musste im Mai 2002 erneuert werden, da dass im Boden liegende Holzfundament so weit abgebaut war, dass sich der Kran gesenkt hatte und aus dem oberen Lager zu gleiten drohte. Nachdem der Kran mit Flaschenzügen angehoben worden war, konnten drei neue mit Kupfersalzen imprägnierte Kanthölzer eingesetzt werden, auf die wieder die Lagerplatte fixiert wurde. Seine Hebefunktion ist durch die fehlende diagonale Aussteifung am oberen Lager nicht mehr gegeben. Das Lager würde seitwärts verschoben werden.

Gegenüber dem Sinkhammer, auf dem Boden, liegen heute die Überreste einer Krananlage mit Laufkatze, die vom Glühofen zu den Hämmern verlief. Die Kranbalken weisen an den Kontaktflächen zum Boden Mycelbewuchs auf.

4.5.7.4 Sonstiges

Holzlager

Die Stützen, durch die das Holzlager etwas erhöht stand, haben der Last nachgegeben, so dass das gesamte Lager zur Wandseite gekippt ist. Der Boden des Lagers wird durch Braunfäule abgebaut. Die Bedingungen in dieser Ecke, wie Dunkelheit, hohe Luftfeuchtigkeit durch die Steinwand, eine geringe Luftbewegung und ein hohes Nährstoffangebot, sind ideale Voraussetzungen für eine Besiedelung durch Mikroorganismen (Abbildung 59).



Abbildung 59: Holzlager (links) und Schacht des Doppelkammerofens (rechts), das Laub gelangt durch die Lammellenfenster auf die Konstruktion

Verschlag mit Schalttafel

Der Verschlag auf der Ostseite der Nordwand steht dicht in der Ecke, so dass auch hier die Voraussetzungen für eine Ansiedlung Holz zerstörender Pilze gegeben ist. So erklärt sich die Ursache für das Zusammensinken der Holzkonstruktion an der Rückseite.

Die kleine elektrische Schaltanlage wurde an der Vorderseite auf einer weißen Platte, vermutlich eine Marmorplatte, montiert. Die Platte ist mehrfach vertikal gebrochen. Von den vier Schmelzsicherungen sind nur noch die Fassungen vorhanden. Das dünnwandige Blechgehäuse der Regeleinrichtung zeigt starke Verluste.

4.5.8 Zusammenfassung und Diskussion weiterer Untersuchungen

Das noch neue Gebäude ist bis auf die Mängel der Wasserradeinhausungen in einem guten Zustand. Die überwiegend aus Holz konstruierten Hämmer jedoch sind in ihrem Bestand durch Fäulnis und Schädlingsbefall stark gefährdet.

Um die Ursachen des gefährdeten Zustandes der Hammerschmiede bestimmen zu können, ist es notwendig, neben der visuellen Begutachtung umfangreiche Klimamessungen, insbesondere der Luftströmung, Bodenanalysen, Wasserstandmessungen und verschiedene diagnostische Messungen der Holzstruktur durchzuführen.

Die Auswertung der erhaltenen Messwerte soll zeigen, ob die vorherrschenden klimatischen Bedingungen im Gebäude ausschlaggebend für den fortschreitenden Verfall der historischen Anlage sind, wo die Ursachen der hohen Bodenfeuchtigkeit zu finden sind und wie groß das Ausmaß des Verfalls einzuschätzen ist.

Der fortgeschrittene Abbau einzelner Bauteile wie der Radwelle durch Holz zerstörende Insekten und Pilze ist vermutlich die Folge einer mangelhaften Dachabdichtung der Wasserradeinhausungen. Das Regenwasser hat so für eine stete Nässe im Holz gesorgt. Der Zeitpunkt der ersten Infektion des Holzes durch Schadorganismen kann bereits zwischen 1966 und 1969 angenommen werden: Damals war das Hammerwerk ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Zusätzlich zu der Nässe auf der Westseite dringt Wasser über die Steinwand an der Nordseite ein und das über die Dachflächen geleitete Regenwasser versickert unmittelbar neben den Hausfundamenten. Es gelangt unter den Fundamenten hindurch in den Boden des Gebäudes.

Der hohe Wasserstand im Abflussgraben ist die Folge einer Verschüttung des Abflusses und einer Quellströmung unter dem Hammerfundament des Sinkhammers.

Ein Schädlingsbefall der Holzkonstruktion des Gebäudes ist bisher nicht zu verzeichnen, aber nicht auszuschließen

Prinzipiell stellen alle Bereiche im Gebäude, die durch diverse Eisen- oder Holzobjekte zugestellt sind, die auch noch in Bodenkontakt stehen und bereits

Zustandsbeschreibung

verrottet sind, eine potenzielle Gefahr für den weiteren Verfall der Hammer-
schmiede dar. Eine Entfernung oder Umlagerung ist dringend notwendig.

5 Die Untersuchungsmethoden

Die Untersuchung und Beschreibung der unmittelbar sichtbaren Eigenschaften des Storhammers und des Hammergebäudes erlauben Rückschlüsse auf die inneren Struktureigenschaften der hölzernen Konstruktionselemente. Verfärbungen, würfelbruchartige Oberflächen, Fluglöcher und vorgefundene Fruchtkörper deuten darauf hin, dass sämtliche Konstruktionshölzer des Storhammers durch biologischen Abbau in ihrer Stand- und Tragfähigkeit gefährdet sind. Um ein mögliches Versagen der schweren Konstruktion aufhalten zu können, ist allein die Begutachtung des sichtbaren Zustands nicht ausreichend. Erst durch die Ermittlung der Holzfeuchte, der Art des Abbaus, des intakten Restquerschnitts und bei Bedarf der Rohdichte und des Elastizitätsmoduls, kann eine Aussage über deren Tragfähigkeit gemacht werden.

Grundlegend haben diagnostischen Untersuchungen von Holz nach UNGER et al. folgende Ziele:

1. Genaue Bestimmung der Eigenschaften,
2. Aufnahme von Grad und Ausmass an Holzfehlern und Schäden,
3. Charakterisierung von Art und Intensität des Schadens,
4. Bestimmung der Ursache des Fehlers oder Schadens,
5. Überwachung der erhaltenden Behandlungen.¹

5.6 Klassifizierung und Methoden

Im Vordergrund der weiterführenden Untersuchungen, steht die Frage nach einer zerstörungsfreien oder einer nicht zerstörungsfreien Methode. Unter Berücksichtigung der Relationen, können Untersuchungsmethoden, die nur geringe Schäden verursachen, als zerstörungsarm klassifiziert werden. Sie werden weiter unterschieden in mechanische, elektrische, optische, akustische, thermographische, strahlende, kernmagnetische, chemische und biologische Methoden.

¹ UNGER et al. 2001, 143.

Eine Vielzahl der Holz untersuchenden Verfahren, wurde für den Einsatz in der Forstwirtschaft oder Holzindustrie entwickelt und später modifiziert für Analysen an Kulturgut genutzt.²

5.6.1 Untersuchung von Konstruktionsholz

Steht im Rahmen der Restaurierung eines musealen Objektes die Erhaltung des Originalmaterials und des Erscheinungsbildes im Mittelpunkt, so gelten für grössere, lastaufnehmende Konstruktionen, wie in diesem Fall für die Hammerkonstruktion, die Kriterien der Standsicherheit. Die Ansprüche an Funktion und Erscheinungsbild stehen hier der Belastbarkeit von Konstruktion und Material gegenüber.

In einer 1999 veröffentlichten Ausgabe des SONDERFORSCHUNGSBEREICHES 315 der Universität Karlsruhe wird die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Standsicherheit historischer Holztragwerke ausführlich beschrieben.

Im Standsicherheitsnachweis für Holzkonstruktionen sind demnach drei Annahmen zu treffen:

- Annahme einer Belastung: Ergibt sich aus den ständig wirkenden Eigenlasten und den auf die Konstruktion wirkenden veränderlichen Verkehrslasten. (DIN 1055-1 bis 6)
- Annahme eines statischen Berechnungsverfahrens: Wahl des richtigen statischen Systems, um den Kraftfluss in einer Konstruktion und die Beanspruchung in einem Bauteil zu ermitteln.
- Annahme einer zulässigen Beanspruchung: Um die Standfestigkeit einer Konstruktion unter auftretenden Beanspruchungen nachzuweisen, werden die Hölzer den nach DIN 4074 angenommenen Sortierklassen zugeordnet und nach DIN 1052-1 die zulässigen Spannungen herangezogen.³

² Ebenda.

³ GÖRLACHER et al. 1999, 6-9.

Tabelle 1: Untersuchungsmethoden für Holz⁴.

METHODE	VERFAHREN	ERMITTELTE EIGENSCHAFT	BEVORZUGTE ANWENDUNG	VORTEILE	NACHTEILE
Mechanisch	Zuwachsbohrkern	Holzfeuchte, Rohdichte, mechanische Eigenschaften, biologischer Abbau, prüfen auf Konservierungsmittel	Bäume, verbautes Konstruktionsholz	Einfach, handliche Instrumente, geringe Kosten	Zerstörend, Ergebnisse nur von begrenztem Bereich
	Eindringwiderstandsmessung (z.B. Pilodyn)	Rohdichte, Festigkeit, biologischer Abbau	Verbautes Konstruktionsholz, wassergelagerte Holzfunde	Einfach, in situ Messung, zerstörungsarm handliches Instrument, geringe Kosten	Zerstörend, keine exakten Messergebnisse, Streuung der Messung
	Auszieh-widerstandsmessung	Rohdichte, biologischer Abbau	Verbautes Konstruktionsholz	Einfach, in situ Messung, zerstörungsarm handliches Instrument, geringe Kosten	Weniger genau als Bohrwiderstand
	Bohrwiderstandsmessung (z.B. Resistograph)	Rohdichte, biologischer Abbau	Bäume, verbautes Konstruktionsholz	Leicht zu benutzen, tragbares Instrument, keine hohen Kosten, in situ Messung,	Zerstörend, keine exakten Messergebnisse, Ermitteln von abgebauten Bereichen nur punktuell
	Dehnungsmessung (DMS)	Spannungen	Verbautes Konstruktionsholz	Einfach, in situ Messung	Zerstörend,
	Belastungsversuch durch Biegung	Festigkeit (E-Modul)	Verbautes Konstruktionsholz	Einfach, in situ Messung, zuverlässig	Auflager müssen frei drehbar sein, zeitaufwendig, Risiko der Schädigung durch Belastung
	Abbeilen	Tragfähiger Restquerschnitt nach Insektenbefall	Verbautes Konstruktionsholz	Stark zerstörend (Sachschädigung im Sinne der Restaurierung), subjektiv	
wird fortgesetzt					

⁴ Zusammenstellung aus: UNGER et al. 2001, 145-147 und GÖRLACHER et al. 1999, 15-66.

Die Untersuchungsmethoden

METHODE	VERFAHREN	ERMITTELTE EIGENSCHAFT	BEVORZUGTE ANWENDUNG	VORTEILE	NACHTEILE
Elektrisch	Bestimmung von elektrischem Widerstand oder Leitfähigkeit, Dielektrizitätskonstante, Verwendung von Mikrowellen	Holzfeuchte, (Gegenwart des Verfalls)	Bäume, verbautes Konstruktionsholz, Kulturgut	Zerstörungsfrei oder -arm, einfache Anwendung, niedrige Kosten, in situ Messung, handliche Geräte	Nicht so genau wie Darrtrocknung,
Optisch	Visuell	Äusserer Verfall,	Bäume, verbautes Konstruktionsholz	zerstörungsfrei, in situ Messung	Subjektive Einschätzung
	Licht- und Elektronenmikroskop	Biologischer Schaden, chemische Zersetzung, Ablagerung von Festigungsmitteln	Verbautes Konstruktionsholz, wassergelagerte Holzfunde	Genauere Diagnose, Erkennung von frühen Stadien, Fotografie	Zerstörend (Probenentnahme), Vorbereitungen zeitintensiv und hohe Gerätekosten, Labormethode
	Endoskopie	Biologischer Abbau	Versteckte Räume in Gebäuden	Relativ einfach, in situ Inspektion, Fotografie	Zerstörend (falls Bohrloch erforderlich)
	Holographie	Risse, Delaminierung, Abbau	Kulturgut	Zerstörungsfrei, Fotografie	Labormethode, noch nicht voll entwickelt
	IR Spektroskopie	Holzfeuchte, Abbau	Kunst und archäologische Objekte	Zerstörungsfrei oder -arm, Ausdruck	Labormethode, Holzfeuchtemessung nur an der Oberfläche
Akustisch	Ultraschall-Geschwindigkeit (z.B. Laufzeitmessung mit Sylvatest Duo)	Holzdefekte, abgebaute Bereiche, Schäden durch Insekten, Festigkeit	Holzverarbeitung (Gütesortierung), verbautes Konstruktionsholz	Zerstörungsfrei, in situ Messung, handliches Gerät	Objekt muss zugänglich sein und Rohdichte muss bekannt sein, Ankopplung auf unebenen Oberflächen schwierig
	Schallemission	Abbau, innere Spannungen, aktiver Insektenbefall	Verbautes Konstruktionsholz, Kulturgut	Zerstörungsfrei, in situ Messung, praktische Geräte für Termiten	Labormethode für Hausbock
wird fortgesetzt					

Die Untersuchungsmethoden

METHODE	VERFAHREN	ERMITTELTE EIGENSCHAFT	BEVORZUGTE ANWENDUNG	VORTEILE	NACHTEILE
Thermographie	Messung der Wärmestrahlung	Äste, Abbau, Insektschäden, Holzfeuchtedifferenzen, Delaminierung	Verbautes Konstruktionsholz, Kulturgut	Zerstörungsfrei, in situ Messung, handliches Gerät, Abbildung	Erwärmung von Kulturgut problematisch, Auflösung noch ungenügend
Strahlung	Herkömmliche Röntgenstrahlung	Makroskopische Holzstruktur, Rohdichte, Abbau, Insektschäden	Transportables Kulturgut, prüfen von Holzschutzmitteln	Zerstörungsfrei, Abbildung	Auflösung mobiler Geräte noch gering, Labormethode
	Computertomographie	Abbau, Rohdichte, Holzfeuchte, Ablagerungen von Festigungsmitteln	Bäume, transportables Kulturgut, wassergelagerte Holzfunde	Zerstörungsfrei, Abbildung (3D), transportable Geräte	Sehr hohe Kosten, teures Werkzeug, Zugang von allen Seiten
	Gammagraphie	Holzfeuchte, Rohdichte, Abbau	Holztrocknung, verbautes Konstruktionsholz	Zerstörungsfrei	Teure Geräte, transportable Geräte noch in Entwicklung
	Neutronenradiographie	Holzfeuchte	Holzverarbeitung (Gütesortierung)	Zerstörungsfrei	Daten sind von Rohdichte abhängig
Kernmagnetische Resonanztomographie (NMRT)	Tomographie	Holzfeuchte und Verteilung, Verteilung von Festigungsmitteln	Wassergelagerte Holzfunde, Bäume möglich	Zerstörungsfrei, Abbildung	Sehr kostenintensive Anlage, nicht transportabel
Chemisch/biologisch	Farbindikatoren, CO ₂ Emissionsmessung, Gelelektrophorese, immunologische und genetische Methoden	Abbau, besonders durch echten Hauschwamm	Verbautes Konstruktionsholz	Erkennt frühe Stadien, identifiziert vorliegende Pilzspezies	Zerstörend (Probenentnahme), Labormethode

5.6.2 Anforderungen an die weiteren Untersuchungen

Die Anforderungen an die notwendigen Untersuchungen ergeben sich aus den, in der Zustandsbeschreibung des Storhammers erfassten, unmittelbar sichtbaren Veränderungen der Originalsubstanz, den daraus vermuteten negativen inneren Eigenschaften und deren Ursachen, sowie den Dimensionen, der

Zugänglichkeit der Konstruktion und ihrer weiteren Nutzung. Nach diesen Kriterien können die Anforderungen an ein diagnostisches Verfahren für den Storhammer wie folgt charakterisiert werden:

- Bestimmung der Ausmasse des Abbaus durch Holz zerstörende Pilze,
- Bestimmung der Ausmasse des Abbaus durch Insektenbefall,
- Bestimmung der Dimension des noch intakten Restquerschnitts,
- Messung in situ, da Demontage oder Transport kaum möglich ist.
- Die Messung sollte zerstörungsfrei oder in Anbetracht der Bauteildimension zerstörungsarm sein.
- Das Gerät sollte handlich sein, um auch in schwer zugänglichen Bereichen messen zu können.
- Da im Rahmen des Projektes keine unbegrenzten finanziellen Mittel zur Verfügung stehen, kann nur ein kostengünstiges Verfahren eingesetzt werden; Transport und Einsatz im entfernten Südnorwegen sind ebenso einzukalkulieren.
- Die Auswertung der Messergebnisse sollte eine sichere Abschätzung der statischen Standsicherheit ermöglichen.

Parallel dazu bietet die Kenntnis über die Pilz-, Insekten- und Holzart, sowie der klimatischen Bedingungen eine weitere Möglichkeit die Ursache des Befalls zu bestimmen, um geeignete Massnahmen zur Erhaltung der Konstruktion zu entwickeln.

5.7 Auswahl der Untersuchungsverfahren

Zwei nach diesen genannten Kriterien geeignete Untersuchungsmethoden, die seit einigen Jahren in der Baudenkmalpflege praktiziert werden, sind die Laufzeitmessung einer Schallwelle und die Bohrwiderstandsmessung. Beide Verfahren können ohne weiteres vor Ort eingesetzt werden. Erfolgt die Laufzeitmessung von Schallwellen ohne das Objekt zu verändern oder zu beeinträchtigen, so wird während der Bohrwiderstandsmessung der Holzquerschnitt mit einer kleinen Bohrnadel durchbohrt.

Da die verwendete Ultraschall-Laufzeitmessung vor Ort aus der Untersuchung genommen wurde, soll hier nur kurz auf das Verfahren eingegangen werden.

5.7.1 Ultraschall-Laufzeitmessung

Die Ultraschall-Laufzeitmessung wird als zerstörungsfreies Verfahren zur Bestimmung mechanischer Eigenschaften vorwiegend homogener Materialien verwendet. Dennoch hat sich die Laufzeitmessung auch in der Holzprüfung bewährt und wird unter anderem im Bauwesen für die Gütesortierung von Bauholz und an eingebauten Hölzern für die Feststellung biologisch abgebauter Bereiche oder für eine Abschätzung der Holzfestigkeit eingesetzt. Bei dem dabei genutzten *Durchschallungs-* oder *Schattenverfahren* werden Schallwellen mit Frequenzen von 20 kHz bis 1 MHz⁵, unter Verwendung von zwei Quarzkristall-Prüfköpfen (Sender und Empfänger), durch das zu prüfende Holz geleitet. Die *Longitudinalwelle* ist in ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit von bestimmten Eigenschaften wie Rohdichte und *Elastizitätsmodul* abhängig⁶. Über den Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und morphologischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Holz wird ausführlich von BURMESTER⁷ berichtet.

Durch die inhomogenen, anisotropen und porösen Eigenschaften der Holzstruktur, treten bei der Ultraschalluntersuchung Störungen der durchlaufenden Welle auf. In diesem Sinne verursachen Frassgänge, Risse und ein durch Pilzbefall destrukturiertes Gefüge Beugung, Streuung, Reflexion und Absorption der Welle, so dass die dadurch veränderte Schallgeschwindigkeit und die Dämpfung des Signals zur Holzprüfung herangezogen werden können.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Ultraschallmessgerät Typ BP5 der Firma GEORG STEINKAMP freundlicherweise von dem Studiengang Bauingenieurwesen⁸ zur Verfügung gestellt. Es ist ein kleines, handliches Gerät mit

⁵ Um die Reflexionen im Holz gering zu halten, werden Geberfrequenzen zwischen 20 und 46 KHz empfohlen. (SPECKHARDT 2001, 16)

⁶ GÖRLACHER et al. 1999, 51-58.

⁷ BURMESTER 1965, 227-236.

⁸ Fachbereich 2 der FHTW-Berlin.

einer digitalen Anzeige der Laufzeit in μsec . Die vorbereitenden Testreihen an unterschiedlich geschädigten Kanthölzern und Stämmen zeigten, dass die Erfassung der abgebauten Bereiche und deren Ausmass, anhand der reduzierten Schallgeschwindigkeit, möglich ist. Die Ankopplung zwischen der Holzoberfläche und den Prüfköpfen wurde durch angefertigte Silikonschuhe erreicht, die im Gegensatz zu den üblichen Gelen nicht die Oberfläche beeinflussen. Durchschallt wurde radial, tangential und longitudinal.

Trotz guter Testergebnisse musste dieses Verfahren vor Ort aus den Untersuchungen herausgenommen werden. Stark abweichende oder nicht erfassbare Messergebnisse waren vermutlich die Folge von Wellenreaktionen an der, mit unzähligen feinen Rissen durchzogenen, gealterten Oberfläche.

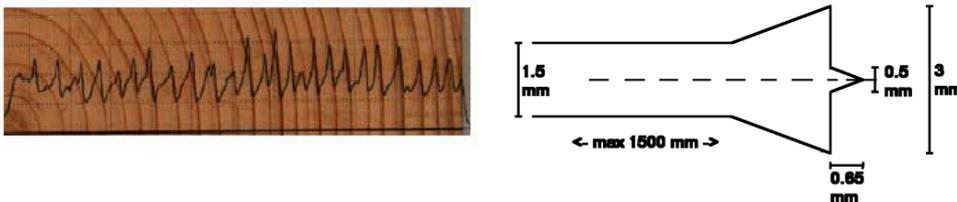
5.7.2 Bohrwiderstandsmessung

Auf der Suche nach einer Messmethode, die Aussagen über den inneren Zustand von Bäumen und Holzbalken ermöglicht, erfanden 1984 die Ingenieure W. KAMM und S. VOSS aus Bad Oeynhausen ein Bohrverfahren das in ein spezielles Bohrgerät umgesetzt wurde. Im Rahmen einer Kooperation des Instituts für Botanik der Universität Hohenheim und des Instituts für Umweltphysik der Universität Heidelberg wurde dieses Bohrwiderstandsmessverfahren überprüft und weiterentwickelt. Bereits 1987 wurden einsatzfähige Geräte, als DENSITOMAT bezeichnet, in Kleinserie gefertigt. Für den Physiker F. RINN wurde diese Aufgabe 1988 Thema seiner Diplomarbeit. Das aktuelle Gerät trägt die Bezeichnung RESISTOGRAPH des Herstellers FRANK RINN ENGINEERING aus Heidelberg.

5.7.2.1 Das Messprinzip

Während des Messvorgangs wird eine Bohrnadel, mit einem Schaftdurchmesser von 1,5 mm, einer Bohrkopfbreite von 3 mm und einer Länge von 45

cm⁹, in das zu prüfende Holz gebohrt. In dem dabei entstehenden Bohrkanal von 3 mm Durchmesser. Sowohl Vorschub, als auch Drehbewegung der Nadel werden durch elektronische Steuerung konstant gehalten. Die notwendige Leistungsaufnahme des Bohrmotors, für die Zerspanungs- und Verdrängungsarbeit der Nadelspitze und für Reibung des Nadelschaftes im Bohrloch, wird als Messwert (Bohrwiderstand) in einem Diagramm dargestellt. Dabei werden Bereiche mit unterschiedlichen Festigkeiten oder Rohdichten mit dem entsprechenden Widerstand durchbohrt. So ist es möglich mit diesem Verfahren verdeckt liegende Schädigungen durch Insekten- oder Pilzbefall zu lokalisieren, Zustand und Geometrie von Holzverbindungen zu bestimmen und die Rohdichte abzuschätzen. Durch eine Auflösung von 1/10 mm lassen sich selbst die unterschiedlich festen Spät- und Frühholzanteile der Jahresringe erkennen. Für eine dendrochronologische Untersuchung ist das Verfahren aufgrund der holz-anatomischen Gegebenheiten nicht geeignet. Die Bohrwiderstands-Diagramme können ausgedruckt oder auf einen PC mit entsprechender Software¹⁰ übertragen werden.¹¹



Bohrwiderstandsdiagramm und Bohrnadelspitze (RINNTECH Flayer)

5.7.2.2 Das Messgerät

Der verwendete RESISTOGRAPH 2450-P ist ein etwa 1 m langer Zylinder, mit einem Durchmesser von 75 mm und einem Gewicht von 3 kg. Auf der einen Stirnseite des Zylinders ist ein kleiner, spitzer Zapfen als Nadelführung angebracht. Auf der anderen Seite befindet sich die Steckdose für das Verbin-

⁹ Mit dieser Nadellänge ist eine Bohrtiefe von etwa 43 cm möglich. Es sind mit längeren Nadeln auch Bohrtiefen bis 1 m möglich.

¹⁰ In diesem Fall *DecomNG V.1.6*.

¹¹ ECKSTEIN/SASS 1994, 280-282.

dungskabel und der Rechtslauf-, Linkslauf- und Ausschalter. Über das mehrere Meter lange Verbindungskabel ist das Bohrgerät mit dem Akkupack verbunden. Er beinhaltet zwei 15 V Akkus mit 172 Wh, ein Display für die Spannungsanzeige (nur für einen Akku), je einen Ausgang für den Drucker und einen PC, einen Ein- und Ausschalter, eine Steckdose für den Netz- oder Auto-Lade-Adapter und eine für das genannte Verbindungskabel (Abbildung 60). Bohrgerät, Drucker, Akkupack und das gesamte Zubehör inklusive der zehn Bohrnadeln sind sicher in einem Aluminium-Transportkoffer verpackt. Derart ausgestattet kann der Koffer nicht gerade als leicht transportabel bezeichnet werden. Es sollte bei grösseren Entfernungen zur Schulertasche des Zubehörsortiments gewechselt werden.¹²

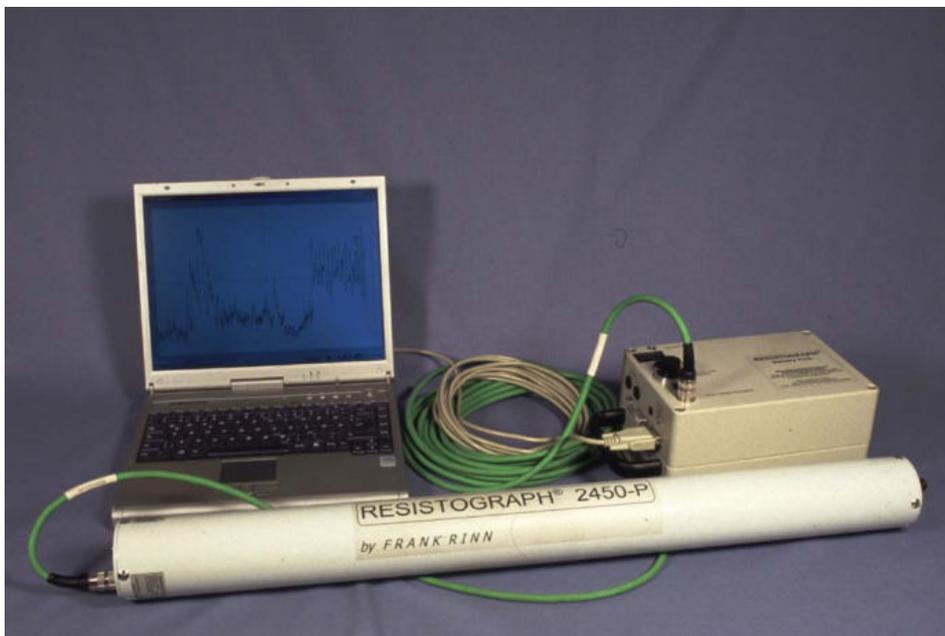


Abbildung 60: Bohrwiderstandsmessgerät und Notebook mit Bohrwiderstandsdiagramm

5.7.2.3 Grundlagen und Einflussfaktoren

Holzanatomische Einflüsse

Unbedingte Voraussetzung für eine Interpretation der Messdiagramme ist die Kenntnis der holzanatomischen Gegebenheiten des zu prüfenden Holzobjektes. So setzen beispielsweise Bereiche enger Eichenjahre der Bohrnadel

¹² Vgl. Prospekt und Bedienungsanleitung.

einen geringen Bohrwiderstand entgegen, so dass der Eindruck einer Schädigung entsteht. Wird unwissend Holz gemessen, dessen Querschnitt einer Druckbelastung ausgesetzt ist oder war, so sind in diesem Bereich die Rohdichte und damit auch der Bohrwiderstand erhöht, wodurch irrtümlich auf hohe Festigkeitswerte geschlossen werden kann. Eine weitere Fehlinterpretation kann der typische Alterstrend verursachen. Die äusseren Jahrringe liegen bei den Nadelhölzern enger als die inneren und bei den ringporigen Laubhölzern umgekehrt. Es ist also auch erforderlich vor einer Messung die Holzart zu bestimmen, da zwischen Laub- und Nadelholz wesentliche Unterschiede existieren (Tabelle 2).

Tabelle 2: Auswirkung einiger holzanatomischer Strukturen auf den Bohrwiderstandsmesswert (ohne Störeinflüsse und ohne Handhabungsfehler)¹³

EFFEKT AUF BOHRWIDERSTANDSWERT BEI	NADELHOLZ (Z.B. FICHTE , KIEFER)	RINGPORIGEM LAUBHOLZ (Z.B. EICHE)
Radiale Bohrung durch enge Ringe	Erhöhung	Erniedrigung
Radiale Bohrung durch breite Ringe	Erniedrigung	Erhöhung
Tangentiale Bohrung durch enge Ringe	Erhöhung	Erniedrigung
Tangentiale Bohrung durch breite Ringe	Erniedrigung	Erhöhung
Bohrung durch Druckholz	Breiteres Spätholz	-
Bohrung durch Ast	Erhöhung	Erhöhung
Typischer Alterstrend (Ringe aussen enger als innen)	Aussen hoch innen niedrig	Aussen niedrig innen hoch

Die Holzfeuchte wirkt sich ebenfalls auf die Messung aus. Bei steigender Holzfeuchte nimmt einerseits der Bohrwiderstand zu und andererseits die Amplitude und der Anteil hochfrequenter Schwankungen ab. Über dem Fasersättigungspunkt weist das Frühholz einen höheren Wassergehalt auf als das Spätholz, was zu geringeren Dichteunterschieden führt und die Komprimierung des feuchten Bohrmehls erfordert aufgrund seiner höheren Dichte mehr Energie.¹⁴

Vorrangig bei der Messung von Bäumen kann eine Erhöhung des Bohrwi-

¹³ RINN 1992, 747-748

¹⁴ ECKSTEIN/SASS 1994, 285.

derstandes auf Abschottungszonen und Verkernungen zurückgeführt werden¹⁵.

Rohdichte

Der Bohrwiderstand wird massgeblich durch die Rohdichte des zu messenden Holzes beeinflusst. Da mit zunehmender Rohdichte auch die Festigkeitseigenschaften steigen, ist es naheliegend die Bohrwiderstandsmessung für die Beurteilung der Tragfähigkeit von Konstruktionsholz anzuwenden.

Durch ihre Versuche konnten GÖRLACHER UND HÄTTICH nachweisen, dass die Bohrwiderstandsmessung zur Abschätzung der Rohdichte geeignet ist. Es wurde die Abhängigkeit der mittleren Rohdichte von dem mittleren effektiven Bohrwiderstand dargestellt. Der mittlere effektive Bohrwiderstand konnte nach einer Digitalisierung der Diagramme, ohne Berücksichtigung der Leerlaufspannung, berechnet werden.¹⁶

Das Abschätzen der Festigkeit anhand dieser Bestimmung der Rohdichte ist in erster Linie für gesundes Holz sinnvoll: „Eine Anwendung dieser Auswertemethode, die von GÖRLACHER UND HÄTTICH (1990) beschrieben wurde, ist für eine Beurteilung des Schadensumfanges durch Insekten oder Pilze nicht unbedingt notwendig.“¹⁷

Pilz- und Insektenbefall

Die Eignung der Bohrwiderstandsmessung für das Erkennen und Lokalisieren von Insekten- und Pilzbefall wurde mehrfach belegt.

„Bohrwiderstandsprofile von pilzbefallenen Proben zeigen eine auffällige Widerstandsabnahme bei einem Masseverlust von 32 % bei Braunfäule und von über 40 % bei Weissfäule [...]. Nach Wilcox (1978, 1993) und Winandy und Morell (1993) tritt mitunter schon bei einem geringeren Masseverlust eine starke Abnahme der Holzfestigkeit auf. Schwarze und Fink (1994) fanden bereits bei Masseverlusten von 10 % eine Erniedrigung des Bohrwiderstandes. Bei einem Masseverlust von nur 6 % nimmt die Schlagbiegefestigkeit um 80 % ab (Wilcox 1978), während die Rohdichte des Holzes nur wenig zurückgeht.

¹⁵ Imprägnierung der Zellwände mit Kerninhaltsstoffen und Vertüftung der Gefässe und/oder Einlagerung gummiartiger oder harter Substanzen. (ECKSTEIN/SASS 1994, 286)

¹⁶ GÖRLACHER/HÄTTICH 1992, 10-14.

Auch die statischen Holzfestigkeiten verändern sich bei einem Masseverlust zwischen 5 und 10 % bereits deutlich.“¹⁸

Stark abgebautes Holz weist keinen Widerstand mehr auf, wogegen bei weniger stark abgebautem Holz auch die Jahrringe noch zu erkennen sind. Wird das Durchbohren eines Schwundrisses nicht bemerkt, kann es leicht zu der Fehlinterpretation eines Fäuleschadens kommen. Gleiches gilt auch für den Befall durch den Hausbock (*Hylotrupes bajulus* L.). Seine Frassgänge mit einem Durchmesser von 4-7 mm hinterlassen im Diagramm einen deutlichen Abfall des Widerstandes. Frassgänge kleinerer Insekten wie des Gewöhnlichen Nagekäfers (*Anobium punctatum* DE GEER) sind dagegen nur in Bereichen starker Schädigung lokalisierbar.

Verfahrensbedingte Einflüsse

Der sogenannte Bohrtrend wird durch RINN als die wichtigste Fehlerquelle bei der Interpretation der Messprofile beschrieben: „Als Bohrtrend werden Überlagerungen des Messprofils bezeichnet, die sich häufig über die gesamte Messung erstrecken.“ Die Ursachen resultieren aus der nicht ganz vermeidbaren Reibung des Bohrnadelschaftes im Bohrkanal und aus einer gekrümmten Abweichung von der geradlinigen Bohrrichtung. Das Verlaufen der Bohrnadel kann durch Verkanten des Bohrgerätes, bei schrägem Nadeleintritt in die Oberfläche oder auch an Grenzflächen wie Holzverbindungen entstehen. Besonders bei einer Rohdichte über 800 g/cm³, tritt dieser Effekt auch bei geradliniger Bewegung ein, da der Stauraum zwischen Nadel und Bohrkanalwand nicht ausreicht.¹⁹

Ein Effekt anderer Art ist das Verschmelzen der Jahrringe im Messdiagramm. Werden die Jahrringe nicht in radialer Richtung durchbohrt, dann rotiert der Nadelkopf gleichzeitig in mehreren Spätholzbereichen, und die Ringe sind anschließend im Diagramm nicht unterscheidbar.

Randbedingungen

¹⁷ GÖRLACHER et al. 1999, 22.

¹⁸ ECKSTEIN/SASS 1994, 285.

¹⁹ RINN 1992, 747.

Bevor eine Bohrwiderstandsmessung durchgeführt werden kann, müssen einige wesentliche Randbedingungen durch den Ausführenden erfasst werden, und er sollte mit den möglichen Fehlern vertraut sein, die durch unsachgemäße Handhabung während der Messung auftreten können.

Zu diesen Randbedingungen gehören nach RINN unter anderem:

- die lokale (innere) Geometrie des untersuchten Holzes bzw. der Holzverbindung,
- Neigung und Beschaffenheit der lokalen Oberfläche im Bereich des Nadeleintrittspunktes,
- Verteilung der Risse,
- Zustand der Nadelspitze,
- Austrittspunkt der Nadel (wenn sichtbar) zur Abschätzung der eventuellen Abweichung von der geradlinigen Bohrrichtung.²⁰

Der Erfolg einer Messung hängt zu einem grossen Teil von der korrekten Handhabung ab. Jede Bewegung des Bohrgerätes während des Messvorgangs führt zu Fehlinformationen im Messdiagramm. Wird das Gerät seitlich bewegt, drückt der Bohrnadelschaft gegen den Bohrkanal und es kommt zur Erhöhung des Widerstandes. Eine kurzzeitige Bewegung kann auch zur Abweichung der Bohrrichtung und dadurch zu starken Widerstandserhöhungen führen. Ein ähnlicher Vorgang kann durch einen schrägen Eintrittswinkel und dem Ausweichen der Nadel verursacht werden.

Ein Kontakt mit Stein oder anderen harten Materialien sollte vermieden werden, da sich die Nadel schnell abnutzt und im stumpfen Zustand eher zum Ausweichen neigt.

Aus diesem Grund ist es ratsam die Gegebenheiten im Bereich des Nadelaustritts zu kennen, falls das zu prüfende Holz einen geringeren Querschnitt als die mögliche Bohrtiefe aufweist. Unmittelbar nach dem Nadelaustritt muss die Nadel wieder zurückgefahren werden. Rotiert die Nadel bei weiterem Vorschub ohne die notwendige Seitenführung, gerät sie in Schwingung und knickt infolge der Fliehkraft kurz hinter der Austrittsöffnung.

²⁰ RINN 1992, 748.

5.7.2.4 *Der Messvorgang*



Nachdem der Akkupack mit dem Bohrgerät und einem PC oder dem Drucker verbunden wurde, können Akkupack und PC eingeschaltet werden. Bei Verwendung eines PC wird die Software geladen, ein Ver-

Abbildung 61: Messvorgang an der Welle
zeichnis angelegt und die Bohrdaten werden eingetragen. Anhand der oben beschriebenen Kriterien wird ein geeigneter Messpunkt gewählt. Bei schräg angesetztem Gerät sollte vorher der Nadeleintrittspunkt eine Körnung erhalten, damit die Nadel nicht ausweicht. Die Spitze des Nadelführungszapfens wird auf die Oberfläche aufgesetzt und das Bohrgerät in einer sicheren Position gehalten. Mit dem am hinteren Ende des Bohrgerätes angebrachten Schalter kann dann die Messung gestartet werden (Abbildung 61). Mit einem Vorschub von bis zu 50 cm/min bohrt sich die Nadel im Rechtslauf in das Holz. Ist die Nadel voll ausgefahren, schaltet die Steuerung automatisch in den Rücklauf. Der Rücklauf kann auch manuell eingeschaltet werden. Während der Zerspaltung am Bohrnadelkopf werden die Bereiche mit einer hohen Dichte als mehr verbrauchte Leistung und die Bereiche mit einer geringeren Dichte als weniger verbrauchte Leistung des Bohrmotors gegenüber der Bohrtiefe aufgezeichnet.



Abbildung 62: Bohrnadelkopf ($b = 3 \text{ mm}$) und Führungsspitze

Bei der Verwendung eines PC erfolgt das Laden des Diagramms leider erst nach dem Einschalten des Rücklaufs, so dass die gesamte Messung durchgeführt werden muss, bevor das Gelingen der Messung angezeigt wird. Eine Ausgabe über den Drucker verläuft parallel zum Bohrvorgang.

Je nach Holzart und Randbedingung ist es möglich bis über 100 Bohrungen mit einer Nadel durchzuführen. Hierbei ist unbedingt die Akkukapazität fortwährend zu überprüfen, da das Absinken der Akkuleistung eine beachtliche Erhöhung des aufgezeichneten Bohrwiderstandes zur Folge hat.

5.7.2.5 *Auswertung*

Unmittelbar während des Bohrens wird das Bohrwiderstands-Diagramm entweder über den Drucker in dem Massstab 1:1 ausgegeben oder in einen angeschlossenen PC geladen und kann anschliessend über die entsprechende Software visuell ausgewertet werden. Praktisch für die in situ Messung ist die Verwendung eines Notebooks oder Palm-Computers. Auf diese Weise kann und sollte jede Messung vor Ort interpretiert werden, um die weitere Vorgehensweise festlegen zu können.

Nach GÖRLACHER UND HÄTTICH erfolgt die Auswertung der Messungen „[...] visuell durch Vergleich der Messungen im Bauwerk mit typischen Kurven, die bei Bohrungen durch Holz mit unterschiedlichen Schädigungen auftreten. Obwohl diese Methode relativ eindeutige Ergebnisse liefert, ist sie nur bedingt objektiv und erfordert in der Regel einen auf diesem Gebiet erfahrenen Ingenieur, der für die Auswahl, Lage und Anzahl der Messpunkte verantwortlich ist.“²¹

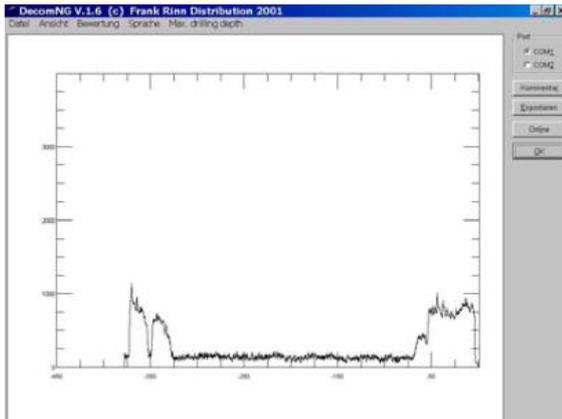


Abbildung 63: Widerstandsprofil des Kniphammerstiels, Darstellung am PC

Das Messdiagramm setzt sich zusammen aus dem Bohrwiderstand (y-Achse) und dem Bohrweg in mm (x-Achse). Der Bohrwiderstand entsteht aus einer elektronischen Ursache: „[...] bei 12-Bit Auflösung der Leistungsaufnahme des Bohrmotors ergeben sich Werte von 0 bis 4095 (Abbildung 63).“²²

5.7.3 Klimamessungen

Um präzise Aussagen zu den Umgebungsbedingungen der Hämmer treffen zu können, fanden mehrere Einzelmessungen mittels Daten Logger an bestimmten Standpunkten im Gebäude statt. Die Messdaten von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit wurden bis zu drei Wochen im Messgerät gespeichert und anschließend am PC ausgewertet. Für die Messungen des Jahres 2001 kam der museumseigene Daten Logger der Firma GLM zum Einsatz (Abbildung 64).

Für die Erstellung eines aussagefähigeren Klimaprofils im Hammergebäude ist eine gleichzeitige Erfassung mit mehreren, im gesamten Raum verteilten, Geräten erforderlich.

²¹ Görlacher/Hättich 1992, 14.

²² RINN/GRUND 1994, 97.



Abbildung 64: Daten Logger zur Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit

5.7.4 Holzfeuchte

Im Sommer 2000 führte Anja Sandtrø, während ihrer praktischen Arbeit im Museum, unter anderem eine umfangreiche Holzfeuchtemessung von hölzernen Bauelementen der drei Hämmer durch. Die Messungen wurden auf der Oberfläche und etwa 4 cm unter der Oberfläche mit einem elektronischen Messgerät vorgenommen.²³

Am Storhammer waren anhand der Zustandsbeschreibung und veränderter Eigenschaften noch einmal gezielte Messungen geplant. Gemessen wird die Leitfähigkeit beziehungsweise der elektrische Widerstand zwischen zwei Elektroden, unter Einfluss der Zellinhaltsstoffe und der Temperatur. Um festzustellen, ob die Feuchtigkeitswerte nicht nur die Folge eines kurzzeitigen Wasserzutritts darstellen, sondern stete Wasserzufuhr vorherrscht, werden die Messelektroden etwa mehrere Zentimeter in das Holz getrieben.

Da die elektrische Messung von einigen Randbedingungen wie beispielsweise der Temperatur abhängt, ist es für eine zuverlässige Angabe der Holz-

²³ Siehe Abschnitt 6.

feuchte gegebenenfalls notwendig, eine gravimetrische Bestimmung durchzuführen.

5.7.5 Holzartenbestimmung

In dem Zusammenhang mit der Erfassung der Holzeigenschaften und mit einer angedachten, originalgetreuen Hammerrekonstruktion, erwies sich eine Analyse der verbauten Holzarten als notwendig. Auch für eine Interpretation der Bohrwiderstandsmessungen ist eine Kenntnis der Holzart erforderlich.

In diesem Sinn wurden bereits 2001 von jedem Holzbauteil Holzschnitte angefertigt, mikroskopiert, fotografiert und eingebettet.²⁴

5.7.6 Holz zerstörende Insekten

Ihre Anwesenheit wird durch Fluglöcher offensichtlich, deren Größe auf die Insektenart schließen lässt, aber deren Anzahl nicht zuverlässig mit dem Befallsausmaß korreliert.

Sind keine Hinweise wie Fraßgeräusche oder frisches Bohrmehl vorhanden, die auf die Aktivität Holz zerstörender Insekten schließen lassen, besteht die Möglichkeit, dieses unter anderem durch Röntgen, Freilegen der Fraßgänge oder das Aufstellen von Pheromonfallen anzuzeigen. Das Prinzip der Pheromonfallen beruht darauf, dass das weibliche Sexualhormon der jeweiligen Insektenart als Lockstoff für die Männchen während der Flugzeit verwendet wird. Die angelockten Männchen bleiben auf einer Klebefläche haften und können somit kein Weibchen begatten, also können auch keine befruchteten Eier auf der Holzoberfläche abgelegt werden.

5.7.7 Bestimmung der Pilzarten

Eine Einschätzung des Zerstörungspotenzials eines Pilzbefalls ergibt sich aus der Kenntnis über dessen Pilzart. Die einfachste Bestimmung der vorlie-

²⁴ Siehe Anlage.

genden Pilzart erfolgt, soweit vorhanden, makroskopisch anhand des Fruchtkörpers. Oberflächenmycel, Stränge oder auffällige Veränderungen der Holzeigenschaften dienen ebenfalls der makroskopischen Bestimmung. Sind diese Merkmale nicht ausgebildet, besteht die Möglichkeit einer mikroskopischen Untersuchung von Mycel, Strängen und Sporen, einer Laborkultur oder einer Anfärbung von Mycel oder Hyphen.

5.7.8 Bodenfeuchtigkeit und Zusammensetzung

Um der Ursache der hohen Feuchtigkeit des Bodens nachzugehen, ist die Kenntnis über vorhandene wasserführende Schichten und über die Bodenarten notwendig. Hierfür müssen Bodenaufschlüsse, die die Entnahme von Bodenproben erlauben, hergestellt werden²⁵. Mit einfachen handbetriebenen Bohrgeräten können erste Erdproben zur Erfassung des Schichtenaufbaus und zur Analyse der Zusammensetzung und des Wassergehalts entnommen werden.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Erkundung der Grundwasserverhältnisse. Die Tiefe der Grundwasseroberfläche wird mit Hilfe eines Lichtlotes gemessen.

²⁵ Es wird in Trocken- und Spülbohrung unterschieden. In bindigen Böden wird mit Kernrohr, Schnecke oder Greifer gebohrt. Schappe, Greifer, Kiespumpe und Kernrohr mit Fangvorrichtung können in Sand und Kies verwendet werden. Die Schnecken- und Schappenbohrung ist auch als Kleinbohrverfahren möglich. (DACHROTH 2002, 20 f.)

2. Aufbau und Funktion der Hammerschmiede

**Die Hammerschmiede des Næs Jernverksmuseums
in Südnorwegen**

**Erhaltung des Großhammers – Fragen der Klimatisierung
Band 2**

Diplomarbeit

vorgelegt dem Fachbereich 5, Gestaltung
Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik
der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

von: Christian Bode

2002/3

Betreut durch
Frau Prof. Ruth Keller-Kempas
Herrn Dr. Achim Unger

Inhalt Band 2

6	<u>UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE UND IHRE INTERPRETATION</u>	8
6.1	EINDRING- UND BOHRWIDERSTANDSMESSUNGEN	8
6.1.1	DAS WASSERRAD	9
6.1.2	DIE RADWELLE	10
6.1.3	HAMMERSTIEL	12
6.1.4	PRELLHOLZ	14
6.1.5	DRUMSTÜTZE-WEST	15
6.1.6	DRUMQUERBALKEN	16
6.1.7	DRUMSTÜTZE OSTSEITE	17
6.1.8	HELM DES KNIPHAMMERS	18
6.2	HOLZARTENBESTIMMUNG AM STORHAMMER	19
6.3	INSEKTENBESTIMMUNG	23
6.4	PILZBESTIMMUNG	26
6.5	WEITERE DURCHFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN	31
6.5.1	BESTIMMUNG EINGELAGERTER SUBSTANZEN	31
6.6	DAS KLIMA	32
6.6.1	BODENMESSUNGEN	36
6.7	ZUSAMMENFASSUNG	39
7	<u>HISTORISCHER ZUSAMMENHANG</u>	44
7.1	HAMMERWERKE UND IHRE ENTSTEHUNG	44
7.2	BESCHREIBUNGEN AUS HISTORISCHEN QUELLEN ÜBER DEN AUFBAU UND DIE ARBEIT IN DEN HAMMERSCHMIEDEN	47
7.3	DIE GESCHICHTE NÆS VERKS	58
7.4	GESPRÄCH MIT OLAF ASLAKSEN	67
8	<u>ENTWICKLUNG UND BEURTEILUNG DENKMALPFLEGERISCHER KONZEPTE ZUR ERHALTUNG DER HAMMERSCHMIEDE</u>	70
8.1	VORBEMERKUNGEN	70
8.1.1	DER PLAN FÜR DAS NÆS JERNVERKSMUSEUM	70
8.2	AUSGANGSSITUATION	73
8.3	MÖGLICHE ANSÄTZE FÜR EIN ERHALTUNGSKONZEPT	76
8.3.1	PFLEGENDER UMGANG	77
8.3.2	ERHALTEN MIT EINEM BETRIEBSNAHEN ERSCHEINUNGSBILD	78
8.3.3	REKONSTRUKTION UND WIEDERINBETRIEBNAHME EINES HAMMERS.	79
8.3.4	SCHLUSSFOLGERUNG	84
8.4	ENTWICKLUNG EINES KONZEPTE ZUR KLIMATISIERUNG DER HAMMERSCHMIEDE DES NAES JERNVERKMUSEUMS IN SÜDNORWEGEN	84

<u>9</u>	<u>VORSCHLÄGE UND MAßNAHMEN ZUR UMSETZUNG DES KONZEPTEES „ERHALTEN MIT EINEM BETRIEBSNAHEN ERSCHEINUNGSBILD“</u>	<u>85</u>
9.1	GEPLANTES VORGEHEN	85
9.1.1	DACHABDICHTUNG	85
9.1.2	SOFORTMAßNAHMEN ZUR SICHERUNG	85
9.1.3	BEKÄMPFUNG DER HOLZ ZERSTÖRENDE ORGANISMEN	86
9.1.4	ÄNDERUNG DES RAUMKLIMAS	89
9.2	WEITERE VORSCHLÄGE ZUR UMSETZUNG DES RESTAURIERUNGSKONZEPTEES AM STORHAMMER	92
9.3	AUFWENDUNGEN	96
9.3.1	DACHABDICHTUNG	96
9.3.2	SICHERUNGS-/ERGÄNZUNGSARBEITEN	96
9.3.3	SCHÄDLINGSBEKÄMPFUNG	98
9.3.4	KLIMATISIERUNG	100
<u>10</u>	<u>DIE ERGÄNZUNG DER DRUMSTÜTZE-OST</u>	<u>101</u>
10.1	AUSGANGSPUNKT	101
10.2	ERGÄNZUNGSMETHODEN	102
10.2.1	HANDWERKLICHE TECHNIKEN	103
10.2.2	FORMSCHLÜSSIGE ANPASSUNG	104
10.2.3	STÜTZENFUßKONSTRUKTION	105
10.3	ÜBERLEGUNGEN ZUR WAHL EINER ERGÄNZUNGSMETHODE	108
10.4	DURCHFÜHRUNG DER ERGÄNZUNG	114
10.4.1	UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	114
10.4.2	DEMONTAGE	115
10.4.3	BEARBEITUNG	116
10.4.4	GIPSABDRUCK	117
10.4.5	VORBEREITUNG DES ERGÄNZUNGSMATERIALS	118
10.4.6	SCANNEN	119
10.4.7	FRÄSEN	121
10.4.8	HOLZSCHUTZ	123
10.4.9	MONTAGE	127
<u>11</u>	<u>LITERATUR</u>	<u>132</u>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Darstellung der gemessenen Schnittebenen der Radwelle	11
Abbildung 2: Darstellung der Schnittebenen der Drumstütze-Ost	17
Abbildung 3: Radialschnitt Fichte des Schussbrettes mit Hyphen in den Holzzellen	19
Abbildung 4	21
Abbildung 5 Troztkopf und Larve	25
Abbildung 6 Gelbrandiger Hausschwamm auf dem Erdboden	27
Abbildung 7: Fruchtkörper und Dunkelfruchtform des Schuppigen Sägeblättlings aus dem Fußbereich der Drumstütze-West	28
Abbildung 8: Lage der Mini Daten Logger im Hammergebäude, Messung Mai 2002	33
Abbildung 9: Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit im Zentrum der Storhammerkonstruktion	35
Abbildung 10: Handbohrstock und Lichtlot	36
Abbildung 11	41
Abbildung 12 Hammerwerk mit Aufwerfhammer und Frischherd (Quelle verloren).....	45
Abbildung 13: Blockdarstellung mechanischer Hämmer, aus: ALTMANN 1999, 66.	46
Abbildung 14: Siegerländer Aufwerfhammer, aus OEHLER 1948.....	47
Abbildung 15: Storhammer 1950, Abb.: Museumsarchiv	50
Abbildung 16: Schwerer Schwanzhammer (oben) und Aufwerfhammer (unten), aus: Schlegel et al. 1983, 151.....	55
Abbildung 17: Prospekt von Næs Verk 1810, aus HAMRAN 1993, 4.	60
Abbildung 18: Jacob Aall	60
Abbildung 19: Næs Verk um 1860, Abb. Museumsarchiv.....	61
Abbildung 20: Næs Verk 1886 nach der Modernisierung (Museumsarchiv)...	62
Abbildung 21: Der Damm vor der Flut	64
Abbildung 22: Hammerschmiede 1890iger Jahre, aus TRÆDAL 1997, 61.	64
Abbildung 23: Olaf Aslaksen, geb. 1913.....	67

Abbildung 24: Rekonstruiertes Hochofengebäude 2002	73
Abbildung 25: Alternlassen, Aufwerfhammer bei Wortley/GB.....	77
Abbildung 26: Frohnauer Hammer (Annaberg-Buchholz), Erneuerung des Wasserrades 2002	79
Abbildung 27: Abgeauter Fussbereich der Drumstütze-Ost.....	101
Abbildung 28: Stützenfuß-Anschluss mit U-Profilen.....	106
Abbildung 29: Stützfuß-Anschluss mit Flacheisen	106
Abbildung 30: Reste der Drumstütze auf einer Tonplatte	109
Abbildung 31: Demontage der Drumstütze-Ost	116
Abbildung 32: Abgebaute Substanz des Fußbereichs.....	117
Abbildung 33: Gips-Negativ mit zur Stammachse rechtwinklig ausgerichtetem Bodenblech	118
Abbildung 34: Scannen der Gips-Negativform	120
Abbildung 35: 3D Punktwolke des Gips-Negativs.....	121
Abbildung 36: Berechnete 3D Oberfläche.....	121
Abbildung 37: Erster Fräsdurchgang an der 3-Achsen CNC-Fräse	122
Abbildung 38: Kesseldruckanlage der Firma SØR-TRE BRUK AS.....	123
Abbildung 39: Bitumenschweißbahn und Wolmanit-CFB-Holzschutzbandagen	125
Abbildung 40: Montierung der Holzschutzbandage und der Bitumenschweißbahn.....	126
Abbildung 41: Detailaufnahme der Übergänge Bitumen-Ergänzung und Ergänzung-Original	127
Abbildung 42: Ausgeschachtete Grube mit dem eingesetzten Kiefernstamm; auf der linken Seite ist das Fundament des Luftdruckhammers und auf der rechten Seite das des Gebäudes zu sehen.....	128
Abbildung 43: Rundstahlstreben zur vertikalen Sicherung	129
Abbildung 44: Detail nach abgeschlossener Montage.....	130
Abbildung 45: Gesamtansicht nach abgeschlossener Montage.....	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausmaß an Materialverlust in % für die neun Balken der Radwelle	11
Tabelle 2: Verbaute Holzarten und makroskopische/mikroskopische Analyse der entnommenen Proben	20
Tabelle 3: Am Storhammer gemessene Holzfeuchte	23
Tabelle 4: Zusammenstellung wichtiger Merkmale der identifizierten Pilzarten	30
Tabelle 5: Mittel- und Grenzwerte der Profilmessung vom Mai 2002.	34
Tabelle 6: Mittel- und Grenzwerte	34
Tabelle 7: Wassergehalte w und Glühverluste V_{GL} ausgewählter Proben	38
Tabelle 8: Zustand Hammergebäude	42
Tabelle 9: Zustand Großhammer	43
Tabelle 10: Zeitlicher Überblick der Gebäude des Næs Jernverksmuseums	72
Tabelle 11: Konzepte Großhammer	82
Tabelle 12: Konzepte Hammergebäude	83
Tabelle 13: Maßnahmen zur Umsetzung am Hammergebäude	91
Tabelle 14: Maßnahmen zur Umsetzung am Großhammer	94
Tabelle 15: Bekämpfung der Schadorganismen nach: UNGER et al. 2001, 275-348. ..	95
Tabelle 16: Ergänzung am Beispiel des Drumstütze-Ost.....	107

6 Untersuchungsergebnisse und ihre Interpretation

6.1 Eindring- und Bohrwiderstandsmessungen

Hölzer, die durch Pilz- oder Insektenbefall auch an den Außenseiten abgebaut worden sind, können durch das Eindringverhalten eines manuell geführten, dünnen Messstabes auf ihren Restquerschnitt untersucht werden. Diese Voraussetzung erfüllten im wesentlichen die Stirnseiten der Radwelle. Ist das Holz bei intakten Außenseiten durch eine Innenfäule abgebaut, kann, wie im weiteren verfahren, die Bohrwiderstandsmessung angewendet werden.

Die Bohrmesspositionen wurden zunächst nach beschriebenen Kriterien, wie beispielsweise Randbedingungen oder Holzanatomie, ausgewählt. Der Messvorgang erfolgte in festgelegten Querschnittsebenen und fast ausschließlich radial mit einer Bohrung pro Querschnitt. Auf diese Weise entstanden etwa 140 Messungen, die für die Auswertung verwendet werden konnten. Um die vorhandenen Holzeigenschaften zuordnen zu können, wurden vor Ort Vergleichsmessungen an einheimischen, sowohl frischen als auch verbauten Bauhölzern aufgenommen.

Das Bohrgerät, das für diese Arbeit freundlicherweise vom Studiengang Bauingenieurwesen¹ zur Verfügung gestellt wurde, trägt die Bezeichnung RESISTOGRAPH 2450-P.

Für die Auswertung wurden die Bohrpositionen als Schnittebenen gezeichnet und die skalierten Bohrdiagramme eingefügt. Da die Software² zur Auswertung der Diagramme einen Datenexport nicht zuließ, wurden alle Diagramme als Pixelbilddatei mit einer Photosoftware weiterbearbeitet und in eine Schnittzeichnung eingefügt. Die Bereiche der Bohrprofile, mit einer erheblichen Abnahme des Bohrwiderstandes, sind grafisch als geschädigt, beziehungsweise nicht tragfähig gekennzeichnet. Die verbleibenden Bereiche bilden den sogenannten tragfähigen Restquerschnitt. Die zweidimensionale Darstellung ist eine theoretische Schlussfolgerung, die unter Berücksichtigung der

¹ Fachbereich 2 der FHTW-Berlin, Labor Baustoffkunde.

² DecomNG V.1.6.

Randbedingungen (Abschnitt 4.2.2.3) und der Art des vorhandenen Holzabbaus (Abschnitt 5.3) abgeleitet werden konnte.

Da die Tragfähigkeit eines Trägers sich nach seinem Querschnitt richtet, ist es sinnvoll, das Ausmaß der zerstörten Bereiche prozentual gegenüber dem Holzquerschnitt anzugeben, um mit dem verbleibenden tragfähigen Restquerschnitt rechnen zu können.³

6.1.1 Das Wasserrad

Vorgehensweise

Die Bohrwiderstandsmessungen am Wasserrad erfolgten an den acht Eichenbalken des Radkreuzes. Pro Balken kamen in der Regel vier Messungen in Betracht, vorrangig in den Bereichen mit den angenommenen maximalen Biegemomenten und bei den Messungen im Mittelstück, mit Versatz in die Nähe der Wellenbalken, da hier eine Infektion mit Braunftäule von der Welle möglich wäre. Die durchgeführten Messungen ergaben insgesamt 40 Bohrprofile.

Ergebnisse

Die Balken mit dem höchsten Anteil an geringem Bohrwiderstand, also dem kleinsten Restquerschnitt, fanden sich an der Vorderseite (Ostseite) hauptsächlich oben an den beiden senkrechten Balken und in der Mitte der waagerechten Balken. Das Ausmaß der Widerstandserniedrigung pro Querschnitt reichte bis 70 % und zeigte sich fast ausschließlich im Kern. Die durchschnittlichen Werte liegen zwischen 10 und 30 %.

Am vorderen, oben waagrecht liegenden Balken, ist eine Kombination von gleichmäßig niedrigem und sprunghaft stark abfallendem Bohrwiderstand erkennbar.

Interpretation

Die Eichenbalken des Wasserrades sind überwiegend durch eine Innenfäu-

³ GÖRLACHER et al. 1999, 25.

le abgebaut. Die Bereiche, die durch eindringendes Wasser aus einer defekten Dachabdichtung eine erhöhte Holzfeuchte aufweisen, zeigen auch die größte Zerstörung. Das betrifft derzeit den, auf der Vorderseite oben liegenden, waagerechten Balken. Er ist einer der beiden höchstbelasteten Träger des Wasserrades und wird an den Ausschnitten auf Abscheren beansprucht.

6.1.2 Die Radwelle

Vorgehensweise

Da die Welle aus neun Balken zusammengesetzt ist und jeder dieser Balken andere Eigenschaften besitzt, wurden auch an allen Balken Messungen durchgeführt. Bei einer Gesamtbreite der Welle von 78-80 cm mußte aufgrund der nur 45 cm langen Bohrnadel von beiden Seiten gebohrt werden. So ergaben sich bei drei Balkenlagen jeweils sechs Bohrungen pro Wellenschnitt. In einzelnen Bereichen auf der Hammerseite, wurde aus Platzmangel von diesem System abgewichen und beispielsweise nur von oben gebohrt. Die an den Stirnseiten eingekeilten Lagerzapfen ließen an dieser Position eine Messung in der Mitte nicht zu.

Zusammen mit der Eindringmessung sind auf diese Weise 17 Schnitte entstanden.

Ergebnisse

Die Analyse der Messergebnisse zeigt, dass fast alle Balken eine deutliche Erniedrigung des Bohrwiderstandes bis zu 100 % des gemessenen Querschnitts aufweisen. Nur der in der Mitte und der auf der Nordseite zu unterst liegende Balken setzten der Nadel einen, für Kiefernholz normalen Widerstand entgegen. Erheblich niedrige Werte konnten an den Stirnseiten der Welle, vor dem Wasserrad und im mittleren Balken der obersten Balkenlage nachgewiesen werden (Abbildung 1).

Untersuchungsergebnisse und ihre Interpretation

Tabelle 1: Ausmaß an Materialverlust in % für die neun Balken der Radwelle⁴

Abk.: Bohrwiderstandsmessung (BWM), Eindringmessung (EM), Fruchtkörper (FK), Querschnitt (QS), Süd (S), Mitte (M), Nord (N)

QS	OBEN			MITTE			UNTEN			BEMERKUNGEN
	S*	M	N*	S	M	N	S*	M	N*	
										EM, *abgerundet
1	30	20	20	40	Lager	20	40	10	30	EM, Keile, keine BWM,
2	70	>70	20	50	Lager	>80	80	30	10	EM, Keile
3	10	----	50	30	Lager	90	40	----	----	EM, keine BWM
4	10	----	10	20	Lager	70	40	5	----	EM, keine BWM
5	60	>70	20	40	>20	80	40	30	20	EM
6	60	100	20	70	0	50	50*	60	0	EM, *ausgebrochen
7	----	70	10	5	10	40	20*	0	0	EM, *ausgebrochen
8	50	>70	10	70	0	40	40*	0	0	EM, *ausgebrochen
9	80	>70	0	50	0	20	30	0	----	
10	50#	100	30	30	0	30	30*	5	5	*ausgebrochen, #FK. Schupp. Sägeblättling
11	50#	40	20	40	5	5	40	25	5	#FK. Schupp. Sägeblättling
12	30	80	30	50	0	<5	25	15	5	
13	85	0	60	20	0	0	30	30	10	
14	50	0	40#	35	0	10	50	20	10	#FK. Muschelkrempling
15	65	0	60	20	5	15	20	15	25	
16	40	30	80	20	10	20	50	40	40	
17	70	55	90	25	Lager	----	70	60	80	Keile

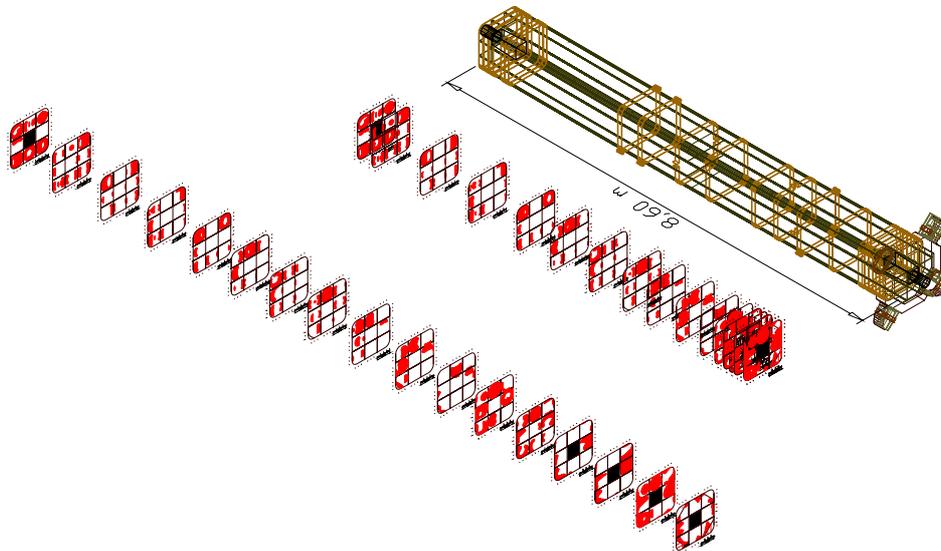


Abbildung 1 Darstellung der gemessenen Schnittebenen der Radwelle

⁴ Die Prozentzahlen geben die Bereiche an, bei denen der Bohrwiderstand deutlich, bis fast auf den Leerlaufwiderstand abfällt.

Interpretation

Obwohl die gemessenen Bohrprofile nur Stichproben darstellen, so vermitteln sie einen guten Eindruck von Grad und Ausmaß abgebauter Substanz der neun Balken. Gerade das hintere Lager und der Bereich vor dem Wasserrad sind infolge des fortwährenden Wasserzutritts über die Dachschäden der Wasserradeinhausungen durch Innenfäule erheblich geschwächt. Der zentrale Balken scheint durch die umliegenden Balken abgeschirmt worden zu sein. Dieser und der auf der Nordseite unten liegende Balken zeigen, bis auf die Balkenenden, über ihre Länge eine geringe Schädigung.

Die stark geschwächten Balken der Welle werden durch provisorische Stützen abgefangen. Die Stützen sind derzeit so positioniert, dass sie unmittelbar unter den Stirnseiten und kurz vor dem Wasserrad die Last aufnehmen. Beide Stirnenden der Welle sind aber bereits so weit zerstört, dass sie hinter den Stützen zu brechen drohen. Besonders am hinteren Lager, wo die ständig wirkende Masse von 2,5 t des Wasserrades die Welle belastet, zeichnet sich ein Versagen der Tragfähigkeit ab.

6.1.3 Hammerstiel

Vorgehensweise

Am Hammerstiel wurde mit neun Bohrungen in sechs Querebenen gemessen. Fünf Ebenen verliefen quer und eine in Längsrichtung des Stieles. Letztere erfolgte in das verkeilte Hirnholz am Lager. Neben den sonst horizontalen Messungen wurde in der ersten Ebene, hinter dem Hammerkopf, vertikal gebohrt. In der fünften Ebene sind zwei Profile im Winkel von 45° zur Horizontalen gemessen worden, um einerseits einen Trocknungsrisss zu umgehen und andererseits mehr Informationen für den außen bereits durch Braunfäule angegriffenen Lagerbereich zu erhalten.

Für die Messungen kamen möglichst schon geschädigte Bereiche der Oberfläche, wie Bohrlöcher in Frage⁵.

Ergebnisse

Bereits während des Bohrvorgangs war ein wesentlich höherer Widerstand als bei den vorangegangenen Messungen spürbar. In nicht geschädigten Bereichen erreichte der Bohrwiderstand Werte, die die der Kiefer um das doppelte übertrafen. Gleichzeitig war bei fast allen Messungen ein erhöhter Leerlaufwiderstand am Ende zu verzeichnen. Um nicht durch den Druck des Vorschubs eine Veränderung der Position des Bohrgerätes zuzulassen, mußte die Druckkraft gegen den Hammerstiel um einiges erhöht werden. Das Gerät arbeitete an seiner Leistungsgrenze.

Die fünfte Querschnittsebene weist zwischen dem Außenrand und dem mittleren Bereich einen stark abfallenden Widerstand von circa 30 % auf. Die anderen Ebenen zeigen keine oder geringere Prozentzahlen.

Bei mehreren Messprofilen ist der Mindestwiderstand im Zentrum um die Hälfte geringer als der Normalwiderstand.

Interpretation

Die aufgenommenen Widerstandswerte der Schnittzeichnungen 4 und 5 können als ringförmige Ausbreitung, der außen sichtbaren Braunfäule am Ende vor dem Lager beschrieben werden. Fluglöcher mit einem Durchmesser von 3 mm signalisieren zusätzliche Fraßschäden des Troitzkopfs. Der unbeeinflusste Restquerschnitt am Ende des Hammerstiels liegt dennoch höher als der Gesamtquerschnitt am Hammerkopf, dem Bereich mit der höchsten Belastung im Betrieb.

Der auffallend hohe Widerstand ist die Folge der physikalischen Eigenschaften der Birke. Rohdichte und Elastizität, besonders nordischer Birken, können sehr hohe Werte erreichen, weshalb sie gerade für die am stärksten beanspruchten Hammerhölzer ausgewählt wurden. Die hohe Rohdichte ist e-

⁵ Da das Ausflugsloch des Troitzkopfs den gleichen Durchmesser mißt wie das Bohrloch der Bohrnadel und zahlreich vorhanden ist, besteht die Möglichkeit den Eingriff zurückhaltend zu gestalten.

benso als Ursache für den Bohrtrend anzusehen. Die erhöhte Menge an Bohrspänen verursacht eine höhere Reibung im Bohrkanal, die mit fortschreitender Bohrtiefe steigt und bei Wiederaustritt der Nadel den Leerlaufwiderstand als deutlich höheren Wert anzeigt.

Die Mindestwiderstände im Kern des Hammerstiels stellen, verglichen mit dem Normalwiderstand, ein deutlich niedriges Niveau dar. Diese Widerstände liegen jedoch bei Werten, die z.B. bei der Kiefer ein Maximum bilden, so dass intakte Eigenschaften geschlußfolgert werden könnten. Dennoch ist ein derartiger Abfall des Widerstands ein Hinweis darauf, dass bereits leicht geschädigtes Material vorliegt.

6.1.4 Prellholz

Vorgehensweise

Die durchgeführten acht Einzelmessungen ergaben ebenso viele Querschnittzeichnungen für die grafische Auswertung. Ihre Anordnung wurde auf der Gesamtlänge von 4,5 m relativ gleichmäßig verteilt.

Ergebnisse

Bei allen acht Ebenen durchquerte die Bohrnadel die Mitte des Stamms in Leerlaufleistung des Motors. Neben abrupten, auch manchmal nur kurzen Widerstandseinbrüchen sind langsam abfallende Werte festzustellen. Die siebente Querschnittsebene, angelegt am hinteren, rechteckigen Ende des Stamms, hat nach den gemessenen Angaben mit 20 % den geringsten Restwiderstand.

Vergleichbar mit den Widerstandsmessungen am Hammerstiel, ergaben die Messungen sehr hohe Widerstandswerte mit einsetzendem Bohrtrend.

Interpretation

Das Prellholz verfügt auf der gesamten Länge nur noch über eine äußere, wenige Zentimeter messende Hülle. Mit einem Restquerschnitt von 20 % erfüllt der Birkenstamm nur noch eine selbsttragende Funktion. Die aufgezeich-

neten sprunghaften oder allmählichen Wechsel zwischen hohen und niedrigen Widerstandswerten können als Fraßschäden (Sprung) und Innenfäule (Übergang) interpretiert werden. Der kombinierte Befall zeigt sich auch anhand der Fluglöcher des Trotzkopfs.

Das hohe Widerstandsmaximum ist, vergleichbar mit dem des Hammerstiels, auf die hohe Rohdichte der Birke zurückzuführen.

6.1.5 Drumstütze-West

Vorgehensweise

Gemessen wurde in sechs horizontalen Querebenen mit Konzentration auf den unteren, durch Braunfäule stark abgebauten Bereich. Um möglichst ein geschlossenes Bild der vier Kanthölzer zu erhalten, waren 23 Bohrungen von verschiedenen Seiten vorgesehen. Vier der Bohrungen erfolgten im Winkel von 45° in den Bereich unterhalb des Bodenniveaus.

Nach etwa der Hälfte der Bohrungen wurde der Vorgang durch ein abruptes Ende der Akkukapazität unterbrochen. Leider konnte der vorhandene Netzanschluß nicht für die Bohrmessung, sondern nur für die Akkuladung verwendet werden. Die anschließend mit aufgeladenem Akku durchgeführten Messungen erzielten zwar den gleichen Verlauf, aber mit wesentlich niedrigeren Widerstandswerten. Darauf wurden alle schon gebohrten Messungen an der Drumstütze wiederholt.

Die fünfte Schnittebene führt durch den Zapfen des Drumquerbalkens.

Ergebnisse

Die Messprofile der ersten Querschnittebene sind durch zwei unterschiedliche Wertebereiche gekennzeichnet: Ein vollständiger Materialverlust im Splintholzbereich, etwa 60 %; und ein leicht abgesenkter mittlerer Widerstand der noch vorhandenen Substanz. Erst ab der vierten Messebene steigt der Widerstand vereinzelt auf vergleichbare Normalwerte für Kiefernholz. Der Mindestwiderstand der vierten Ebene liegt in einem Bereich von bis zu 30 % im

Leerlaufniveau.

Profile der fünften und sechsten Schnittebene zeigen zwar keine starke Widerstandsabsenkung, aber der mittlere Bohrwiderstand erreicht nur geringe Werte.

Interpretation

Der Fuß der Drumstütze-West weist neben dem vollständigen Materialverlust einen, über den Querschnitt aller vier Balken verringerten, mittleren Widerstand auf. Da dieser Zustand nicht auf minderwertige Holzeigenschaften, wie beispielsweise eine geringe Rohdichte durch besonders breite Jahrringe, zurückgeführt werden kann, ist die Ursache dem biologischen Abbau zuzuschreiben. Dieser ist auch hier eine Kombination aus Braunfäule und Insektenbefall.

6.1.6 Drumquerbalken

Vorgehensweise

Die Untersuchung des Drumquerbalkens erfaßte insgesamt zwölf Querschnittsebenen. Davon wurden zehn Messungen vertikal, von oben in den Stamm, mit einem Abstand von circa 1 m durchgeführt. Zwei weitere Bohrwiderstandsmessungen sind bei der Diagnose der beiden Stützen durch die Zapfen des Drumquerbalkens erfolgt. Auf diese Weise konnten sechs Schnittzeichnungen des neuen Querbalkens und sieben des alten Querbalkens ausgewertet werden.

Ergebnisse

Die Bohrprofile des neuen Drumquerbalkens zeigen keine auffälligen Verringerungen des Widerstandes. Die Profile des alten Querbalkens sind lediglich in den Schnittebenen zwei und fünf über jeweils einen Bereich von 10 % durch einen Abfall des Widerstandes gekennzeichnet.

Interpretation

Der Drumquerbalken verfügt am alten Teil über wenige kleine, zu vernachlässigende, zerstörte Randbereiche.

6.1.7 Drumstütze Ostseite

Vorgehensweise

Für die Drumstütze-Ost wurden mit zehn Bohrwiderstandsmessungen sieben Querschnitte erstellt (Abbildung 2). Zwei Bohrungen erfolgten im Winkel von 45° in den eingegrabenen Balkenfuß und bilden die unterste Ebene null. Die Messdichte konzentrierte sich auf den unteren Bereich, da hier ein fortgeschrittener Abbau vermutet wurde. Schnittebene fünf führt durch den Zapfen des Drumquerbalkens, um seine Tragfähigkeit zu prüfen. Die Schnittebene sechs erfasst den Keil über dem Zapfen.

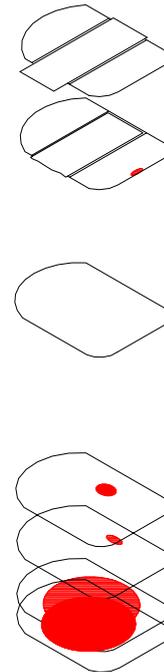


Abbildung 2: Darstellung der Schnittebenen der Drumstütze-Ost

Ergebnisse

Unterhalb des Bodenniveaus und 10 cm über dem Boden wird nur im Randbereich über wenige Zentimeter, ein, der Fichte entsprechender, Normalwiderstand aufgezeichnet. 80 % des Querschnitts wurden fast widerstandslos durchbohrt. Im nächst höheren Schnitt, bei 35 cm über dem Boden, und in dem darauffolgenden, ist auf dem Bohrprofil ein geringer Widerstandsabfall über einen Bereich von 10 % zu erkennen. Die fünfte Querschnittsebene weist an der Südseite der Stütze auf einen Bereich geminderter Dichte.

Interpretation

Das sich im Erdreich befindende Balkenende ist durch Braunfäule beziehungsweise Moderfäule vollständig abgebaut. Zu dem Verlust der vertikalen Fixierung, versinkt die Stütze mit zunehmendem Materialabbau. Oberhalb des Bodenniveaus setzt sich der zerstörte Bereich als Innenfäule bis vermutlich 35 cm über dem Boden fort. Die Fehlstellen der dritten und vierten Ebene sind entweder durch einen Trocknungsrisse oder durch Dichteverlust infolge eines Materialabbaus verursacht worden.

Das obere Ende der Stütze ist lokal durch einen Holz zerstörenden Pilzbefall geschädigt worden, der heute abgetrocknet ist.

6.1.8 Helm des Kniphammers

Vorgehensweise

Im Abstand von 50 cm hinter dem Hammerkopf des Kniphammers, wurde die Bohrnadel durch den von außen offensichtlich stark zerstörten Hammerstiel horizontal gebohrt.

Ergebnisse

Auf dem Bohrprofil ist auf 75 % des mittleren Bereichs eine deutliche Widerstandsverringering zu erkennen. Am Ende des Profils befindet sich ein kurzes Kurvental.

Interpretation

Wie angenommen ist der Kern des Birkenstammes komplett abgebaut. Das kurze Kurvental kann für einen Fraßschaden stehen. An dieser Stelle sind auch der Troztkopf und vermutlich seine Larve gefunden worden.

6.2 Holzartenbestimmung am Storhammer

Vorgehensweise

Als Probenmaterial für die Holzartenbestimmung dienten hauptsächlich Splitter vorhandener Oberflächenverletzungen. Die entnommenen Holzproben wurden gereinigt und zwei Wochen in ein Gemisch aus gleichen Teilen Ethanol und Glycerol bis zur Sättigung eingelegt. Die so schnittfähigen Hölzer konnten in der Hand mit einer Rasierklinge zu Dünnschnitten, radial, tangential und longitudinal, präpariert werden (Abbildung 3).

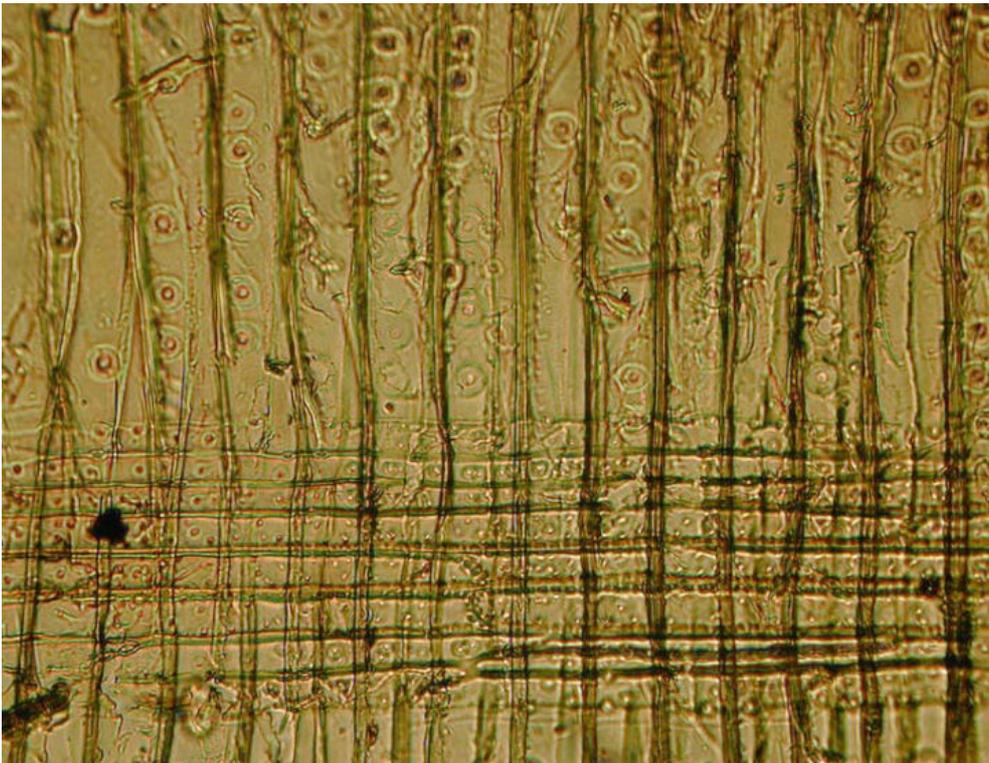


Abbildung 3: Radialschnitt Fichte des Schussbrettes mit Hyphen in den Holzzellen

Für die Bestimmung stellte freundlicherweise das Botanische Museum Kristiansand ein Stereo-Durchlicht-Mikroskop⁶ zur Verfügung. Und mit einer aufgesetzten Kamera konnten alle Schnitte aufgenommen werden, bevor sie in Kanadabalsam zur Fixierung eingebettet wurden.

Ergebnisse und Interpretation

Die vorliegenden Dünnschnitte sind in der Regel von guter Festigkeit, da abgebautes Holz keinen auswertbaren Handschnitt ermöglichte.

Tabelle 2: Verbaute Holzarten und makroskopische/mikroskopische Analyse der entnommenen Proben⁷

NR.	BAUTEIL	HOLZART	MERKMALE makroskopisch	MERKMALE mikroskopisch
1	Drumstütze West	Kiefer	Innen unzerstört, außen verfärbt	Keine Zerstörung
2	Radkreuz	Eiche	Zerstört, vermutlich Weißfäule	Ohne Befund, Einlagerungen
3	Radwelle	Kiefer	Unzerstört	Ohne Befund, Einlagerungen
4	Hammerstiel	Birke	Keine Aussage	Ohne Befund
5	Drumbalken alt	Fichte	Beginnende Zerstörung, Braunfäule	Stäbchenförmige Bakterien u.a. eingelagert, ohne Befund
6	Drumstütze Ost	Fichte	Innen unzerstört, außen verfärbt	Ohne Befund, Einlagerungen
7	Prellholz	Birke	Angegriffen, mazeriert (?)	Ohne Befund
8	Nocken	Birke	beginnende Moderfäule von außen	Ohne Befund
9	Bolzen	Nadelholz	Innen unzerstört, außen verfärbt (Schmutz, Moderfäule)	Kein Schnitt vorhanden
10	Radschaufel	Kiefer	Braunfäule	Ohne Befund, Einlagerungen, Hyphen holzfärbender Pilze
11	Schußbrett	Fichte	Zerstört, Braun- und Moderfäule	abiotischer Abbau, Einlagerungen, Hyphen
12	Drumbalken neu	Kiefer	Unzerstört	Ohne Befund
13	Ambossfundament	Kiefer	Zerstört, Mycel	Zerstört, viele Einlagerungen, Hyphen

⁶ Mikroskop der Schweizer Firma WILD/HEERBURG; Digitalkamera Nikon Coolpix 950.

⁷ Bestätigung der Holzarten und Interpretation durch Prof. Dr. W. Unger (FH Eberswalde) und Dr. A. Unger anhand der digitalen Mikroskopaufnahmen (Dez. 2001).

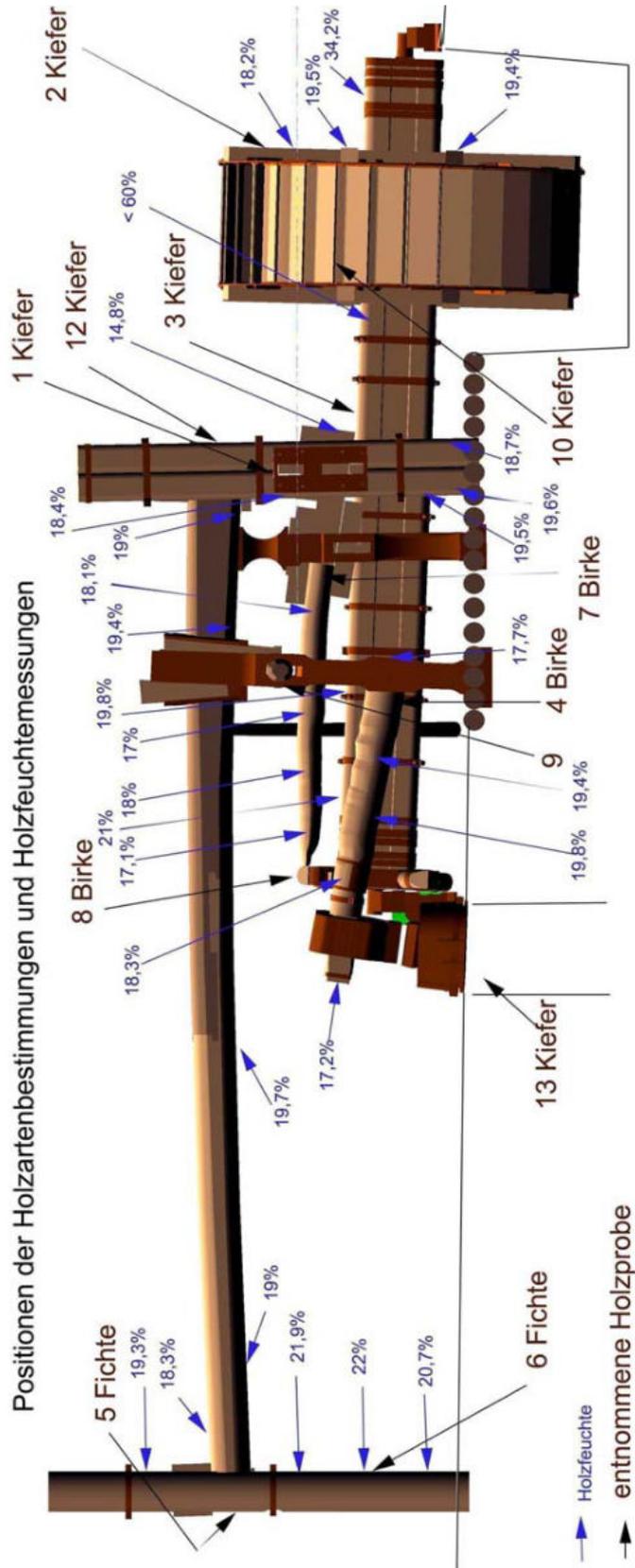


Abbildung 4

Die Holzfeuchte

Vorgehensweise

Die Bestimmung der Holzfeuchte während der Durchführung dieser Diplomarbeit erfolgte nur am Storhammer unter der Verwendung des elektrischen Holzfeuchtemessgerätes HYDROMETTE HT 65 der Firma GANN mit Einschlag-elektrode und 5 cm Elektrodenadeln. Gemessen wird die Leitfähigkeit beziehungsweise der elektrische Widerstand zwischen zwei Elektroden, unter Einfluß der Holzart, der Temperatur und der Zellinhaltsstoffe. Um festzustellen, ob die Feuchtigkeitswerte nicht nur die Folge eines kurzzeitigen Wasserzutritts darstellen, sondern stete Wasserzufuhr vorherrscht, werden die Messelektroden etwa 4 cm tief in das Holz getrieben.

Ergebnisse

Die gemessenen Werte liegen durchschnittlich bei 18 bis 20 %. Diese Prozentmenge wird auch als *lufttrocken* bis *trocken* bezeichnet. Die Werte werden maßgeblich durch die hohe relative Luftfeuchtigkeit im Hammergebäude bestimmt.

Holzfeuchten über der Fasersättigung (>30%) wurden in Bereichen gemessen, die durch Wasserzutritt aus dem Boden oder aus defekter Dachabdichtung verursacht werden. Ersteres gilt für die Drumstützen, die ungeschützt in den feuchten Erdboden eingesetzt wurden. Letzteres betrifft den hinteren Teil der Radwelle. Die über das Darrgewicht ermittelte Holzfeuchte einer Probe, welche vor dem Wasserrad neben einem gefundenen Fruchtkörper entnommen wurde, ergab den Wert von 239 %⁸.

⁸ Freundlicherweise durch Dr. A. Unger (s. Anlage).

Tabelle 3: Am Storhammer gemessene Holzfeuchte⁹

BAUTEIL	HOLZART	ANZAHL DER MESSUNGEN	HOLZFEUCHTE MIN. – MAX.
Wasserrad	Eiche	4	17,5 bis 19,5 %
Radwelle	Kiefer	11	19,8 bis 239 %
Hammerstiel	Birke	5	17,2 bis 19,8 %
Prellholz	Birke	5	14,8 bis 18,1 %
Drumstütze West	Kiefer	4	18,4 bis 19,6 %
Drumbalken neu	Kiefer	2	18,9 bis 19,4 %
Drumbalken alt	Fichte	3	18,3 bis 19,7 %
Drumstütze Ost	Fichte	4	19,3 bis 22,1 %

Interpretation

Bevorzugen die meisten Holz zerstörenden Organismen Holzfeuchten um den Fasersättigungspunkt oder höher, so erfolgt eine Besiedlung durch Pilze ab einer Holzfeuchte von 20 % und durch Insekten bereits im lufttrockenen Zustand (15-18 %). Zu diesen, allein schon guten Bedingungen, wird bei zusätzlicher, lokal erhöhter Substratfeuchte das Feuchteoptimum und so die höchste Abbaugeschwindigkeit erreicht.

In diesem Sinn kann von einer gleichbleibend erhöhten Holzfeuchte und der damit verbundenen weiteren Holzerstörung ausgegangen werden, sollten die Umgebungsbedingungen nicht geändert werden.

6.3 Insektenbestimmung

Vorgehensweise

Während der Flugzeit der Insekten wurden für einen Monat zwei Pheromonfallen, am Kniphammer und am Storhammer, jeweils im Bereich des Hammerstiels aufgestellt. Die auf den Klebeflächen montierten Kapseln enthielten den Pheromon-Lockstoff des Gewöhnlichen Nagekäfers (*Anobium punctatum* DE GEER)^{10, 11}.

⁹ Gemessen am 25.05.02 mit Gann Hydromette HT 65 in 4 cm Tiefe.

¹⁰ Norwegisch: Stripet borebille.

Bei einer Untersuchung des Hammerstiels des Kniphammers konnten ein Käfer und eine Larve (beide lebend) entnommen werden.

Ergebnisse

Die am Kniphammers positionierte Pheromonfalle läßt mit neun gefangenen, etwa 3 mm großen Exemplaren, die rege Aktivität des Gewöhnlichen Nagekäfers deutlich werden. Dieser Nagekäfer gehört zu den Trockenholz-Insekten, bevorzugt jedoch ein kühles, feuchtes Klima und Holzfeuchten um 30%.¹² Ein Weibchen des Gewöhnlichen Nagekäfers kann bis zu 40 Eier ablegen und die daraus entstehenden Larven können zwei bis vier, aber auch bis zu zehn Jahre im Holz ihr Werk verrichten.

„Die Larven fressen im Nadelholz besonders das Frühholz [...]; im Laubholz fressen sie regellos. Die Käfer sind ortstreu und verbleiben über Generationen im gleichen Holz bis zu dessen vollständiger Zerstörung [...].“¹³

„Dauerhafte Kernhölzer werden nur nach vorhergegangenem Pilzbewuchs befallen.“¹⁴, also auch in der Hammerschmiede möglich.

Die beim Storhammer aufgestellte Pheromonfalle zeigte keinen Hinweis auf einen aktiven Befall.

Die Bestimmung des am Kniphammer gefundenen, 6 mm großen Käfers, bereitet aufgrund der markanten hellen Haarflecken auf dem Halsschild, wie sie beim Trotzkopf (*Coelostethus pertinax* L.)¹⁵ vorhanden sind, keine Schwierigkeiten (Abbildung 5).

Für die Larve gestaltet sich die Bestimmung schwieriger. Größe und Form sprechen ebenfalls für den Trotzkopf oder für den gewöhnlichen Nagekäfer. Der Trotzkopf zählt in die Kategorie der Faulholz-Insekten und befällt pilzbefallenes Holz. Seine 3 mm großen Ausflugslöcher sind auch an den meisten

¹¹ Bezogen über die Firma ANTICIMEX in Oslo. Es waren nur Fallen für diesen Nagekäfer erhältlich.

¹² Optimalbedingungen: 21-24°C, 90 % RH und 28-30% Holzfeuchte, unterhalb 10 % keine Entwicklung; Lethaltemperatur 47-50°C. (UNGER et al. 2001, 58.)

¹³ KEMPE 1999, 148.

¹⁴ SUTTER 1992, 78.

¹⁵ Norwegisch: Råteborebille.

Hammerhölzern zu finden. Die Larven, die aus etwa sechs bis acht Eiern schlüpfen, haben eine Entwicklungszeit von über zwei Jahren und schädigen vor allem Frühholzbereiche.¹⁶



Abbildung 5 Trotzkopf und Larve

Interpretation

Es kann somit von mindestens zwei aktiven Holz zerstörenden Käferarten ausgegangen werden. Der Befall durch den Trotzkopf ist ein eindeutiges Zeichen für das Vorhandensein von Pilz geschädigtem Holz. Das bedeutet, dass für seine Bekämpfung die Holz Trocknung oder Beseitigung des Pilzbefalls im Vordergrund steht.

Da keine größeren Fluglöcher beziehungsweise Fraßgänge gefunden wurden, die Temperaturen weit unter dem Optimum liegen und die Hölzer ein ho-

¹⁶ UNGER et al. 2001, 65.

hes Alter erreicht haben, kann ein Befall durch den Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus* L.)¹⁷ ausgeschlossen werden.

6.4 Pilzbestimmung

Vorgehensweise

Die ersten Hinweise konnten visuell über die Oberflächenveränderungen und die Klangprobe lokalisiert und mit Hilfe einer Prüfung der Holzfeuchte bestätigt werden.¹⁸ Vor Ort entnommene Fruchtkörper wurden keimfrei und trocken verpackt und zur Bestimmung nach Berlin weitergegeben. Die makroskopische und mikroskopische Bestimmung der Pilzart übernahmen freundlicherweise Frau Dr. W. Unger, Professorin an der FH Eberswalde und Dr. A. Unger.¹⁹

Gegen Ende der praktischen Arbeiten in der Hammerschmiede, hatten sich innerhalb kurzer Zeit schichtpilzartige, gelb-braune Fruchtkörper auf dem Boden des Hammergebäudes gebildet (Abbildung 6). Die befallenen Bereiche befanden sich um den Fuß des Krans am Storhammer und auf der rechten Seite des Doppelkammerofens. Alte, auf und im Erdboden liegende, bereits abgebaute Holzreste dienten als Nährstoffquelle.

Da durch die makroskopische Beurteilung der Fruchtkörper ein Vorliegen des Echten Hausschwamms nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden konnte, ist, in Anlehnung an die Vorgaben der DIN 68800-4 Abs. 4, insgesamt etwa 1,5 m³ des Erdreichs um die befallenen Bereiche abgetragen und entsorgt worden. Anschließend wurden die Gräben mit einem feinkörnigen, humusarmen, der Farbe des originalen Bodens sehr ähnlichen, Erdreich wieder aufgefüllt.²⁰

¹⁷ Norwegisch: Husbuk.

¹⁸ Abschnitt 4.

¹⁹ Mai 2002.

²⁰ Bodentyp NS 3420 Vekstjord, bei Firma BREKKA SANDTAK A.S. Arendal bezogen.



Abbildung 6 Gelbrandiger Hausschwamm auf dem Erdboden
der Hammerschmiede

Ergebnisse

An der Konstruktion des Storhammers konnten zwei verschiedene Pilzarten bestimmt werden. Zwischen der oberen und mittleren Balkenlage der Welle hatten sich, seit dem vergangenen Jahr²¹, die Fruchtkörper des Muschelkremplings (*Tapinella panuoides* (Fr.: Fr.) Gilb.)²² und des Schuppigen Sägeblättlings (*Lentinus lepideus* (Fr.: Fr.)Fr.)²³ ausgebildet (Abbildung 7). Infolge des Lichtmangels wurden durch den Schuppigen Sägeblättling geweihartige Dunkelfruchtformen gebildet, die auf der halben Länge der Wellen-Südseite aus dem Spalt zwischen Ober- und Mittelbalken herauswachsen. Auf der Hammerseite der Welle, vor dem Wasserrad, fand der Muschelkrempling seine Bedingungen für die Ausbildung eines Fruchtkörpers.

²¹ Im Sommer 2001 waren keine Fruchtkörper, nur Oberflächenmycel ausgebildet.

²² Norwegisch: Huspluggsopp.

²³ Norwegisch: Svilesopp.

Ein weiterer, gut versteckter, aber großer Fruchtkörper des Schuppigen Sägeblättlings befand sich am Fuß der Drumstütze West, unterhalb der Holzfundamentebene.

Obwohl ein Befall durch Moderfäuleerreger nicht nachgewiesen werden konnte, so ist er bei den vorherrschenden Bedingungen, wie der hohen Feuchtigkeit, nicht auszuschließen. Feiner Würfelbruch oder eine starke Dunkelfärbung der Oberfläche sind typische, auch hier anzutreffende Befallsmerkmale der Moderfäule.



Abbildung 7: Fruchtkörper und Dunkelfruchtform des Schuppigen Sägeblättlings aus dem Fußbereich der Drumstütze-West

Eine sichere Unterscheidung der am Boden gewachsenen Fruchtkörper vom Echten Hausschwamm gestaltete sich aufgrund der geringen Größe schwierig. Dank einer Untersuchung durch Dr. Paul Heydeck der Landesforstanstalt Eberswalde, Abteilung Waldschutz, gelang es, unter anderem anhand der Sporen und Hyphen, als vorliegenden Befall den Gelbrandigen Hausschwamm (*Leucogyrophana pinastri* (Fr.: Fr.) GINNS & WERESUB) festzustellen.

len.²⁴

Alle drei festgestellten Pilzarten zählen nach Art der Holzerstörung (Fäuletyp) zu den Braunfäuleerregern und werden der Gruppe der Basidiomyceten (Ständerpilze) zugeordnet. Moderfäulepilze verursachen ebenfalls Braunfäule, werden aber der Gruppe der Ascomyceten (Schlauchpilze) und Deuteromyceten (Schimmelpilze) zugeordnet. Bei beiden Fäuletypen werden die Kohlenhydrate Cellulose und Hemicellulose der verholzten Zellwand enzymatisch abgebaut und das Lignin nahezu unverändert zurückgelassen. Das Lignin färbt das Holz braun. Die Dimensionsstabilität lässt besonders axial stark nach, so dass durch Schwinden beim Trocknen Quer- und Längsrisse mit dem charakteristischen würfelförmigen Zerfall (Würfelbruch) entstehen. Im Gegensatz zu den Basidiomyceten, deren Hyphen in den Zellumen wachsen, breiten sich die Moderfäulepilze hauptsächlich innerhalb der Zellwände aus.²⁵

²⁴ Die Probe wurde in Wasser zerzupft und mit 600facher Vergrößerung mikroskopiert: Die elliptischen, auch gelb pigmentierten Sporen wiesen eine Größe von 5,6 bis 6,5 x 4,3 bis 5,0 µm auf. Hyphenenden ohne Fuß. (freundl. Mittlg. Heydeck, 17.11.02)

²⁵ SCHMIDT 1994, 97 ff.

Tabelle 4: Zusammenstellung wichtiger Merkmale der identifizierten Pilzarten²⁶

PILZART	MU-SCHELKREMLING	SCHUPPIGER SÄGEBLÄTTLING	GELBRANDIGER HAUSSCHWAMM	MODERFÄULE
Holzart	Nadelholz, selten Laubholz	ausschließlich Nadelholz; bes. Kiefer, Fichte, Lärche	Nadelholz	Laubholz, Nadelholz; ligninreiches NH weniger als ligninärmeres LH
Lebensbedingungen	HF: 50-70% T: 5-29°C OT: 23-26°C LT: 70°C	HF: 30-40% T: 8-38°C OT: 27-29°C LT: 60°C	HF: 35-40% T: 3-34°C OT: 26°C LT: -	HF: über 80% T: 5-35°C Trockenstarre mögl.; pH 3-11 mögl.
Schadbild	befallenes Holz erst gelb, dann rotbraun, typ. Braunfäule	Braunfäule, Innenfäule	Braunfäule	Braunfäule; Oberfläche braun bis schwarz; feiner Würfelbruch; kurze muschelartig-geformte Brüche; Befall örtlich begrenzt
Bemerkungen	Naßfäuleerreger, langsamwüchsig; reichlich Säure bildend (bis pH 2,6); Mycel stirbt bei Austrocknung ab; lange ausgetrocknete Fruchtkörper bilden bei Wiederbefeuchtung weiterhin Sporen	aromatischer, vanilleartiger Geruch in sehr feuchtem Zustand; sehr widerstandsfähig gegenüber Trockenheit, hohen Temperaturen und Steinkohlenteeröl; Mycel stirbt nach längerer Austrocknung ab	Langsamwüchsig; baut Holz stark ab; etwas geringere Zerstörungskraft als der Echte Hausschwamm	Unterklasse der Ascomyceten; tolerant gegen Chrom-Fluor-Salze; reagieren empfindlich gegen Kupfer
			HF = Holzfeuchte T = Temperatur OT = Optimaltemperatur LT = Letaltemperatur	

Interpretation

Muschelkrempling und Schuppiger Sägeblättling sind, im Vergleich zu anderen Bauholz- und Lagerpilzen, diejenigen mit der höchsten Abbaugeschwindigkeit, wobei durch eine Kombination mit Holz zerstörenden Insekten, wie sie auch hier durch den Trotzkopf zu verzeichnen ist, ein Abbaumaximum

²⁶ Aus WEIB et al. 2000, S. 58, 82, 85, 94 und SCHMIDT 1994, S. 48.

erreicht wird.²⁷ Die Resistenz des Schuppigen Sägeblättlings gegen teerölimprägnierte Hölzer macht ihn auch zur Gefahr für die rekonstruierten Hammerfundamente.

Im Bezug auf die Ergebnisse der Bohrwiderstandsmessung und der Holzfeuchtemessung, ist besonders für die Radwelle, das Radkreuz und die Drumstützen ein fortgeschrittener Befall mit dem bevorstehenden Zerfall der Konstruktion zu verzeichnen.

Ein Aufhalten des Zerfalls kann durch Trocknung und Senkung der relativen Luftfeuchtigkeit im Gebäude oder durch eine Bekämpfung erreicht werden. Bei einer möglichen Wärmebehandlung muß jedoch die hohe Letaltemperatur von Muschelkrempling und Schuppigen Sägeblättling bedacht werden.

6.5 Weitere durchgeführte Untersuchungen

6.5.1 Bestimmung eingelagerter Substanzen²⁸

Vorgehensweise

Die Art der Materialzerstörung am Fuß der Drumstütze-West ließ vermuten, dass chemisch korrosiv wirkende Salzeinlagerungen eine Mazeration der Holzzellen verursacht hatten. In diesem Fall wäre davon auszugehen, dass sich die eingelagerten, aggressiven Substanzen im umgebenen Boden angereichert haben und eine weitere Destruktion stattfindet.

Für die Analyse wurden einige Fasern entnommen und die vorwiegend anorganischen Bestandteile durch Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt.

²⁷ Wie Labortests (nicht auf natürl. Entwicklung bezogen!) zeigten, erfolgt der Holzabbau im Vergleich zu anderen Bauholzpilzen in sehr kurzer Zeit. Das Wachstum der Hyphen des Muschelkremplings (nach 20 Wochen Wachstum) beträgt mehr als 8 mm pro Tag bei einem Darrmasseverlust des Probeholzes von 62%. (WEIß et al. 2000, 5)

²⁸ Freundlicherweise durch Dr. A. UNGER (s. Anlage).

Ergebnisse

Die Bestimmung ergab hohe Mangan-, Eisen-, Kalium- und Calciumanteile.

Interpretation

Die hohe Konzentration der analysierten Metalle in der Holzsubstanz ist ungewöhnlich, aber nicht vorrangig für eine Mazeration der Holzzellen verantwortlich. Eisen kann korrodieren und eine leichte Verfärbung und Abnahme der Zugfestigkeit verursachen.²⁹ Eine Aufnahme der Metalle aus Bodenwässern ist anzunehmen.

Die Metalle im Boden:

Calcium und Kalium sind geogen geprägte Bestandteile des Erdbodens und eine Erhöhung kann in der Regel keinem bestimmten Schadensherd im Boden zugeordnet werden. Auch eine erhöhte Konzentration von Eisen ist in einer Schmiede nicht außergewöhnlich. Mangan dagegen wird unter anderem durch gelöste organische Substanzen z.B. aus Braunstein reduziert. Eine erhöhte Mangankonzentration im Grundwasser korreliert mit einem hohen Anteil organischer Substanz im Boden.³⁰ Vielleicht spielt in diesem Zusammenhang der große Holzanteil der ehemaligen Hammerfundamente eine Rolle.

Durch die Mikroskopie konnte, als Zerfallsgrund des Stützenfußes, Braunfäule bestimmt werden. Das Auffinden eines Fruchtkörpers des Muschelkremlings bestätigte diese Erkenntnis.³¹

6.6 Das Klima

Vorgehensweise

Für die Erstellung eines Klimaprofils in der Hammerschmiede wurden insgesamt sechs Datenlogger der Firma TESTO im Gebäude an definierten Punkten mit entsprechender Distanz zur Umgebung installiert. Fünf Mini Da-

²⁹ UNGER et al. 2001, 46.

³⁰ DACHROTH 2002, 622.

³¹ Vgl. auch Abschnitt 6.1.5.

tenlogger des Typs „testostor 175-2“ und ein Datenlogger des Typs „testostor 171-1“ erfaßten über 20 Tage etwa 500 Werte der Temperatur (T °C) und der relativen Luftfeuchtigkeit (RH %). Das Klimaprofil wird durch die Aufnahme der Messdaten von je zwei Datenloggern in drei horizontalen Ebenen des Gebäudes gebildet. Zwei im unteren Drittel der Dachkonstruktion, zwei in der Höhe der Drumbalken und zwei am Boden (**Abbildung 8**).

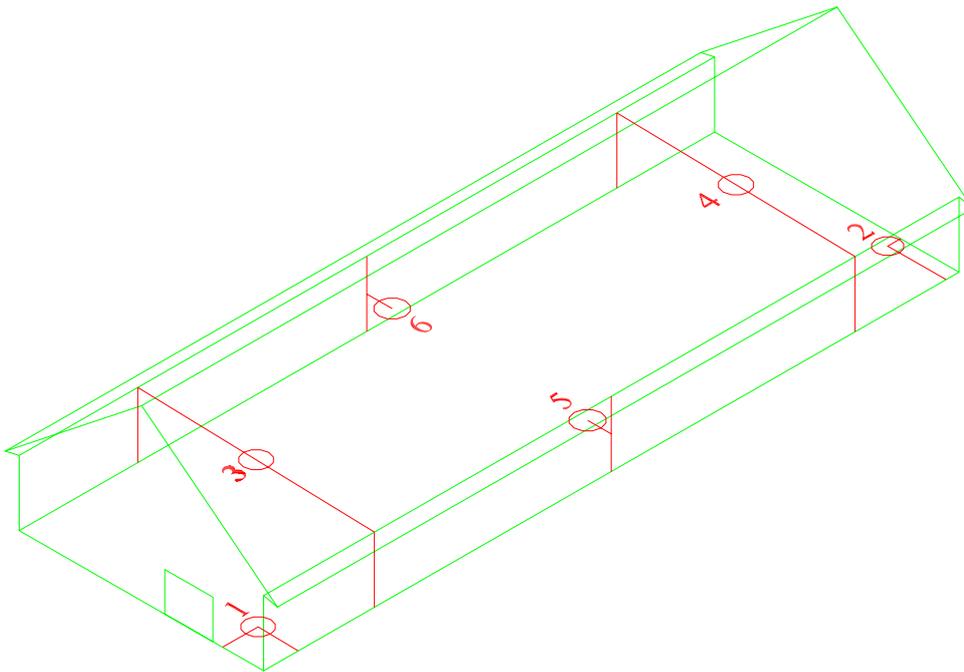


Abbildung 8: Lage der Mini Daten Logger im Hammergebäude, Messung Mai 2002

Der Start erfolgte, nach der Einstellung am PC, durch Kontakt mit einem Startmagneten. Zum Abschluß der Messung wurden die Datenlogger über einen PC ausgelesen und mit entsprechender Software verarbeitet. Die Messkurven sind zur Auswertung in einem Diagramm übereinander gelegt worden.

Ergebnisse

Aus ungeklärter Ursache wurde der Datenlogger 171 nicht gestartet, so dass nur fünf Messreihen für eine Auswertung zur Verfügung stehen.

Grundsätzlich ist anhand der Messwerte zu erkennen, dass die relative

Luftfeuchtigkeit (RH) mit der Nähe zum Boden steigt und die Temperatur (°C) sinkt. Ebenfalls sinkt in Richtung Boden die Stärke der täglichen Schwankungen. An der Steinwand im Nordteil des Gebäudes stieg die relative Luftfeuchtigkeit bis auf 99,9 % RH. Ein weiterer Trend ist in Ost-West-Richtung zu verzeichnen. Die Werte der Westseite sind höher, aber mit weniger starken Schwankungen verbunden als auf der Ostseite (Tabelle 5).

Tabelle 5: Mittel- und Grenzwerte der Profilmessung vom Mai 2002.

POS.	BODEN-SÜDSEITE	BODEN-NORDSEITE	MITTE-OSTSEITE	MITTE-WESTSEITE	DACH-SÜDSEITE
Mittel %RH	80,0	92,9	68,4	70,7	66,5
Mittel °C	11,4	9,1	12,9	12,7	13,6
Max. %RH		99,9			
Min. %RH					32,9
Max. °C					18,8
Min. °C	5,5				

Die Werte der Luftfeuchte im Dach schwanken täglich bis zu 40 % und sind mit den Werten der Position Mitte-Ostseite fast identisch.

Tabelle 6: Mittel- und Grenzwerte

Juni/Juli 2001 am Storhammer

POS.	STORHAMMER
Mittel %RH	73,3
Mittel °C	18,3
Max. %RH	86,2
Min. %RH	54,3
Max. °C	24,7
Min. °C	12,0

Die gemessenen relativen Luftfeuchten des Vorjahres im Zentrum des Storhammers (Pos. ähnlich Mitte-Westseite) zeigen ebenfalls hohe Werte, die täglichen Schwankungen sind nicht so stark aufgetreten (Tabelle 6 und Abbildung 9).

Storhammer 25.06 - 16.07.2001

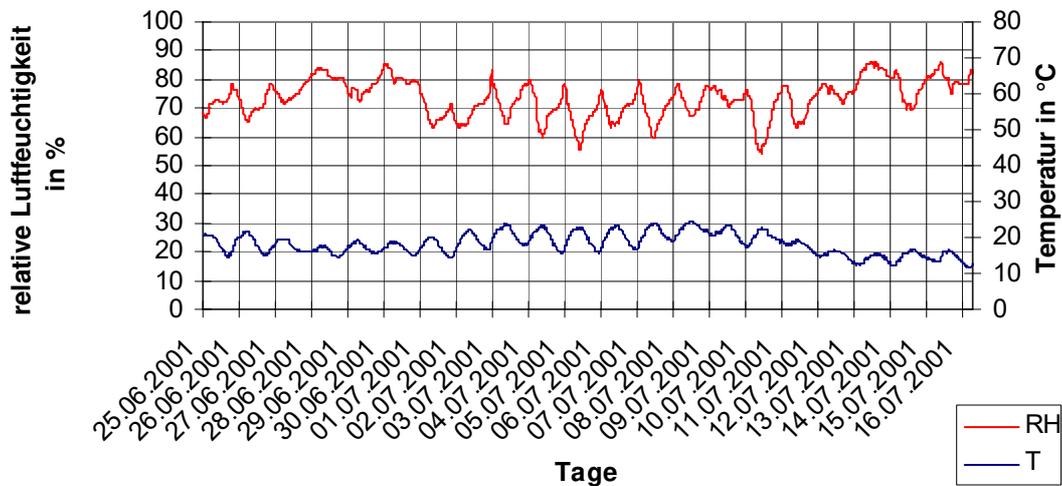


Abbildung 9: Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit im Zentrum der Storhammerkonstruktion

Interpretation

Die durchgeführten Messungen der Klimawerte verdeutlichen, trotz kurzer Messperioden, den großen Einfluß der Bedingungen außerhalb des Gebäudes. Durch die offene Gestaltung der Gebäudefassade wird das Innenklima von außen reguliert und bewirkt täglich erhebliche Schwankungen von Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Es ist anzunehmen, dass mit mehr Belüftung die Schwankungen, wie die Messwerte im Dach, steigen und umgekehrt sinken. Aber infolge mangelnder Strömung, wie an der Nordwand, kann in der stehenden Luft die Feuchtigkeit bis zum Maximum aufgenommen werden.

Die Profilmessung in drei horizontalen Ebenen zeigt, dass die Luftfeuchtigkeit durch die Bodenfeuchtigkeit erhöht wird (**Abbildung 11**).

Ob das Innenklima der Hammerschmiede, durch eine verbesserte beziehungsweise gesteigerte Durchlüftung, den Bedingungen für eine Erhaltung der Hämmer angepaßt werden kann, ist mit dieser Voruntersuchung nicht zu klären. Die dafür notwendigen Erkenntnisse müssen sich auf Messungen stützen

können, die mindestens ein Jahr laufen und parallel dazu Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung aufnehmen.

6.6.1 Bodenmessungen

Vorgehensweise

Für die Durchführung von Kleinbohrungen in und um das Hammergebäude stellte freundlicherweise der Studiengang Bauingenieurwesen³² einen auf 3 m verlängerbaren Handbohrstock, auch Edelmannbohrer genannt, und ein Lichtlot zur Verfügung (**Abbildung 10**). Während der manuellen Bohrung wird das Bohrgestänge mit der Bohrschappe voran etappenweise in das Erdreich gebohrt. Die Schappe eignet sich zum Lösen und Aufnehmen von bindigen und schwach kohäsiven Böden. Der Lochdurchmesser mißt etwa 10 cm und alle 20 cm muß das gelöste Bohrgut entnommen werden. Das so gewonnene Bohrgut ist ein gestörtes Bodenmaterial der *Güteklasse 3*³³, enthält jedoch die notwendigen Informationen über Wassergehalt und Zusammensetzung.³⁴

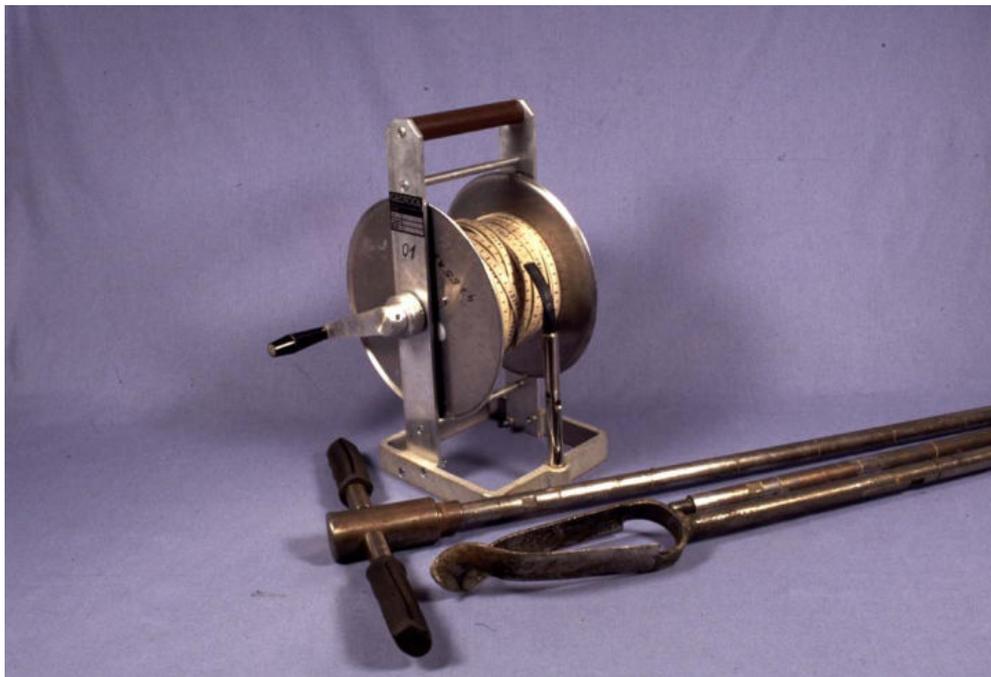


Abbildung 10: Handbohrstock und Lichtlot

³² Labor Geotechnik.

³³ Dient der Erkennung der Bodenart, der geologischen Zuordnung, der mineralogischen Zusammensetzung und der Schichtgrenzen. DIN 4021, Tab.4.

³⁴ DACHROTH 2002, 20 f.

Die auftretenden Probleme sind das Zurückfallen des Bohrgutes in das Loch und ein hoher Stein- beziehungsweise Schuttanteil im Boden. Stößt man auf Wasser, kann die Tiefe mit dem Lichtlot gemessen werden. Hierbei wird lediglich durch das Wasser ein Kontakt am Ende eines Maßbandes kurzgeschlossen und es ertönt ein Signal.

Zur Untersuchung des Bodens an der Hammerschmiede wurden außen, auf der Ostseite, vier und im Gebäude, über die Mitte verteilt, drei Bohrlöcher angelegt. Drei Bohrungen konnten aufgrund getroffener Steine nicht bis zum Grundwasser getrieben werden. Insgesamt ergaben die Bohrungen 27 Bodenproben, die in luftdichten PE-Behältern transportiert wurden.³⁵

Die Analyse bzw. Ansprache der Proben übernahmen freundlicherweise Herr Dr. Verleger, Professor für Geotechnik, und Herr Albrecht, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Geotechnik. Die Proben wurden auf Bodenart, Beimengungen und Farbe benannt. Zusätzlich erfolgte die Bestimmung von Wassergehalt und Glühverlust an den Proben aus dem Gebäude (**Tabelle 7**).³⁶

Die Bohrungen können nur als Stichproben angesehen werden, die selbst bei einem dichten Netz von Bohrungen noch Fehlinterpretationen zulassen können.

Ergebnisse

Bis auf eine Bohrung, außerhalb des Gebäudes, lagen die erreichten Bohrtiefen nur knapp unter 1m. Entweder lagen Steine oder Felsen im Weg oder der Grundwasserspiegel war erreicht worden. Die Bohrungen ließen sich, aufgrund zahlreicher Steine, nur mit großer Anstrengung durchführen. Es ist anzunehmen, dass bereits größere Felsblöcke getroffen wurden.

³⁵ Zeitpunkt der Messungen: 24.-25. Mai 2002.

³⁶ Anteil an organischer Substanz, wird nach DIN 18121 (w = Wassergehalt) und 18128 (V_{gl} = Glühverlust) im Labor bestimmt.

Tabelle 7: Wassergehalte w und Glühverluste V_{GL} ausgewählter Proben

Probe	w in %	V_{gl} in %
HiN 1	8,6	2,3
HiN 2	7,2	2,1
HiN 3	15,3	1,8
HiN 4	22,6	2,2
HiM 1	23,2	7,8
HiM 2	109,2	17,8
HiM 3	59,9	11,4
HiS 1	13,9	6,3
HiS 3 (voll)	75,2	14,7

Die in den Schichtenverzeichnissen beschriebenen Bodenarten zeigen, dass in der Mitte und im Südteil des Hammergebäudes das Bodenmaterial, neben Auffüllmaterial, Sand, Kies, Schluff und Ton, einen hohen Anteil organischer Substanz aufweist. Die Eigenschaft organischer Böden beziehungsweise Böden mit organischen Beimengungen, große Mengen Wasser in den Porenräumen zu binden, wird durch die ermittelten hohen Wassergehalte ersichtlich.

Ein besonderes Merkmal sind die tonigen Schichten. Ab etwa 1m Tiefe wurden bei fast allen Bohrungen graublau Tonschichten gefunden. In der Regel stand über diesen das Grundwasser.

Interpretation

Einem Bericht K. AALL's zufolge, geht aus überlieferten und eigenen Erfahrungen hervor, wie die Schichtenabfolge in Nes Verk aufgebaut ist: Eine Kies/Erdschicht von etwa 3 m liegt auf einer 12 m tiefen Schicht aus maritimen Tonmineralien, gefolgt von Felsmassiv.

In diesem Fall wird unterirdisches Wasser entlang dieser Tonsohle in Richtung Vorflut der Storelva abfließen. Zusätzliches Oberflächenwasser fließt über eine, auf der Ostseite des Gebäudes liegende, Stau- oder Steigquelle den Hang abwärts und versickert in Richtung Hammerschmiede.

Die Ergebnisse der Bohrproben lassen eine Übereinstimmung mit dieser Skizze erkennen: Bereits in geringen Tiefen wurden Tonschichten, die vermutlich die Grundwassersohle bilden, nachgewiesen. Bei diesen geringdurchlässi-

gen Bodenschichten in geringer Tiefe ist davon auszugehen, dass bei Tauwetter und lang anhaltenden Niederschlägen die abwärtsgerichtete Bewegung des Sickerwassers gehemmt wird. Das Wasser staut.³⁷

Böden dieser Art sind geologisch betrachtet keine Außergewöhnlichkeit. Wird jedoch ein Gebäude ohne Isolierung auf einen solchen Boden gestellt, so kann durch die hohe kapillare Steigwirkung im feinkörnigen Boden, der dazu bereichsweise einen großen Anteil organischer Substanz besitzt, das Wasser an die Oberfläche transportiert werden, als Dampf entweichen und sich im Gebäude, unter Erhöhung der relativen Feuchte, verteilen.

6.7 Zusammenfassung

Durch das Verfahren der Bohrwiderstandsmessung war es möglich, die Holzkonstruktion des Storhammers auf seinen inneren Zustand zu untersuchen, um durch Fäulnis oder Insekten verursachte Querschnittsverringern aufzudecken. Mittlere bis nahezu vollständige Zerstörung konnten an fast allen Bauteilen gemessen werden. Besonders stark geschädigt sind:

- Die Welle an den Stirnseiten und im Bereich des Wasserrades,
- Das Prellholz,
- Die Drumstützen und
- Das Wasserrad.

Die gemessenen minimalen Restquerschnitte bilden die Ausgangswerte für die statische Bestimmung der Lastaufnahmefähigkeit.

Die nachgewiesenen Braunfäuleerreger, Muschelkrempling und Schuppiger Sägeblättling, sind die aktiven Holz zerstörenden Organismen der Radwelle. Ersterer wurde auch am Fuß der Drumstütze-West bestimmt. Der Fuß der Drumstütze-Ost ist vollständig, vermutlich durch Moderfäule, zersetzt. Die hohe Feuchtigkeit des Erdbodens bewirkte eine Besiedlung organischer Reste durch den weniger gefährlichen „Gelbrandigen“ Hausschwamm.

Zudem sind die Konstruktionshölzer des Storhammers durch die Holz zerstörenden Insekten Trotzkopf und Gewöhnlicher Nagekäfer befallen.

³⁷ DACHROTH 2002, 50.

Ausschlaggebend für eine Besiedlung durch Holz zerstörende Organismen ist in erster Linie die Holzfeuchtigkeit. Die gemessenen Werte liegen durchschnittlich bei 18-20 % und werden durch das umgebende Klima bestimmt.

Die Auswertung einer kurzperiodischen Klimaprofilmessung weist, trotz belüfteter Gebäudekonstruktion, auf zu hohe Werte der relativen Luftfeuchtigkeit hin. Das betrifft im wesentlichen die untere Profilebene über dem Erdboden und die Wasserradeinhausungen.

Die auf dieser Erkenntnis beruhenden einfach durchgeführten Bodenson-
dagen zeigten, dass in einer Tiefe von etwas mehr als 1 m bereits Grundwasser vorkommt und vermutlich durch eine Tonsohle nicht nach unten absickern kann. Vielmehr setzt sich der Boden größtenteils aus organischem Material zusammen, welches eine hohe kapillare Steighöhe des Wassers verursacht. Die aufsteigende Feuchtigkeit verläßt den Boden als Dampf und sorgt so für die Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit im Gebäude.

Raumklimaprofil des Hammergebäudes 05.05. - 26.05.2002

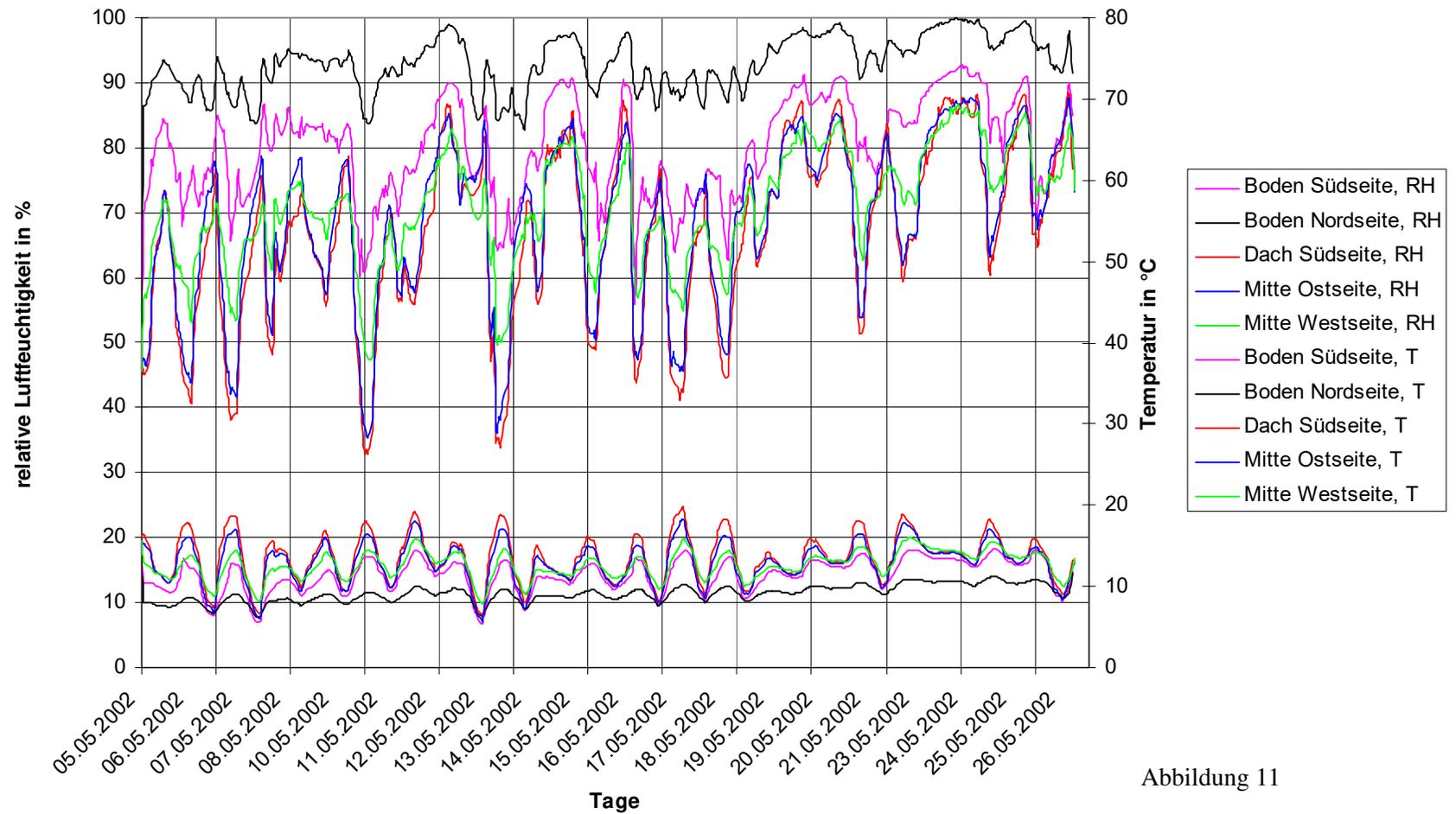


Abbildung 11

Tabelle 8: Zustand Hammergebäude

BAUGRUPPE		DIAGNOSEVERFAHREN	DIAGNOSE
1.	KLIMA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Messung von Temperatur und Feuchtigkeit mit Dataloggern (Klimaprofil, Auswertung mit A. Ohde, FHTW Berlin) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe relative Luftfeuchtigkeit durch feuchten Boden, wassergefüllten Wassergraben und zu geringe Belüftungsmöglichkeit ▪ starke Schwankungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit
2.	DACH	<ul style="list-style-type: none"> ▪ visuell während Niederschlag 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dachabdichtung der Wasserradeinhauungen defekt ▪ Wirksamkeit der Regenwasserführung zu gering; Ablauf zu dicht am Gebäude
3.	HOLZKONSTRUKTION UND STEINWAND	<ul style="list-style-type: none"> ▪ visuell 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neue und alte Holzkonstruktion (Kiefer und Fichte) ohne Beeinträchtigung ▪ Steinwand (Fels- und Schlackesteine) an der Nordseite ohne Schutz gegen eindringendes Wasser ▪ Lamellenfenster der Nordwand unterhalb des angrenzenden Geländes, dadurch Wassereintritt bei Niederschlag
4.	FUNDAMENTE UND BODEN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bodenanalyse durch: Handbohrstock, Lichtlot, Bestimmung von Glühverlust, Feuchtigkeit und Bodenart durch Prof. Dr. Verleger (FHTW Berlin) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fundamente aus Beton und Steinfundamente von 1969 (max. 0,5m unter Bodenniveau) ohne Isolierung ▪ Feuchter Boden aus Erdreich mit hohem organischem Anteil und starker kapillarer Steighöhe ▪ Grundwasser bei 1,20m
5.	EINRICHTUNG IM HAMMERGEBÄUDE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ visuell ▪ siehe Großhammer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ starke Korrosion von Maschinen, Werkzeugen und anderen Geräten aus Metall ▪ Hohe Holzfeuchte der hölzernen Bauteile und somit Befall durch Schadorganismen ▪ Glühofenkonstruktion stark abgebaut

Tabelle 9: Zustand Großhammer

BAUTEIL		DIAGNOSEVERFAHREN	DIAGNOSE
1.	HAMMER-GESTELL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ visuell ▪ Eindring- und Bohrwiderstandsmessung (Resistograph) ▪ Holzfeuchte elektrisch und gravimetrisch ▪ mikroskopische Holzartenbestimmung ▪ Pilzbestimmung, Bestimmung eingelagerter Stoffe durch Prof. Dr. W. Unger (FH Eberswalde) und Dr. A. Unger (Rathgen-Forschungslabor) ▪ Kontrolle des Schädlingsbefalls durch Pheromonfallen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Eisen und Stahl</u>: Oberflächen stark korrodiert ▪ <u>Drumquerbalken-West</u>: (Kiefer mit Holzschutzmittelbehandlung) 1989 erneuert ▪ <u>Drumquerbalken-Ost</u>: stabil ▪ <u>Drumstütze-West</u>: (Kiefer) 1989 erneuert; im Bodenbereich durch Brautfäuleerreger (<i>Lentinus lepideus</i>) und Insekten im gesamten Splintbereich abgebaut ▪ <u>Drumstütze-Ost</u>: (Fichte) in Bodennähe durch Moder- und Brautfäuleerreger abgebaut, keine Stützfunktion mehr ▪ <u>Feder</u>: (Birke) durch Holz zerstörende Insekten und Pilz innen zu 80 % abgebaut, nur selbsttragend ▪ <u>Hammerstiel</u>: (Birke) am Lager geringfügig angegriffen, sonst stabil
2.	NOCKENWELLE UND WASSERRAD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ visuell ▪ Eindring- und Bohrwiderstandsmessung (Resistograph) ▪ Holzfeuchtemessung elektrisch und gravimetrisch ▪ Pilz- und Holzartenbestimmung wie oben ▪ RH mit Datalogger gemessen ▪ Kontrolle des Schädlingsbefalls durch Pheromonfallen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Eisen und Stahl</u>: Oberflächen stark korrodiert ▪ <u>Welle</u>: aus neun Balken (Kiefer), die acht äußeren Balken sind durch Brautfäuleerreger (<i>Lentinus lepideus</i> u. <i>Tapinella panuoides</i>) im Kern abgebaut und nicht tragfähig ▪ Wassereinbruch vor und hinter dem Wasserrad durch mangelhafte Dachabdichtung: dadurch hinterer Lagerbereich zerstört und bricht; unterstützt, aber zu wenig ▪ Stürnholz an den Enden der Wellenbalken durch Schmierstoff (Talg) zugesetzt ▪ <u>Wasserrad</u>: stehendes Wasser im Graben unter dem Rad, Wasserdampf- und Kondenswasserbildung ▪ Wasserradschaufeln (Kiefer) überwiegend neu ▪ Radkreuz (Eiche) durch Kernfäule zu 50% abgebaut
3.	HAMMER-FUNDAMENTE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freigelegt, visuell ▪ mikroskopisch ▪ Pilz- und Holzartenbestimmung wie oben 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Gestellfundament</u>: abgebaute überkreuz geschichtete Holzstämmen wurden 1989 gegen Split ausgetauscht, nur oberste Schicht und Begrenzung zum Wassergraben nachempfunden (imprägnierte Oberleitungsmasten), keine Funktion mehr als Fundament für einen Hammerbetrieb ▪ <u>Ambosfundament</u>: (Kiefer) original und vermutlich durch Schlagkompression relativ stabil

7 Historischer Zusammenhang

7.1 Hammerwerke und ihre Entstehung

In der Anfangszeit, etwa bis ins 13. Jahrhundert, wurde das Erz am Fundort verhüttet und die Luppe mit Hämmern bearbeitet, die allein durch Muskelkraft bewegt wurden. Als die durch Wasserkraft getriebenen Hammerwerke entstanden, verlagerte sich die Eisenerzverarbeitung von den Berghöhen an die Flüsse. Erste Hinweise auf ein wasserbetriebenes Hammerwerk in der Oberpfalz reichen in das Jahr 970 zurück.¹ Neben dem Hammer konnte auch der Blasebalg angetrieben werden. Die Wasserkraft war damit auf vier Arten verwendbar geworden: Zum Antrieb des Hammers, des Blasebalgs, des Schleifsteins und später für den Drahtzug.²

Nach dem Teil des Wasserrades, auf den das niederströmende Wasser aufschlägt, unterscheidet man unter-, mittel-, rück- und ober-schlächtige³ Wasserräder. Bei dem mittelschlächtigen Wasserrad tritt das Wasser in etwa der Mitte des Rades in die Schaufeln ein. Je geringer das Gefälle ist, um so größer ist die eingeleitete Wassermenge. Das rückschlächtige Wasserrad wirkt in ähnlicher Weise wie das mittelschlächtige, nur daß das Wasser unterhalb des Radscheitels, in etwa $\frac{1}{4}$ der Radhöhe, rückseits in die Schaufeln eintritt. Bei einem ober-schlächtigen Rad wird das Wasser von oben über das sogenannte Gerinne auf das Mühlenrad geleitet und bewegt dieses durch sein Gewicht nach unten. Bei dem unterschlächtigen ist das Mühlenrad in den Wasserlauf eingehängt und bewegt dieses durch den Wasserfließdruck nach oben.⁴

Die Ausnutzung der Wasserkraft ermöglichte eine Vergrößerung der Gebläse und dadurch auch des Schmelzofens. Die Steigerung des Betriebs führte folglich zur Arbeitsteilung und räumlichen Trennung der Hütte in Blashütte und Hammerhütte. In der Blashütte wurde nur noch Roheisen und Rohstahl hergestellt.

¹ SCHLEGEL et al. 1983, 144.

² KUBLI 1986, 24.

³ Schlächtig = Aufschlagen des Wassers auf die Schaufeln.

⁴ MAGER 1987, 40 ff.

„Sie führte ihren Namen nach dem Gebläse, als dem durch das Wasserrad getriebenen kennzeichnenden Teil der Anlage; ihren anderen Namen *Massenhütte* erhielt sie nach ihrem kennzeichnenden Erzeugnis, der Roheisen-Massel, vom lateinischen *massa* d.h. *ungeformten Metallklumpen*, einem jener Stücke, in die das im Masselsandbett erstarrte Roheisen zerschlagen wird. Beide Wörter sind vereint im *Massenbläser*, womit der in der Massen- oder Blashütte Werk tätige bezeichnet wurde.“⁵

Das von der Blashütte bezogene Roheisen wurde in der Hammerhütte zu Schmiedeeisen oder Stahl verarbeitet. Bis ins Frühmittelalter lagen die Rennöfen und Waldschmieden meist unter freiem Himmel und wechselten fortwährend den Standort. Erst ab dem 13. Jahrhundert entstanden die Schmieden an größeren Bächen als feste Gebäude, den *Hütten*. „Das Wort *Hütte*, althochdeutsch *hutte* oder *hutta*, hängt mit dem germanischen *hudjon* zusammen, dessen Wurzel *hud* aus dem indogermanischen *kuth*, d.h. *verbergen* stammt. [...] Das Zeitwort *hütten*, *verhütten* dagegen greift wieder auf den ursprünglichen mit dem Schmelzofen verbundenen Begriff hin.“⁶

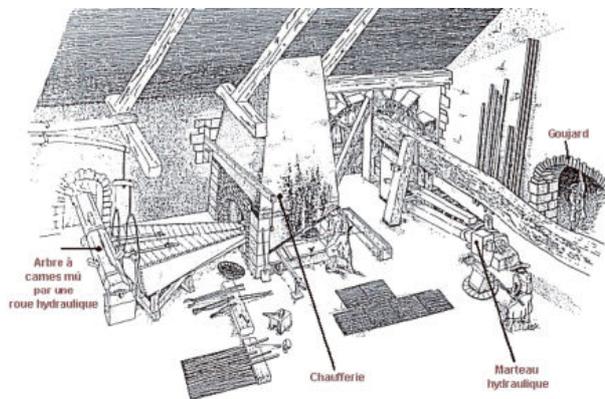


Abbildung 12 Hammerwerk mit Aufwerfhammer und Frischherd (Quelle verloren)

Mit der Arbeitsteilung und Spezialisierung begannen in der Eisenproduktion Vorformen industriellen Produzierens. Mit den mechanischen Hämmern erfolgte die Umwandlung und Steuerung mechanischer Energien mit der Bedienung durch den Menschen.

Mechanische Hämmer werden in Hinsicht ihrer Konstruktion und Funktion von ALTMANN grundsätzlich fünf Hauptgruppen unterschieden: Fallham-

⁵ FICKELER 1952, 31.

⁶ FICKELER 1952, 32.

mer, Stirnhammer, Brusthammer, Aufwerfhammer und Schwanzhammer.⁷ Sie werden als einfache Maschinen in allgemeine und spezielle Elemente übersichtlich eingeteilt (**Abbildung 13**).

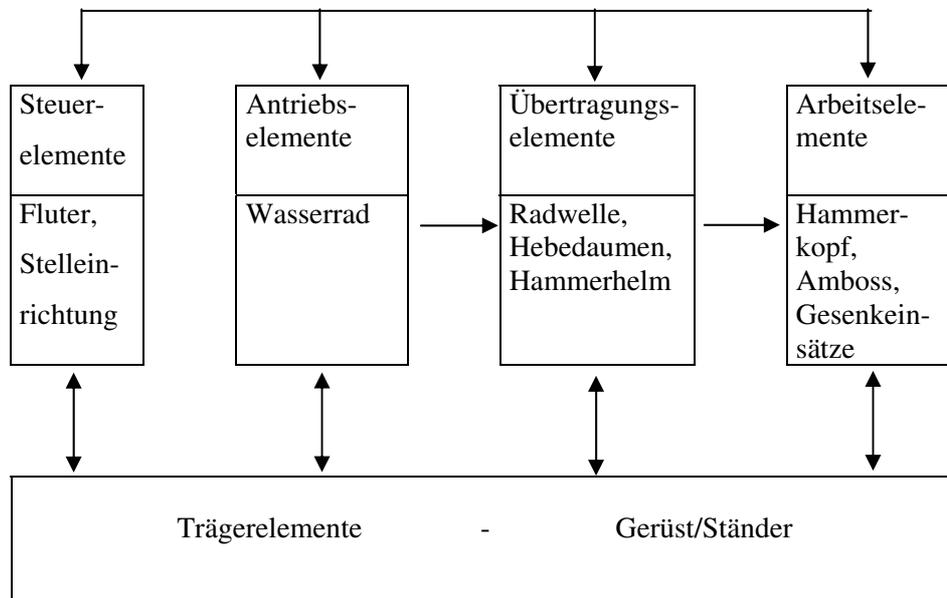


Abbildung 13: Blockdarstellung mechanischer Hämmer, aus: ALTMANN 1999, 66.⁸

Zum grundsätzlichen Aufbau eines Aufwerfhammers schreibt er: „Von der Radwelle ließ sich nur ein Hammer betreiben. Das Arbeiten am Amboss war durch die parallel oder in einem spitzen Winkel zum Hammer laufende Welle eingeschränkt. Der Hammer führte durchschnittlich etwa 80 bis 100 Hammerschläge pro Minute auf den Amboss aus, die abhängig von der Anzahl der vier bis fünf Hebedaumen auf der Radwelle waren. Das Gewicht des Hammerkopfes lag bei 200 bis 300 kp. Die Hubhöhe bestimmten hier der Durchmesser der Antriebswelle und die Länge der Hebedaumen.“⁹

Durch die Arbeitsteilung und die Vergrößerung der Betriebe entstanden selbstständig produzierende Schmiedewerke, die Hammerwerke. Dazu zählen das Stabhammerwerk, das Zainhammerwerk¹⁰, das Blechhammerwerk und die

⁷ ALTMANN 1999, 63.

⁸ Die in der Darstellung aufgeführten Elemente sollen mit Hilfe der in der Literatur überlieferten Beschreibungen im folgenden näher erklärt werden.

⁹ ALTMANN 1999, 65.

¹⁰ Zaine = dünne Stabeisen.

Gezeughammerwerke.¹¹

7.2 Beschreibungen aus historischen Quellen über den Aufbau und die Arbeit in den Hammerschmieden

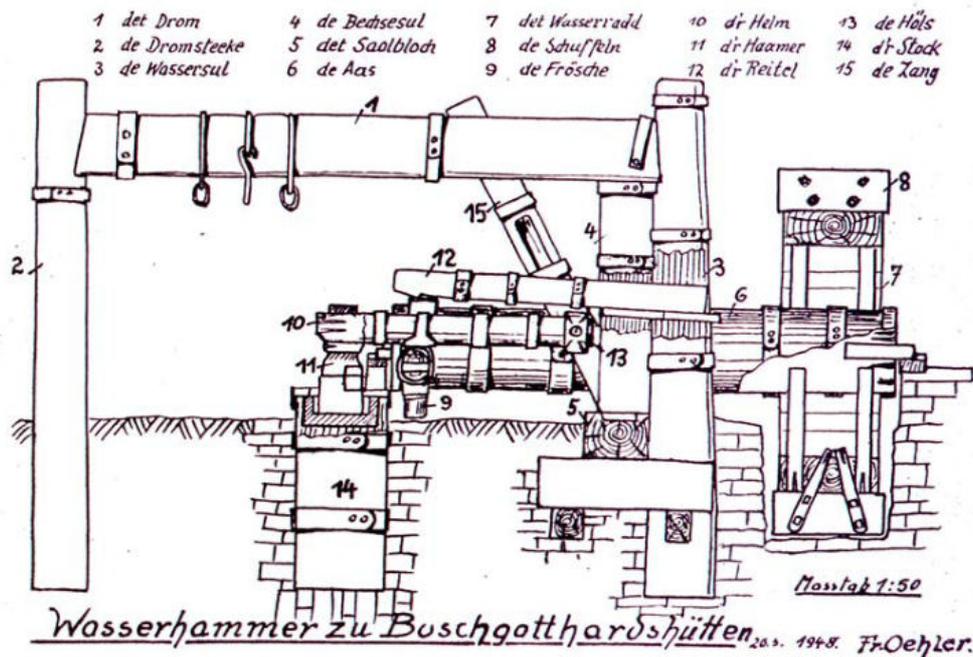


Abbildung 14: Siegerländer Aufwerfhammer, aus OEHLER 1948.

Einer der wichtigen Zeitzeugen aus der Geschichte des Næs Verks ist der deutsche Geologe J.F.L. HAUSMANN. Er berichtet nach seinem Besuch 1806 in der Hammerschmiede des Næs Verks über die Arbeit der Schmiede und dem Frischen der Luppen:

„Næs-Werk besitzt zwei Hammerhütten, in deren jeder zwei Feuer und ein, beiden sich gemeinschaftlicher Hammer sich befinden. Der Frischprozess hat Aehnlichkeit mit dem auf anderen Norwegischen Eisenwerken gebräuchlichen. Dort bot sich mir die angenehme Gelegenheit dar, ihn ganz ansehen zu

¹¹ ALTMANN 1999, 68 ff.

können. Die Dimensionen des Heerdes konnte ich leider nicht erfahren. Die Feuerstellung scheint mir aber im Wesentlichen von der der deutschen Warmfrischfeuer nicht sehr abzuweichen. Zu einer Luppe schmelzt man 18 Lispfund¹² halbirtes Roheisen ein, das in faustgrosse Stücke serschlagene Eisen, wird während des Zerschrotens der letzten Luppe in den Heerd geworfen und zwar ein Theil davon in die Mitte, ein anderer mehr gegen die Gichtseite. Das Einschmelzen geschieht während des Ausreckens der Luppenstücke, worauf vier Stunden zu vergehen pflegen. Um das eingeschmolzene Roheisen vor zu schnellen Gahren und zugleich zu starken Abbrände zu schützen, pflegten die dem Winde zugewandten Theile der Luppe heraus gebrochen und auf die Hinterseite gelegt zu werden. Sind die Luppenstücke von voriger Luppe ausgereckt und nähert sich das im Heerde befindliche Eisen der Gahre, so werden die hieraus gebrochenen Stücke wieder ein nach dem anderen in das Feuer gezogen und mit der im Herde befindlichen Masse zusammen gefrischt. Während der ganzen Arbeit wird die Lacht so oft abgelassen, als man es nach der Untersuchung mit dem Spette für nötig hält. Nähert sich das Eisen im Heerde der Gahre, dann läst man das Gebläse rascher umgehen und wendet die Luppe, indem man denjenigen Theil, der von Winde abgewandt war, vor den Wind bringt. Dieses wird dadurch bewerkstelligt, das ein Arbeiter durch das Lachtloch unter das Vordertheil, ein anderer durch das Arbeitsloch, welches dazu an der Vorderseite des Heerdes ist, unter das Hinterteil der Luppe mit dem Spette fährt. Nach dem Wenden der Luppe wird sie völlig gahr gemacht, aus dem Heerde gebrochen und in acht Stücke zerschroten. Gicht- und Formstück werden zuerst gezängt. Bei dem Ausrecken pflegt man den Hammer, welcher zwei Schiffpfund acht Lispfund wiegt, 60 bis 70 Schläge in einer Minute thun zu lassen. Die ganze Arbeit dauert, da man wegen der Gutartigkeit und des leichten Gahrens des Eisens, in der Regel nicht nötig hat durchzubrechen, nur fünf Stunden. Der Eisenabgang beträgt prinzipmässig ein fünftel; der Kohlenabbrand 7 ½ Maass¹³. In beidem Hammerhütten werden wöchentlich 70 bis 80 Schiffpfund gutes Stabeisen fabriziert. Die Arbeit dauert von Sonntag Nachmittag bis Sonnabend Vormiddag. In jeder Hütte sind ein Mester und acht Knechte; vier

¹² 1 Lispfund = 16 Pfund, 1 Schiffspfund = 20 Lispfund.

¹³ 1 Maass = 3 Tonnen.

Gesellen zum Ausrecken und vier Burschen zum Schmelzen. Das ganze Personal erhält pr. Schiffpfund Stabeisen 1 Thaler, worinn sich dasselbe nach Verhältniss theilt. Des Jahres werden im Durchschnitte 3000 Schiffpfund Stabeisen geschmiedet.¹⁴

Der Straßburger Studienfreund GOETHES, JUNG-STILLING (1740 bis 1817), der selbst Augenarzt und Professor der Nationalökonomie in Kaiserslautern war¹⁵, beschreibt in seiner Abhandlung über die Siegerländer Eisenindustrie sehr anschaulich die unvorstellbar schwere Arbeit der Hammerschmiede im Sieger Land:

„Diese riesenmäßige Maschine erregt einen Schauer, wenn man sie anblickt. Wer die Werkzeuge und die Arbeiten dieser Leute gesehen hat, der bewundert nicht mehr so sehr die Alten, wie sie Felsenstücke auf einander thürmen konnten. Die Siegerländer Hammerschmiede kommen ihnen in dieser Eigenschaft ziemlich nahe. Welcher starke Man wird 300 Pfund Eisen in einem Klumpen mit einer Zange unter einen 1200 pfündigen Hammer halten und schmieden können? [...]“¹⁶ und weiter: „[...] Dieser [Hammer] klopft mit solchen Schlägen auf die Loppe [Luppe], daß der ganze Erdboden auf ein paar hundert Schritte umher zittert [...]“¹⁷

Schilderungen dieses Schauspiels sind, ob schriftlich, graphisch oder mit anderen Ausdrucksmitteln, keine Seltenheit.

OEHLER behauptet in seinen detaillierten Ausführungen über einen Eisenhammer: „Das Zängen [Schmieden] einer Luppe war ein nicht minder großartiges Schauspiel wie der Abstich eines Hochofens.“¹⁸

Der Aufbau und die Funktion eines Aufwerfhammers werden in der Literatur sehr ähnlich beschrieben. Die Angaben über das Gewicht der Hammerköpfe sind aber sehr unterschiedlich. Einerseits ist das Gewicht durch die Ab-

¹⁴ HAUSMANN 1812, 170 ff.

¹⁵ FICKELER 1952, 72.

¹⁶ JUNG-STILLING 1778, 354.

¹⁷ JUNG-STILLING 1778, 369.

¹⁸ OEHLER 1951, 47.

hängigkeit von der Produktgröße begründet und andererseits von der Verhütungsmethode, bzw. von ihrer Entwicklung. So werden beispielsweise dünne Stabeisen, *Zaine* genannt, unter Hämmern geschmiedet, deren Bärgewicht 250 kg nicht übersteigt. Soll jedoch eine Luppe (gefrischtes Eisen), mit einer Masse von 150 kg oder mehr, zu einem homogenen Zwischenprodukt geschmiedet und durchgewirkt werden, so kann das Bärgewicht wie das des Storhammers 1t betragen (**Abbildung 15**).



Abbildung 15: Storhammer 1950, Abb.: Museumsarchiv

AGRICOLA beschreibt in seinem Werk „De re metallica“ die Verwendung von „schweren“ Hämmern zum Schmieden der Luppen aus Renn-, Schacht- und Frischherden, geht aber auf die Konstruktion solcher nur graphisch ein. So ist der in der Abbildung¹⁹ dargestellte Aufwerfhammer mit einem weniger als 100 kg²⁰ Bärgewicht und einem Prellholz ausgerüstet. Er zählt eher zu den kleinen Hämmern.

Der Oberbergrat BECHER gibt in seiner Beschreibung eines Siegenschen

¹⁹ AGRICOLA 1974, 538.

²⁰ Anmerkung des Verfassers

Hammers im Jahr 1789 an: „Der Stahlhammer wiege zwischen 4 und 500 Pfund, und manchmal wirklich 500 Pfund [...]“²¹ Eine Dimension, die beispielsweise bei dem schwersten der drei Frohnauer Schwanzhämmer in Annaberg-Buchholz zu finden ist. SCHLEGEL sagt dagegen, daß Hammerbärgewichte bis 1600 kg zur Verwendung kamen²².

Die allgemeingültige Bezeichnung *Bär*, welche für Hammerkopf verwendet wird, konnte hier nicht geklärt werden. Statt dessen besteht durch FICKELER die Möglichkeit, näheres über die Herkunft der Bezeichnung *Amboss* zu erfahren: „Das einzige Siegerländer Wort für Amboß war früher d'r oder det *Afelz*. Um 1447 werden unter den Geräten eines Hammerwerkes auch anfilze erwähnt; es hängt zusammen mit dem niederhochdeutschen »falzen«, ursprünglich »stoßen«, »klopfen«, und Filz gleich zusammengeklopfte Masse, ähnlich wie Amboß mit dem mittelhochdeutschen bozen »schlagen, stoßen«. Der Amboß war im »Einbaustück«, der sog. »Schabotte« (vom lateinischen *caput* = Haupt) mit einem schweren Keil befestigt, das im »Stock« saß, einem etwa 3 m langen Stück eines mächtigen Eichenstammes, der senkrecht im Boden eingemauert war.“²³ (**Abbildung 14**)

Zu der Gründung des *Stocks* empfiehlt JUNG-STILLING: „[...] es darf derselbe zwar nicht auf einer Klippe unmittelbar stehen, sonst würde der Hammer zurück prellen, und indem er zum zweitenmal niederfiel, würde er dem Arm begegnen, denselben allzu stark schlagen oder zerbrechen, mithin auch die Gewalt des Wassers schwächen; doch darf er sich auch nicht senken, sonst würde der Hammer zu niedrig stehen, und also dem Griffe des Arms nicht bequem sein; daher ist die Methode so, daß man eine tiefe Grube gräbt, um auf einen festen Boden zu kommen;“²⁴

Der Hammerstiel oder Helm „[...] war das am höchsten beanspruchte Hammerteil und wurde in jedem Jahr sicher zwei- bis dreimal ausgewechselt.

²¹ BECHER 1789, 552.

²² SCHLEGEL et al. 1983, 151.

²³ FICKELER 1952, 67; Hervorhbg. im Original.

²⁴ JUNG-STILLING 1778, 361.

Es mußte, da das Buchenholz nicht zu frisch sein durfte, stets ein Vorrat von mindestens vier bis sechs Helmen vorhanden sein [...]“²⁵. Und SCHLEGEL bemerkt: „Er [Hammerstiel] wurde meist zu seiner Erhaltung im Hammerteich schwimmend aufbewahrt. Fehlte entsprechendes Eichenholz, so fand gelegentlich auch ein Buchenstamm Verwendung.“ Zur Befestigung des Stiels schreibt er weiter: „Der Hammerstiel wurde mittels zweier seitlicher Zapfen, den «Warzen», die an einem Eisenring angeschmiedet waren, in Pfannen gelagert.“²⁶ Hier wird deutlich, daß der Eisenring, der als Hülse bezeichnet wird, drehbar gelagert und aus Schweißeisen gefertigt ist.²⁷

Über das *Prellholz* und dessen Funktion wird berichtet: „Damit auch der Aufschwung des Hammers so eingeschränkt werde, daß er schon wieder auf dem Amboß ruht, ehe der folgende Arm der Welle eingreift, so ist ein buchener Balken über dem Hammer befestigt, welcher hinten in die Draumsäule eingekleimt, hernach auch zwischen den zwei Hammersäulen befestigt ist, und schräg in die Höhe geht, [...] Dieser Balken heißt Reidel, [...]“²⁸

Bei ALTMANN heißt es diesbezüglich: „Durch eine über dem Hammergerüst angebrachte Holzkonstruktion, das Prellholz, wurde der Hammer schneller zurückgeschleudert, seine Kraftwirkung erhöhte sich dadurch nicht, wohl aber die Schlagzahl pro Minute.“²⁹

Auch FUCHS beschreibt die beschleunigende Wirkung des *Prellholzes*: „Durch den Reitel wird die Zeit eines Hammerspiels abgekürzt, die minutliche Schlagzahl also vergrößert. [...] Eine eigentliche Verstärkung des Schlages tritt nicht ein und es ist ein Irrtum, wenn Beck in seiner Geschichte des Eisens 2, 480 das Gegenteil behauptet, da der Bär durch den Anschlag an das Hindernis im theoretisch günstigsten Falle, das ist bei Annahme eines vollkommen elastischen Stoßes, eine Geschwindigkeit zu Anfang der Abwärtsbewegung erhält,

²⁵ OEHLER 1951, 44.

²⁶ SCHLEGEL et al. 1983, 148; Hervorhbg. im Original.

²⁷ Vgl. auch OEHLER 1951, 44.

²⁸ JUNG-STILLING 1778, 362.

²⁹ ALTMANN 1999, 65.

die gleich ist der Auftreffgeschwindigkeit auf den Reitel. Diese Geschwindigkeit hätte er aber auch besessen, wenn er den Weg ungestört und diese Niveaufläche bei der Abwärtsbewegung erreicht hätte. Der Bär trifft daher im theoretisch günstigsten Falle mit derselben Geschwindigkeit auf das Werkstück auf; praktisch wird die zur Verfügung stehende Schlagarbeit durch den Reitel noch verringert, da der Stoß nie vollkommen elastisch ist. Der Wert des Reitels liegt daher nur in der Erhöhung der minutlichen Schlagzahl und der dadurch gebotenen Möglichkeit in einer Hitze eine bedeutendere Schmiedearbeit zu leisten.“³⁰

Aus welchem Grund für das Hammergerüst solche gewaltigen Dimensionen erforderlich waren zeigen die Ausführungen JUNG-STILLINGS: „In der Wand des Gebäudes, zunächst am Wasserrad, etwa zween Schuh von der Welle entfernt, steht ein starker eichener Pfosten, zween Schuh im Viereck dick, und zwölf Schuh hoch, auf einem Grundholz oder Bloch in der Erde befestigt; auf der gegenüber stehenden Seite des Gebäudes inwärts nahe an der Wand steht wieder ein solcher Pfosten, von eben der Größe, und eben so befestigt; diese beide Säulen tragen einen Balken, der auch die Dicke hat, und so lang als der ganze Bau breit ist; dieser Balken heißt der Draum, und diese Stücke dienen dazu, der Bewegung der schrecklichen Keule eine Festigkeit und Halt zu geben, damit sie nicht wanke, und also ungewisse Schläge thue.“³¹

Detaillierte Angaben zum Hammergestell beinhalten auch BECHERS Beschreibungen: „Die Welle oder Hammer Achse ist gewöhnlich 4 Fuß im Durchmesser und 20 bis 22 ½ Fuß lang. Die Wassersäule ist gegen 22 Fuß lang und oben 2 ½ Fuß, in der Mitte 3 Fuß und unten 3 Fuß und einige Zoll breit. Dick ist sie oben 2 Fuß und einige Zoll, in der Mitte 2 ½ Fuß und unten 2 Fuß 4 bis 5 Zoll. Ihre Verfestigung erhält sie im Fundament. Das Holz, welches den Hammerbau darin zusammenhält oder befestigt heißt das Sohlblock von 14 Fuß Länge, 2 ½ Fuß Dicke und 3 Fuß Breite. Nach dem Hammerplatz oder der Hofseite zu steht nächst ein eben so starkes Holz wie die Wassersäule, das

³⁰ FUCHS 1922, 10,11.

³¹ JUNG-STILLING 1778, 358.

Tromstück genannt. In dieses und in die vorher beschriebene Wassersäule ist das Tromm, oder der Trombalken befestigt oder eingezapft.

Das Trom ist an 27 Fuß lang, 2 ½ Fuß dick, an dem einen Ende 3 Fuß, an dem anderen aber 2 ½ breit. Die Länge davon erstreckte sich beinahe durch die ganze Breite des Hammer-Gebäudes und hat zur Absicht dem Bau über der Erde oder dem Fundament die Verfestigung zu geben oder ihn zusammen zu halten.“³²

Wieder ist es FICKELER, der über die Herkunft der Bezeichnung des *Drombalkens* aufklärt: „Sein Name hängt mit dem mittelhochdeutschen »drum« oder »Trumm« zusammen und bedeutet »Endstück«; er entspricht dem neuhochdeutschen seltenen »Trumm«, von dem die Mehrzahl »Trümmer« noch lebendig geblieben ist.“³³

Die in den vorangegangenen Textauszügen ausgelassenen beiden Stützen zwischen den Dromstützen, die des Storhammers bestehen aus Gußeisen, werden von OEHLER kurz erwähnt: „Vor der «Wassersul» stand noch eine andere Säule, die «Bechsesul», sie stand auf dem «Soalbloch» und reichte bis unter den «Drombalken». In der Mitte war sie durchbrochen. [...] Außer der «Bechsesul» waren die beiden «Zangen» in das «Soalbloch» eingelassen und dort verkeilt. Der Riegel der die, der die beiden Zangen zusammenhielt, wurde «Scheer» genannt.“³⁴

BECHER erwähnt vermutlich die bedeutenden Aufzeichnungen Rinmans: „Diese Ringe sind eine Erfindung des Direktors und Oberofenmeisters Riemann aus den fünfzig dieses Jahrhunderts. Sie sind aus Schweden auf die Hämmer am Rhein, und von daher ins Siegensche gekommen. [...] Die Wellen mit eisernen Ringen nennt der Hammerschmied Kranz und die andern Brust Achsen. [...] Sie sind achteckig, die den runden vorgezogen werden, weil sich jene besser befestigen lassen. [...] Die Frösche (Sind nach der Form der Heb-

³² BECHER 1789, 560-561.

³³ FICKELER 1952, 67-68.

³⁴ OEHLER 1951, 44; Hervorhbg. im Original.

arme behauene Hölzer) werden durch ein eisernes Band und hölzerne Keile darauf befestigt, weil sonst das Blech des Helms, unter das die Hebarme greifen zu früh abgenutzt wird.“³⁵

OEHLER nennt einen wesentlichen Vorteil des Aufwerfhammers gegenüber dem Schwanzhammer: „Die Achse erhielt einen nach abwärts gerichteten Druck, der in jeder beliebigen Stärke von den Lagern aufgenommen werden konnten. Man durfte also den «Bär» beliebig schwer machen und war nur an die von der Landesregierung festgesetzten Gewichte gebunden.“³⁶

(Abbildung 16)

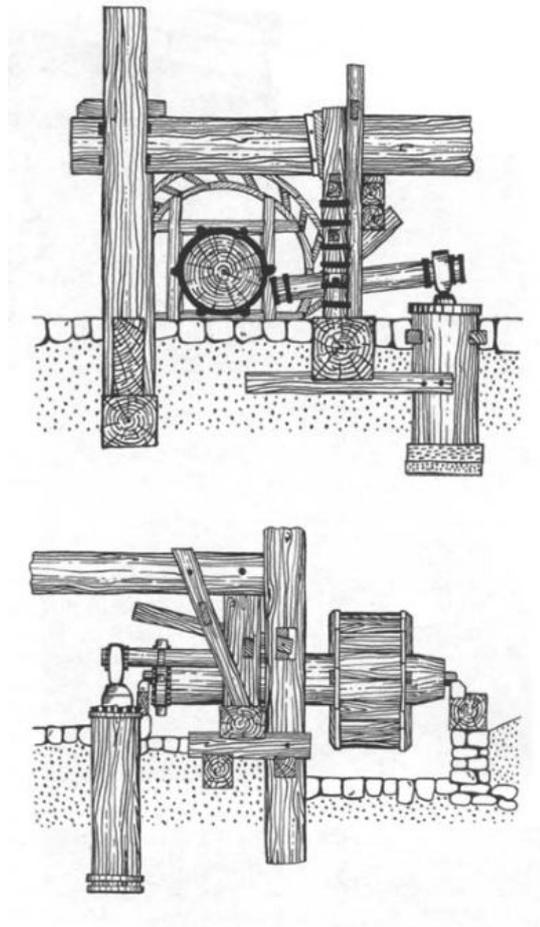


Abbildung 16: Schwerer Schwanzhammer (oben)
und Aufwerfhammer (unten), aus: Schlegel et al.
1983, 151.

Die Steuereinrichtung wie sie hier beschrieben wird ist heute in der Hammerschmiede nur noch fragmentarisch erhalten: „Dieses Wasserbette hat vorn ein Schutzbrett, welches inwendig mit einer Stange, und geschlossen werden kann, vor dem Schutzbrett liegt ein abhängig Schußbrett, welches dem Schuß des Wassers auf das Rad die gehörige Richtung giebt.“³⁷

³⁵ BECHER 1789, 562-563.

³⁶ OEHLER 1951, 44; Hervorhbg. im Original.

³⁷ JUNG-STILLING 1778, 356.

Der Übergang von den Blasebälgen der Herde zu elektrisch betriebenen Gebläsen, hat außer der gesteigerten Leistung auch Wartungsgründe: „Die Bälge sind bei sämtlichen Siegenschen Werken von Leder, und nutzen sich bei den Stahlhämmern, gewöhnlich in 5, 6, bis 7. Jahr ab, daß sie mit neuen verwechselt werden müssen. Ein Paar Stahlhämmer Bälge kosten ohngefähr 80 Reichsthaler.“³⁸

Das Arbeitsleben

Dr. Johannes Jacob Dreßler aus Siegen schrieb in seiner Medizinischen Inaugural-Dissertation über die Krankheiten der Hammerschmiede 1747 in Duisburg: „[...] ein schweres Gehör, Augenkrankheiten, Fehler des Gefühls in den Händen, Steifigkeit des Körpers, Brüche und Verbrennungen. Im letzten Paragraph gibt er seine Verwunderung zu erkennen, daß die Hammerschmiede nicht von mehreren Krankheiten heimgesucht würden, weil sie täglich sehr stark gegen die Regel der Diät fehlten oder sündigten. In der größten Hitze geben sie sich gleich der Kälte Preis, mit erhitztem und von Schweiß triefendem Körper schütteten sie kalte Getränke mit starken Zügen in sich, ohne bei dem allem etwas übles zu empfinden. Man könnte darum mit Recht sagen: daß die Arbeit ihnen Krankheiten brächte, solche ihnen aber auch wieder abnähm.“³⁹

Über die Gefährlichkeit während der Schmiedearbeit in der Næs Hammerschmiede erzählt der alte Schmied Olaf Aslaksen:

„Og så måtte du passe sånne tonge heter, som me kalte det. Onder hammaren der måtte du ha jernstøkkene i ein vinsj med ei svær jernløkke, som du måtte passe med hand. Og den måtte du passe godt, ellers slo hammaren galt, og så letta han, den mannen som sto i tonga. Der måtte du være nøye, hellest så skjangra det voldsomt, det der. Det var farlige greier!“⁴⁰

„Und so mußttest du aufpassen auf solch schwere Hitze [Schmiedestück], wie wir es nannten. Unter dem Hammer mußt du das Eisenstück in einem

³⁸ BECHER 1789, 553.

³⁹ BECHER 1789, 559.

⁴⁰ Trædal 1997, 43.

Kran mit einer schweren Eisenschlinge haben, auf die du mit der Hand aufpassen mußt. Und auf den mußt du gut aufpassen, oder der Hammerschlag ging schief, und so hob er, den Mann der an der Zange stand. Da mußt du genau sein, sonst schlägt/prellt es gewaltig. Das war eine gefährliche Sache!“

Die Art und Weise einer Schutzausrüstung des Hammerschmieds wurde uns durch OEHLER überliefert: „Zum Schutze gegen diese Belästigung trug der Schmied ein großes, langes, ledernes Schurzfell, das bis fast zur Erde reichte und nur die Arme freiließ. Die Füße waren durch lederne Gamaschen, die «Stomphoase», geschützt – und auf dem Kopf trug er den «Fonkefänger», einen großen, breitrandigen Hut, der beim Neigen des Kopfes das ganze Gesicht bedeckte. Ungeschützt waren die Arme [...]“⁴¹

Eine wunderbare Überlieferung zu den Eßgewohnheiten der Siegerländer Hammerschmiede verdanken wir den Aufschriften JUNG-STILLINGS:

„[...] morgens eine Biersuppe, mit Rahm und ein Paar Eiern, steif gebrockt mit gutem Roggenbrod, dazu einen fetten Pfannkuchen von Weizenmehl mit Speck und Eiern, und darauf ein Butterbrod, auf welches die herrlichste süße und schmackhafteste Butter Fingers dick gestrichen war: dieses zusammen machte das Frühstück des Hammerschmiedes aus. Des Mittags eine kraftvolle Fleischbrühe von Weißbrod steif gebrockt, mit allerhand Kräutern und Gewürzen reichlich versehen, dabei eine große Schüssel des schönsten Gemüses auf die fetteste und beste Weise zubereitet, nebst einem mächtigen Stück Ochsenfleisch, das auf der Schüssel von Fettigkeit zitterte, und dann wieder ein gutes Butterbrod zum Schluß. Des Abends endlich machte ein nußbraun gebratenes Kalbviertel, mit Salat und Eiern den Beschluß. Das fette und kostbare Siegensche Bier wurde dabei den ganzen Tag durch nicht gespart.“⁴²

⁴¹ OEHLER 1951, 46.

⁴² JUNG-STILLING 1778, 327-329.

7.3 Die Geschichte Næs Verks⁴³

In Norwegen war Eisen und seine Verwendung seit dem 5. Jahrhundert v. Chr. bekannt.⁴⁴ Die Eisengewinnung aus Moorerz, ein sehr reines Erz ohne Schwefel und Phosphor, war in Norwegen etwa 400 Jahre n. Chr. üblich und wurde bis in das Mittelalter beibehalten. Die Gewinnung von Bergerz erfolgte in Deutschland und Schweden ab dem Spätmittelalter, nachdem, durch die Nutzung der Wasserkraft für mechanische Blasebälge, höhere Temperaturen in den Schmelzöfen erreicht werden konnten.

In Norwegen wurde nach 1500 zuerst in Oslo, Baerum und bei Skien mit deutschen Fachkundigen, die auf königlichen Befehl in das Land geholt worden waren, Bergerz geschmolzen. Die Öfen waren jedoch so unvollkommen, daß das Eisen nicht direkt gegossen werden konnte, sondern immer geschmiedet werden mußte. Erst zur Zeit Christian IV. waren die Öfen ausgereift. Öfen dieser Bauart wurden zuerst in Baerum 1622, später in Fossum und in Barbu errichtet.

Barbu Verk

1574 wurde in Barbu bei Arendal durch den Lehnsherrn von Nedenes, Erik Munk, ein Eisenwerk angelegt. Das Erz konnte aus Gruben der Umgebung, hauptsächlich um Arendal, gewonnen werden. 1580-1880 konnten 4/5 der Eisenwerke von Südost-Norwegen durch die Vorkommen bei Arendal mit Erz versorgt werden. 1976 wurde die letzte Grube bei Arendal, aufgrund sinkender Erzpreise, stillgelegt.

Die Geschichte des Næs Jernverk kann bis in dieses Jahr 1574 zurückverfolgt werden, als Erik Munk das Privileg für den Betrieb des oben genannten Eisenwerks in Barbu bei Arendal erhielt. Seit 1640 waren in Barbu ein Schmelzofen und ein Stabeisenhammer in Betrieb. Aber der erweiterte Grubenbetrieb verschlang das Holz, das auch für die Meiler gebraucht wurde. Der

⁴³ Die folgenden Ausführungen und Daten wurden im wesentlichen aus den Quellen THUESEN 1977, 13-15, HAMRAN 1993, 2-6 und aus dem *Plan des Næs Jernverksmuseums* zusammengetragen. Vgl. auch HELLAND 1904, 322-343, SVENSEN 1936, 497-511 und SVENSEN 1940, 8-132.

dadurch entstandene Mangel an Holzkohle und die geringe Wasserführung des Flusses Barbuelva hatten immer öfter einen Stillstand des Werks zur Folge. In den 1650iger Jahren musste das Barbu Eisenwerk endgültig den Betrieb aufgeben.

Båseland Verk

1665 wurde das Werk von einem Konsortium gekauft und nach Holt, bei dem Hof Båseland, verlegt. Die Geräte und das Material aus Barbu wurden übernommen und weiterhin verwendet. Einen Kilometer östlich des, jetzt Båseland Verk genannten, Eisenwerks, bei dem Hof Øvre Nes, stand an dem Fluss Storelva der Stabeisenhammer. Das Holz, das für die Meiler geschlagen wurde, um den Holzkohlebedarf zu decken, musste von den einheimischen Bauern in einem Umkreis von vier Meilen geschlagen werden.

Das Erz kam außer von Arendal, von den Gruben Lyngroth in Froland und Solberg in Holt. Alle Eisen- und Bergwerke unterstanden gesetzlich der Bergadministration Kongsberg. Bergrecht und Sprache waren durch die Beschäftigung deutscher Fachkräfte für lange Zeit Deutsch. Durch das Eisenmonopol des Dänisch-Norwegischen Staates wurde bestimmt, dass nur eigenes Eisen zu verarbeiten sei.

1724 wurde Ulrich Schnell neuer Eigentümer des Werks. Er ist später von seinem Sohn abgelöst worden.

Næs Verk

Aufgrund des Wassermangels der Lilleelva beschloss Ulrich Schnell 1738 den Umzug des Werks an den Fluss Storelva bei Nes⁴⁵. Die Storelva wurde mit einem neuen Damm versehen und der Hochofen vollständig umgesetzt. Båseland Verk wurde in Næs Verk umbenannt.

⁴⁴ NYGÅRD-NILSSEN 1998, 14.

⁴⁵ Nes = Halbinsel.

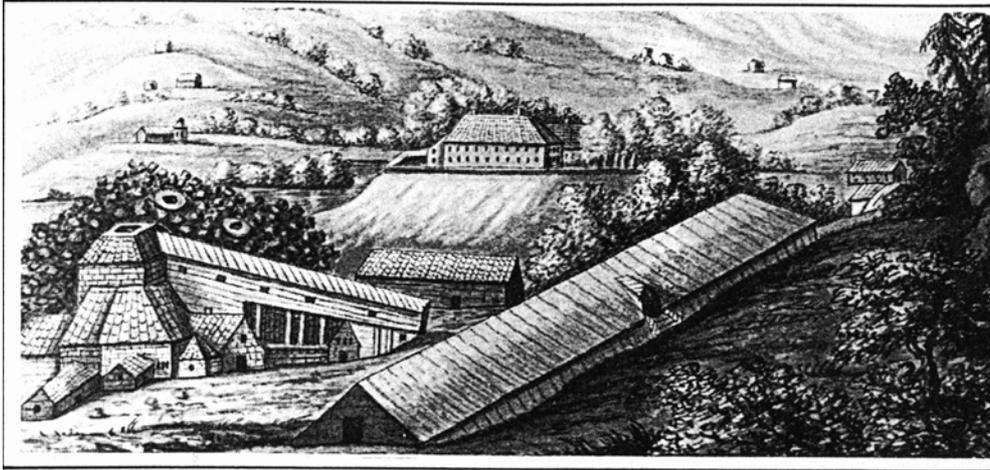


Abbildung 17: Prospekt von Næs Verk 1810, aus HAMRAN 1993, 4.



Abbildung 18: Jacob Aall

1799 kauften Jakob Aall, ein junger Theologe und Mineraloge aus Porsgrunn und sein Bruder das Werk. Der Bruder wurde später abgelöst (**Abbildung 18**). Zu dieser Zeit war der Ofen, eine alte schwedische Konstruktion, 30 Fuß hoch. Das Werk verfügte zudem über einen Stabeisen- und einen Nagelhammer.

Jakob Aall kaufte das Werk zu einer günstigen Zeit. Nach der Konjunktur um 1800 überstieg die Nachfrage die damalige Werksproduktion. Aall musste investieren und modernisieren.

An der Stelle des alten Hochofens wurden ein neuer Ofen und ein Röstofen errichtet. Besonders die Gusstechnik wurde verbessert und der Ofen von Næs genoss auch im Ausland ein beachtliches Ansehen. 1825 wurde Næs Verk, als erstes im Land, mit zwei Kuppelöfen ausgestattet.

Ende 1830iger Jahre nahm Aall seinen Sohn Nicolai Benjamin in Firma auf und nannte das Werk in JACOB AALL & SOHN um. Bis in die 1840iger Jahre wurde viel im Werk modernisiert. Ein Stahlofen wurde gebaut und im Hammergebäude ging man über zur Lancashirefeuerung mit vier Herden und einer Gebläsemaschine nach BAGGES über. Weiterhin wurden ein schwedischer Gas-

ofen und ein Langlochherd installiert. Mit der Erweiterung des Hochofens zu einem Doppelofen konnten neben einer Verdopplung der Produktion auch größere Stücke gegossen werden. 1842 wurde die Maschinenwerkstatt für die spanende Bearbeitung erbaut. Im Jahr 1844 starb Jakob Aall.

Die technische Entwicklung in den 1850iger Jahren in England, besonders das 1860 eingeführte, mit Steinkohle betriebene Bessemer Verfahren, führten in Europa und auch in Norwegen zum Niedergang der mit Holzkohle betriebenen Eisenwerke. Im Næs Verk wurde darauf die Produktion umgelegt. 1853 kaufte Nicolai Benjamin Aall, zur Unterstützung seiner Produktion, das in der Nähe gelegene Egelandswerk. Im Næs Verk baute man zu dieser Zeit eine Hufnagelfabrik, eine Axtfabrik, eine Feilenfabrik und 1859 ein Tiegelstahlwerk nach HUNTSMAN. Die Fertigung von Spezialstahl machte Werk konkurrenzfähig.



Abbildung 19: Næs Verk um 1860, Abb. Museumsarchiv

1860 erhielt das Werk den Auftrag für die Norwegische Verteidigung Stahlkanonen und Granaten zu schmieden. 1870 baute man ein Triowalzwerk, das von einer WENSTRØM-Wasserturbine angetrieben wurde. Alle Teile des

Walzwerkes wurden nach den Zeichnungen und Modellen der Firma QVIST & GJERS, Arboga im Næs Verk gegossen. Das Walzwerk war bis 1942 in Betrieb.

1870 standen alle norwegischen Eisenwerke still. Nur Næs Verk überstand als einziges Eisenwerk die Krise der 1870-80iger Jahre.

Die umfangreichen Investitionen und der billigere Stahl aus dem Ausland führten dann doch dazu, dass das Werk trotz guter Stahlqualität 1883 in den Konkurs ging. Das Egelandverk musste verkauft und stillgelegt werden. Næs Verk wurde zu einer Aktiengesellschaft neu organisiert und die Familie Aall bekam nacheinander ihre Anteile zurück. Das Werk hieß nun A/S JACOB AALL & SØN und der Betrieb wurde mit einer Holzschleiferei, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Bergbau und einem Sägewerk fortgesetzt.



Abbildung 20: Næs Verk 1886 nach der Modernisierung (Museumsarchiv)

1886 folgte eine umfassende Modernisierung des Doppelhochofens: In einem, auf der Südseite stehenden, Ofen wurde ein freistehender Brennraum mit vier Einblasformen gebaut (**Abbildung 20**). Der andere Ofen wurde mit Schutt aufgefüllt und oben auf dem Kranz ein gasgefeuerter Röstofen nach WESTERMAN installiert. Die notwendige Luft kam von einem Zweizylindergebläse,

welches ebenfalls von einer schwedischen WENSTRØM-Turbine angetrieben wurde. Für die Bauarbeiten wurden schwedische Fachkräfte, vor allem aus einem stillgelegten Werk in Värmland, eingestellt. Zur Jahrhundertwende waren 400 Arbeiter und davon 120 fest angestellt. Die Produktion ging mit eigenem Roheisen weiter bis 1909 der ökonomisch nicht zu verkraftende Bedarf an Holzkohle zum Stillstand des Ofens führte.

Seitdem lief Næs Verk weiter als Stahlwerk mit eingekauften Schrott und Rohmaterial, was in den Tiegeln eingeschmolzen, durch Legieren veredelt und anschließend zu Stangen ausgeschmiedet oder gewalzt wurde. Das Inventar der Hammerschmiede wurde reduziert, so daß nur noch ein Stor- und ein Sinkhammer vorhanden waren. Zusätzlich hat man von der stillgelegten Schmiede oberhalb der Maschinenwerkstatt den Kniphammer und einen Glühofen in die Hammerschmiede umgelagert. Einer der wichtigsten Aufträge, neben der Stabeisenproduktion, war die Fertigung von großen Maschinenscherblättern.

Nachdem das Walzwerk 1942 das zweite mal abgebrannt war ging die Arbeit noch ein Jahr weiter bis das Walzwerk endgültig stillstand. Auch das Sägewerk wurde stillgelegt. Nur noch das Tiegelstahlwerk, die Hammerschmiede und die Maschinenwerkstatt wurden weiterbetrieben.

Durch den Einsatz des Norwegischen Technikmuseums wurde, Ende der 1940iger Jahre, GUNNAR THUESEN mit der Untersuchung der erhaltenen norwegischen Eisenwerke beauftragt. 1948 wurde durch ihn auch Næs Verk schriftlich, fotografisch und zeichnerisch dokumentiert und 1977 in seinem Werk „Noen Norske Jernverker“ (Einige norwegische Eisenwerke) zusammen mit andern Eisenwerken veröffentlicht. Anhand seiner Zeichnungen kann heute der Zeitpunkt für einige Umbau- und Erneuerungsarbeiten festgestellt werden. Demnach sind die Radwelle, das Prellholz und die Drumstütze-West des Storhammers nach 1948 ausgewechselt worden. Im April 1951 (Markierung) folgten alle drei Hammerstiele.



Abbildung 21: Der Damm vor der Flut

In der Nacht vom 14. zum 15. November 1959 zerstörte ein Hochwasser den seit 1738 bestehenden Damm, und der Betrieb des Næs Eisenwerks wurde nach drei Jahrhunderten endgültig eingestellt (**Abbildung 21**).

Das sehr eigene Werksleben war geprägt durch einen festen Stamm von Werksangehörigen, die über viele Generationen mit ihren Familien in dem Werk wirkten. Seit 1740 war eine Schule fester Bestandteil des Werks. Etwa 1820 kam eine eigene Sparkasse und auch eine Kranken- und Sozialordnung dazu. Die Arbeiter wohnten auf 70 werkseigenen Grundstücken und konnten Ackerbau und Viehzucht betreiben. Im 19. Jahrhundert lebten rund 600 Einwohner in Nes Verk (**Abbildung 22**).



Smedar og smedgutar framfor Hammerbygningen, 1890-åra. Personane: Framme frå venstre: Eriksen, Carl Petter Nylén ("Pittersen"), John Olof Olsen ("Svenske-Olsen"), Ola Sveinomsen ("Ola Varselkleiva", som er nemnd eit par gonger i boka), Reier Olsen, samt to ukjende. Bak frå venstre: Furubotten, Johannes Hansen, Nils Andersen, Syver Post (?), Gunnar Andersen, Aslak Aslaksen, Sveinom Thorsen, Hans Olsen Djupdal, Jonas Kruse, Mads Andersen, Anders Eriksen Roa (?), Henrik Gjeruldsen.

Abbildung 22: Hammerschmiede 1890iger Jahre, aus TRÆDAL 1997, 61.

Der Weitere Verlauf

Noch vor dem Ende des Betriebs von Næs Verk, wurden bereits 1924 das Herrenhaus und die Arbeiterhäuser unter Schutz gestellt. Das Hammergebäude blieb nach der Dammzerstörung unberührt stehen, bis in einem strengen Winter 1966 die Schneemassen das Gebäude zum Einsturz brachte. Im Dezember 1966 folgte darauf die Unterschutzstellung der Hammerschmiede, des Tiegelstahlwerks und des Lagers als technisch-industrielles Denkmal. A/S JACOB AALL & SØN überließ die Gebäude dem Museum, der Staat kaufte den Boden und das Næs Jernverksmuseum wurde organisiert. Im Frühjahr 1967 wurde der Beschluss für den Wiederaufbau des Hammergebäudes gefasst, der 1969 erfolgte.

Die Entwicklung des Museums wurde gefördert durch das Norwegische Technikmuseum, den Reichsantikvar und durch das Aust-Agder-Museum. Alle drei Gebäude wurden mit der Unterstützung des Norwegischen Kulturrats, des Reichsantikvaren, des Vereins der Nes Verk Freunde, des Landesvereins der Maschinenwerkstätten und der Aust-Agder-Gemeinde repariert beziehungsweise instand gesetzt.

Man erkannte bei der Rekonstruktion des Hammergebäudes, dass es nicht möglich sein würde es in ursprünglicher Gestalt aufzubauen. Die Sparren waren mit einem Netz aus Eisenstangen verstärkt, und es gab keine ökonomische Möglichkeit diese Technik wieder aufzunehmen. Außerdem war es nicht zu verantworten, die ursprüngliche leichte und offene Dachkonstruktion zu behalten, da das Haus unaufgewärmt stehen bleibt. Deshalb wurde es anhand derselben Maße, aber mit starken geleimten Dachsparren zu einer soliden Dachkonstruktion wieder aufgebaut. Die Wasserrinne wurde ebenfalls rekonstruiert. Auf diese Weise konnte das Werk, zwar teilweise restauriert, aber überwiegend in seinem ursprünglichen Zustand bewahrt werden.

Außer den drei Gebäuden ist die Maschinenwerkstatt erhalten worden. Fast alle alten Maschinen der Werkstatt sind jedoch entfernt worden. Der Doppelofen blieb ebenfalls erhalten und ist heute in Norwegen der einzige existierende Ofen seiner Art. Auch wenn er 1886 umgebaut wurde, so zeigt er dennoch die charakteristische Bauform eines Ofens des 17. Jahrhunderts.

Das Museum

Zwischen 1970 und 1980 war das Museum für Besucher an bestimmten Tagen zugänglich, wobei es von Gemeinde finanziell unterstützt wurde. 1989 wurde die Finanzierung für den Bau neuer Hammerfundamente durch den Norwegischen Kulturrat bewilligt, da die alten Holzbalkenfundamente unter den Hammergestellen verrottet waren. 1990 wurden weitere Mittel für Dach- und Außenarbeiten an der Maschinenwerkstatt und der Tischlerei zur Verfügung gestellt. Für den Hochofen wurde ein provisorisches Dach angefertigt.

Seit 1992 wird das Museum durch die Stiftung des Næs Jernverksmuseums organisiert. Sie regelte mit A/S JACOB AALL & SØN vertraglich die Nutzung des Hochofens und der Tischlerwerkstatt (Snekkerbua) für den Museumsbetrieb.

Im gleichen Jahr wurden die Mittel für die vollständige, bisher noch nicht abgeschlossene, Registrierung der gesamten Ausstattung der Hammerschmiede bewilligt.

1996 wurde dem Museum die begehrte braune Hinweistafel für europäische Kulturdenkmale übergeben, die für Sehenswürdigkeiten von internationalem oder besonders nationalem Interesse ausgegeben wird.

Im selben Jahr wurde ein Projekt zur Rekonstruktion des Hochofens, des Damms und der Wasserrinnen geplant und ausgearbeitet. Bereits 1999 konnte nach bewilligter Finanzierung die Rekonstruktion des Ofengebäudes begonnen und dann 2002 abgeschlossen werden. Die Vorgabe war der Bau des Ofengebäudes aus der Zeit 1870 bis 1880.

Die zur Zeit aktuelle Planung betrifft die Rekonstruktion und Modernisierung des Damms und der Wasserrinnen. In den Damm werden eine stufenlos regulierbare Turbine, für die Stromversorgung des Museums, und eine elektronisch gesteuerte Lachsschleuse integriert.

7.4 Gespräch mit Olaf Aslaksen



Abbildung 23: Olaf Aslaksen, geb. 1913

Eine wichtige Informationsquelle der Vergangenheit sind die heute noch lebenden Zeitzeugen. Ein Zeuge ist der letzte Vorschmied aus der siebenten Schmiedegeneration im Næs Verk, Olaf Aslaksen. Am 5. Juli 2001, kurz nach seinem Geburtstag, hatten

wir (der mich sprachlich und fachlich unterstützende Erik Gjendem und ich) die Gelegenheit mit ihm ein Gespräch zu führen. Es ist hier folgend stichpunktartig aufgeführt:

- Vom Nagelwerk Oslo gekaufte und im Tiegelwerk gegossene Stahlbarren (6"x 6" mit 250 kg ?) wurden unter dem Hammer umgeschmiedet, z.B. bei seiner letzten Arbeit zu Schiffsspanten.
- Etwa 1950 wurde der große Glühofen von einer Osloer Firma aufgestellt, in dem immer vier dieser Barren lagen.
- Zu seiner Feuerung nutzte man Holzkohle und Steinkohle.
- In der Schmiede arbeiteten zwei Gruppen: zwei Mann am Kniphammer und vier am Stor- oder am Sinkhammer, davon waren zwei Schmiede, einer erwärmte die Blöcke und einer musste fortwährend das Maß überprüfen.
- Die Hammerköpfe wurden auf Tromøy gegossen und da sie gerne von der Gesenknot zum Auge aufbrachen, versah man sie beim Guss mit Stahlbewehrung.
- Auch die Wellenzapfen brachen hin und wieder ab.
- Der Grund für die geneigte Radwelle ist ein Vermeiden von Wasser in der Werkstatt (außerdem eine Wand vor dem Rad).
- Materialien: Hammerschaft und Keile aus Birke, Radwelle und Drumbalken aus Kiefer, Radkreuz aus Eiche, Wasserschaufeln aus Kiefer oder Tanne (oft gewechselt).

- Beim Wechsel eines Hammerstiels wurde der Lagerzapfenring auf das Stielende geschoben, welches man solange mit Birkenholzkeilen aufweitete, bis es nicht mehr weiter ging, worauf man dann noch einige Stahlkeile einschlug. Das so verdichtete Holz konnte bei einem erneuten Wechsel nur ausgebrannt werden, was einen Tag benötigte.
- Der von Kongsberg gebraucht gekaufte Lufthammer (Baujahr 1912) erwies sich als Fehlinvestition, da der werkseigene Generator nicht die erforderliche Leistung lieferte.
- Zuerst Gleichstromgenerator, später Wechselstrom (reichte nur für Licht im Winter wegen Wassermangel).
- Außerdem versuchte man Eisen elektrisch zu schmelzen, was nicht gelang.
- Der Boden der Schmiede besteht einfach aus Erde.
- Die Wellenlager sind mit Talg gefettet worden, weshalb sie abgedeckt werden mussten, da sonst Ratten das Talg fraßen.
- Mit dem kleinen Ofen sind z.B. Klingen mit Klingenstahl verlötet worden.
- „Combein“ ist eine Bezeichnung für ein Stahl/Guß Eisen- Laminat, erst wird eine Hälfte gegossen, dann wird im richtigen Moment die Trennwand herausgenommen und das andere Metall in die Form gegossen.
- Im Winter mußte zwischen den Arbeitsgängen das Wasserrad vom Eis befreit werden und nach der großen Pause zw. Weihnachten und Neujahr sah man das Rad vor Eis nicht mehr.
- Er ist nicht besonders glücklich über die Zeit, die er dort gearbeitet hat. Knochenarbeit an, zu seiner Zeit, veralteten Maschinen.

Am 14.11.2002 ergab sich noch einmal die Gelegenheit eines Gesprächs mit Olaf Aslaksen, diesmal durch Hans K. Helseth unterstützt:

- Ein richtiges System für die Werkzeuge gab es nicht. Die großen Zangen hingen in einem Holzgestell wie es heute rekonstruiert ist, und alle kleineren Dinge wurden dort abgelegt wo man gerade bei der Arbeit war. Das Werkzeug wurde oft auf den Boden gelegt (auch geworfen) oder auf Nägel an die Wand gehängt.

- Die Arbeitszeiten waren von 7:30 bis 12:00 und von 12:30 bis 16:00.
- An eine Erneuerung der Drumstütze-Ost zu seiner Zeit kann er sich nicht erinnern, was bedeutet, dass sie möglicherweise vor 1927 (Einstellung Aslaksens) eingebaut wurde.
- Zum Betrieb des Doppelkammerofens gibt er an, dass in der Regel mit Steinkohle gefeuert wurde. Außer während der Kriegszeiten, wurde durch Kohlenmangel mit Holz gefeuert. Die Asche ist nur einmal in der Woche entfernt worden. Ein interessantes Detail ist die in den Ofenklappen eingebaute Wasserkühlung.
- In den letzten Jahren wurden die Öfen mit elektrischen Gebläsen betrieben.
- Da es in Nes Verk keine großen Birken für die Hammerstiele mehr gab, mussten sie über weite Entfernungen beschafft werden.

8 Entwicklung und Beurteilung denkmalpflegerischer Konzepte zur Erhaltung der Hammerschmiede

8.1 Vorbemerkungen

Hüttenwerke wie das Næs Verk zählen zu den ersten Zeugnissen der industriellen Entwicklung Norwegens. Die Erhaltung Technischen Kulturgutes aus der Zeit der Industrialisierung ist für Norwegen, aus politischer und aus Technisch historischer Sicht, von großer Bedeutung.¹

Das Næs Eisenwerk repräsentiert heute drei Jahrhunderte der norwegischen Eisenproduktion. Es verfügt über eine einzigartige, durch das Werk geprägte und seit 150 Jahren nicht nennenswert veränderte, Kulturlandschaft. Alle wichtigen Gebäude, die mit dem Betrieb verbunden waren sind heute nahezu vollständig erhalten, samt Werkzeugen und technischen Anlagen.

Der kontinuierliche Betrieb von 1665 bis 1959 förderte neben der Entwicklung der regionalen Wirtschaft auch, über Kontakte und Handel mit dem Ausland, seine nationale Bedeutung. Der Fortbestand des Næs Eisenwerks war, außer den vorhandenen Roh- und Brennstoffen, dem großen Einsatz der Werksbesitzer und Werksarbeiter und ihrer fachlichen Kompetenz zu verdanken. So engagiert sich auch heute noch die Familie AALL, die seit 1799 im Besitz der Werksanlage ist, mitwirkend in der *Stiftung des Næs Jernverksmuseums*, für die Erhaltung des Eisenwerks.²

8.1.1 Der Plan für das Næs Jernverksmuseum

Im Jahr 1992 wurde die Organisation des Museums durch die neu gegründete *Stiftung des Næs Jernverksmuseums* übernommen. Im November gleichen Jahres wurde durch die Stiftung der „Plan für das Næs Jernverksmuseum“ ausgearbeitet und somit das Grundkonzept des Museums festgelegt. Der Stiftung standen dabei der Reichsantikvar und das Norwegische Technikmuseum, mit

¹ Riksantikvaren 1994, 3ff.

Unterstützung des Norwegischen Kulturrates beratend zur Seite. Zwei Jahre später entwickelte der Reichsantikvar einen generellen Schutzplan für Technisch Industrielle Kulturdenkmäler.

Als wesentlichen Bestandteil des Plans und als Aufgabe des Museums, sieht die Stiftung die anschauliche Vermittlung von Arbeitsprozessen in den alten norwegischen Eisenwerken. Ebenso vorgesehen ist die detaillierte Dokumentation des gesamten Werkes. Eine der ersten Aufgaben war die Anfertigung des großen Modells der Werksanlage aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Im Sinne des durch die Stiftung gewählten Konzepts, Arbeitsvorgänge anschaulich darzustellen, wurden bereits verschiedene Aufbau- und Rekonstruktionsmaßnahmen durchgeführt. Die Tabelle 10 gibt hierzu einen Überblick.

Ziel der bisher durchgeführten Baumaßnahmen war eine Rekonstruktion des Erscheinungsbildes, wie es aus der Zeit des Betriebs in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts überliefert worden ist³. Hintergrund der Wahl dieser Epoche ist die, in diese Zeit fallende, Blütezeit des Werks.

Im Vergleich zur Hammerschmiede und zum Tiegelstahlwerk ergibt sich somit eine gewisse Abweichung. Die Hammerschmiede, die kurz nach der Betriebsstillegung zusammenbrach und neu aufgebaut wurde und das instandgesetzte Tiegelstahlwerk, weisen auf die Periode des letzten Betriebs, also auf die Zeit der Stillegung 1959 hin. Doch im Verlauf des 19. Jahrhunderts unterlag das Hammerwerk einem ständigen Wandel durch Änderungen und Umbauten, sowohl als Folge der fortschreitenden Entwicklung der Verhüttungstechnik, als auch in Anpassung an die Produktivität des Hochofens und des Tiegelstahlwerkes. Nur die Technologie der Schmiedehämmer ist vom Beginn 1665 bis auf den letzten Tag unverändert geblieben, so dass ihr letzter technischer Stand auch den des 19. Jahrhunderts repräsentiert. Gerade dieser Aspekt gewinnt an Bedeutung, wenn der Vergleich zur technischen Entwicklung Mitte des 20. Jahrhunderts gezogen wird, wo sich die letzte Generation der Hammerschmiede mit den seit Jahrzehnten überholten Anlagen abmühte.

² Plan des Naes Jernverksmuseums 1992, 3.

³ Der Hochofen wurde 1886 modernisiert

Entwicklung und Beurteilung denkmalpflegerischer Konzepte zur Erhaltung
der Hammerschmiede

Tabelle 10: Zeitlicher Überblick der Gebäude des Næs Jernverksmuseums

GEBÄUDE	ZUR ZEIT DES BETRIEBS	NACH DER STILLE- GUNG	MUSEUM SEIT 1967	STIFTUNG SEIT 1992	
				WAR	IST
HAMMER	-1574 -1660 Barbu -1665-1738 Båseland -1738 Næs Verk -1959 Stilllegung	-1966 Einsturz und Denkmal- schutz	-1969 Rekon- struktion des Gebäudes -1989 Funda- mente neu und Zeichnung	-1992 Registrie- rung der Einrich- tung be- gonnen	
OFEN	-1665-1738 Båseland -1738 Næs Verk - 1806 Brandt -1830 Doppel- ofen -1886 Moderni- sierung -1909 Ende	-während Krieg Gebäude abge- rissen	-1990 provisoi- risches Dach	-1999-	2002 Re- konstruktio- n des Ofenge- bäudes zur Zeit 1870/80
TIEGEL- STAHL- WERK	-1859 gebaut -1886 erweitert			- 1992 Registrie- rung der Einrich- tung be- gonnen	
MASCHI- NENHAUS	-1842 gebaut -1860 erweitert		-1990 Dach und Fassade repariert		
WASSER- FÜHRUNG	-1738 gebaut -1959 durch Flut zerstört				
LAGER		-1966 Denk- malschutz -1870iger res- tauriert			
KRAFT- WERK	-1903-1956				- teilweise restauriert
BÜROGE- BÄUDE	-1850 gebaut				
EINGANGS GEBÄUDE (Tischlerei)	-1870iger ge- baut -1936 Umbau zum metallurgi- schen Labor	-Lager			
BRÜCKE	-1879 gebaut - zwischen 1909 und 1920 abge- rissen				

Eine konsequente Rückführung, gleich dem Hochofenprojekt (**Abbildung 24**), würde dennoch bedeuten: Das Gebäude zu ändern, den Schwanzhammer zu entfernen und zwei alte Hämmer und vier von sechs Öfen samt den Gebläsen zu rekonstruieren beziehungsweise neu zu bauen.



Abbildung 24: Rekonstruiertes Hochofengebäude 2002

8.2 Ausgangssituation

Heute wird die Hammerschmiede durch ein 33 Jahre *altes*, rekonstruiertes Gebäude aufgenommen. Die gesamte Konstruktion des Gebäudes und der Wasserradeinhausungen ist ausschließlich mit neuen Hölzern hergestellt worden. Die Rekonstruktion ist Bestandteil des Gesamtkonzeptes und bedarf aufgrund ihres guten Zustands, bis auf die Änderungen zur Klimaverbesserung, keiner erhaltenen Maßnahme. Die Überlegungen für ein Konzept konzentrieren sich hier mehr auf die Erhaltung der Einrichtung.

Die in dem Gebäude stehenden drei Hämmer sind gleichermaßen stark in ihrem Bestand gefährdet. Die vorliegenden Untersuchungen machen deutlich, in welchem Maß der Bestand des Storhammers, infolge des hohen Abbaugrades

tragender Konstruktionselemente, beeinträchtigt wird. Oft wird ein derartiger Substanzverlust erst bei Versagen der Tragfähigkeit offensichtlich. Von der Aufnahmefähigkeit einer dynamischen Belastung sind alle drei Hammerkonstruktionen weit entfernt.

Die Hammerkonstruktionen sind von fast allen Seiten durch Besucher begehbar. Da die schweren Hammergestelle als dreidimensionale Objekte das gesamte Gebäude überspannen, haben sie sich mit allmählich nachlassendem Standvermögen, zu einem hohen Sicherheitsrisiko entwickelt. Im Mittelpunkt stehen dabei die beiden Stützen des Hammergestells und die Welle, mit der von ihnen ausgehenden Einsturzgefahr für die Besucher und eben auch für die eigene Konstruktion.

Die Lagerung der Drumstütze-West ist zu zwei Dritteln und die der Drumstütze-Ost vollständig funktionslos. Durch den kontinuierlichen Abbauprozess des Fußbereichs, setzt sich die Drumstütze-Ost allmählich, während die Spannung im Drumquerbalken zunimmt.

Von den insgesamt neun Balken der Welle, besitzt lediglich der mittlere Balken noch eine genügende Tragfähigkeit. Die anderen acht Balken sind besonders an den Stirnseiten stark abgebaut. Die große Last des Wasserrades und des Eigengewichts der Welle liegt, außer auf dem mittleren Balken, zur Sicherung auf bereits provisorisch untergestellten Stützen.

Der fortgeschrittene Abbau durch Holz zerstörende Organismen, die Korrosion der eisernen Ausstattung und die bereits durchgeführten Veränderungen, sind die Folge von, den Verfall begünstigenden, Umgebungsbedingungen, wie lokale Befeuchtung und ein hoher Feuchtigkeitsgehalt der Raumluft. Die Ursachen der hohen Luftfeuchtigkeit sind durch die Nähe zum Fluss Storelva und durch die Errichtung des Gebäudes auf einfachem Erdboden begründet.

Der Boden hatte in Schmieden eine besondere Funktion. Er durfte nicht zu trocken sein, um für etwas Kühlung zu sorgen und die Staubentwicklung und Brandgefahr zu reduzieren. Diese Eigenschaften sind zwar heute nicht mehr erforderlich, aber charakteristisch und ein wesentlicher Teil der historischen Anlage. Wichtiges Kriterium für die Dokumentation und eventuelle Bauarbei-

ten ist der Informationsgehalt des Bodens und des in ihm Verborgenen: Durch Ausgrabungen können zum Beispiel Fundamente der Lancashire-Öfen oder der Hämmer dargestellt und erforscht werden.

Das heute im Hammergebäude vorherrschende Erscheinungsbild, erinnert an eine vor langer Zeit verlassene und im Verfall begriffene Arbeitsstätte. Ein Zustand, der aus dem Neuzustand im Laufe der Zeit durch natürliche Alterung, Gebrauch und Verschleiß, durch zufällige Beschädigungen oder Abänderungen während der Zeit des Betriebs hervorgegangen ist. Es sind authentische Merkmale und Zeugnisse seines Alters, die die Zeit auf einem Objekt unweigerlich und irreversibel hinterlassen hat.

Ein Fortbestehen der Anlage unter den genannten Umgebungsbedingungen bedeutet ein Höchstmaß an Authentizität, wird aber in Zukunft das vollständige Versagen der Standfähigkeit der Hammerkonstruktionen bewirken.

Davon ausgehend ist die folgende Strategie für die durchzuführenden Erhaltungsmaßnahmen erforderlich:

1. Die durch die Untersuchungen erkannten Schwachstellen der Hammerkonstruktionen müssen umgehend gesichert werden.
2. Verhindern des weiteren direkten Wasserzutritts durch undichte Dachabdichtungen.
3. Bekämpfung der Holz zerstörenden Organismen und Trocknung der Hölzer.
4. Veränderung des Raumklimas zu geringeren Luftfeuchten.

Erst im Anschluss daran können weitere restauratorische Maßnahmen an den Hämmern und der Ausstattung erfolgen.

Voraussetzung und Grundlage aller geplanten Maßnahmen sind die Richtlinien des Restaurierungskonzepts.

Die Aufgabe dieser Arbeit besteht nicht darin ein neues Nutzungskonzept für die gesamte Hammerschmiede zu entwickeln, sondern vielmehr in der Er-

arbeitung von Lösungen zur Erhaltung des Großhammers (stellvertretend für die beiden anderen Hämmer). Das Klima im Gebäude spielt hierbei eine wichtige Rolle.

8.3 Mögliche Ansätze für ein Erhaltungskonzept

Für die Erhaltung Technischen Kulturgutes gibt es, zwischen Alterung und Wiederinbetriebnahme, unterschiedliche Ansätze. So formulierte LÜTH in Bezug auf den künftigen Umgang mit der Alten Völklinger Hütte den Begriff „kontrollierte Industrieruine“, um „[...] mit knappsten Etat ein ausgesprochen schwieriges Denkmal auf noch ungewisse Zeiträume erhalten zu können.“⁴ Meistens jedoch, so auch von KÜHN beschrieben, wird die Wiederherstellung von dem „Zustand des letzten Betriebs“ angestrebt⁵. Eine Restaurierung in diesem Sinne wurde als Erhaltungskonzept für das Inventar der Tuchfabrik Müller durchgeführt und kann, nach GÖTZ, einer „denkmalgerechten Zielbestimmung“ entsprechen⁶.

Im Umgang mit historischer Bausubstanz, wie Holztragwerke, werden nach HUSE und SCHMIDT sechs Konzepte unterschieden:

- das Alternlassen, das diesen Prozess bewusst hinnimmt (**Abbildung 25**),
- das Pflegen, um das Altern zu verlangsamen,
- das Konservieren, um das Altern aufzuhalten,
- das Reparieren, das das Altern partiell rückgängig macht,
- das Erneuern, wodurch das Altern aufgehoben wird, und
- das Rekonstruieren, das die Entwicklungsgeschichte negiert.⁷

Im Fall der Hammerschmiede ist, durch das Gesamtkonzept des Museums, als Richtung die Erhaltung der Anlage in didaktischem Sinn vorgegeben. Die

⁴ LÜTH 1998, 30.

⁵ KÜHN 1989, 122.

⁶ GÖTZ 1997, 73.

⁷ HUSE 1984 u. SCHMIDT 1989.

dafür beste Möglichkeit wäre sicher die Funktion der Anlage.



Abbildung 25: Alternlassen, Aufwerfhammer bei Wortley/GB

Die Möglichkeiten, das Fortbestehen des Storhammers zu sichern und in seinem Bestand zu erhalten, sollen hier mit Hilfe verschiedener Wege aufgezeigt werden. Vor dem historischen Hintergrund und anhand der Diagnose ergeben sich drei mögliche Konzepte:

- der pflegende Umgang
- das Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild
- die Rekonstruktion mit der Wiederinbetriebnahme eines Hammers.

8.3.1 Pflegender Umgang

Der dem Abbauprozess unterliegende und so auch wahrnehmbare Zustand wird akzeptiert. Im Vordergrund steht der pflegende Umgang mit dem gegenwärtigen, überlieferten Zustand, mit allen Eigenschaften die durch den Lauf der Zeit geprägt wurden. Die für eine Sicherung notwendigen Maßnahmen haben nur eine unterstützende Funktion, dass heißt, es werden keine geschädigten

Bereiche ausgewechselt oder ergänzt, sondern durch äußere Hilfskonstruktionen abgefangen. In die originale Substanz der Hammerkonstruktion wird auf diese Weise kein Eingriff vorgenommen und mit einem erforderlichen Mindestaufwand, einer ständigen Kontrolle, dem Altern entgegengewirkt.

Die in gewissem Sinne zurückhaltende Absicht hat jedoch wenig mit dem arbeitsamen Schaffen und der hohen Qualität der einstigen Schmiede gemein.

8.3.2 Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild

Entgegen dem „pflegenden Umgang“ wird der, durch vergangene Zeiten und Schicksale geprägte Zustand, nur bis zu einem gewissen Grad akzeptiert. Die Distanz zwischen dem gegenwärtigen Erscheinungsbild einer vor langer Zeit verlassenen Arbeitsstätte und dem Neubau des Gebäudes soll mit minimalem Verlust an originaler Substanz restauratorisch verringert werden. Das Erscheinungsbild, von Gebrauchs- und Alterungsspuren beherrscht, kann mit einer restaurierten, soliden Konstruktion und einer Ordnung, bei der der Arbeitsplatz und das dazugehörige Werkzeug im Zusammenhang dargestellt sind, wiederbelebt werden.

GÖTZ umschrieb in einem Erhaltungskonzept für eine Tuchfabrik diesen Zustand als „gepflegten Gebrauchszustand“. Die aufgetretenen Veränderungen der Fabrikausstattung sollten schonend zurückgeführt werden, und es wurde ein Zustand angestrebt, wie er vor der „Wochenendpause“ geherrscht hat.⁸

Derart ergibt sich für den Betrachter eine Annäherung an den Zustand zur Zeit der letzten Produktionstage und ebenso ein allmählich abnehmender Widerspruch gegenüber der neuen Konstruktion des Hammer- und des rekonstruierten Hochofengebäudes und letztlich gegenüber des Gesamtkonzepts des Museums.

⁸ Götz 1997, 71.

8.3.3 Rekonstruktion und Wiederinbetriebnahme eines Hammers.

Ein Restaurierungsziel, welches oft und gerade bei solchen imposanten technischen Kulturobjekten an die erste Stelle gerückt wird, ist die Rekonstruktion eines funktionsfähigen Zustands. So existieren in Deutschland mehrere Hammerwerke, in denen seit Anfang des 20. Jahrhunderts die Anlagen mit Hilfe des Schaubetriebes dargestellt werden, was für Besucher ohne Zweifel ein nachhaltiges Erlebnis ist.

Die Kehrseite dieser musealen Nutzung wird an dem Verschleiß der originalen Anlage ersichtlich. Alle 25-50 Jahre fällt, bei täglichem Vorführbetrieb, mindestens ein Teil dem Verschleiß zum Opfer und muss ausgewechselt werden. Die Informationen des entfernten Bauteils, ob auf der Oberfläche oder im Inneren, wie Bearbeitungsspuren oder Verbindungstechniken, gehen entweder für immer verloren oder werden ihres Zusammenhangs beraubt.

„Solche Merkmale bilden sozusagen eine Brücke zur Vergangenheit, durch sie erfahren wir intuitiv und intellektuell das Alter.“⁹



Abbildung 26: Frohnauer Hammer (Annaberg-Buchholz), Erneuerung des Wasserrades 2002

Wir sind durch unser Vorstellungsvermögen auch ohne reale Demonstrationen in der Lage, ein derart aufregendes Ereignis auf uns wirken zu lassen. Ori-

⁹ KÜHN 1989, 116.

ginale Filmaufnahmen¹⁰ des Storhammers während des Schmiedens oder die Ausführungen des Dichters ANDREAS MUNCH, nach einem Besuch im Nes Verk 1823, können uns diese Eindrücke wirklichkeitsnah vermitteln:

„Fra Smelte-Ovnen gik min Opdagelsesvandring videre til Stangjerns-Hammeren, hvis vældige Slag Man kunde høre langt borte, med rædselblandet Beundring saa jeg, hvorledes de flittige og modige Smede, med Hænderne ofte kun en Tomme fra Ambolten, stak det glødende Jern ind under det vældige Hammerhoved, vendte og dreiede Jernstangen for hvert Slag, medens Gnisterne sprutede som en Ildregn vidt omkring. Ved Andre Æser gik imidlertid de rappe Spigerhammere i flyvende Fart, og deres iltre, uafladelige Klapern forekom mig som et udfyldende Akkompagnement til den store Hammers drønnende Slag.”¹¹

Übertragen in die deutsche Sprache:

„Vom Schmelzofen ging meine Erkundung weiter zum Stabeisenhammer, dessen Schlag man bis in weite Ferne hören konnte, mit angsterfüllter Beunruhigung sah ich, wie die fleißigen und mutigen Schmiede, mit den Händen oft nur ein Zoll vom Amboss entfernt, das glühende Eisen unter das gewaltige Hammerhaupt legen, die Eisenstangen wenden und drehen bei jedem Schlag, mit sprühenden Funken gleich einem Goldregen in weitem Umkreis. Bei anderen Essen ging inzwischen der schnelle Nagelhammer in fliegender Fahrt und dieses hitzige, unablässige Klappern kam mir vor, wie die ausfüllende musikalische Begleitung zum dröhnenden Schlag des großen Hammers.“

Auch wenn bisher nur der Großhammer untersucht wurde, so gilt auch für die beiden anderen Hämmer, dass eine Wiederinbetriebnahme einen kompletten Austausch aller Holzbauteile zur Folge hätte, um eine sichere Aufnahme der gewaltigen dynamischen Belastung zu garantieren. Heute fehlende detaillierte Kenntnisse der Konstruktion, die über Jahrhunderte aus der Praxis hervorgegangen waren, und heutige Sicherheitsbestimmungen würden zwangsläufig zu Veränderung und Verfälschung führen:

¹⁰ Aufnahmen aus den 1950iger Jahren.

¹¹ MUNCH 1823

„Ein vorführfähiges Gerät kann, abhängig von dem Umfang restauratorischer Eingriffe, den Anspruch, ein historisches Dokument zu sein erfüllen; es kann aber auch nur noch Demonstrationsmodell aus teilweise alten Teilen sein, dem der Charakter einer Geschichtsquelle abgesprochen werden muß.“¹²

Das betrifft nicht nur den Hammer, der wieder in Bewegung gesetzt werden soll. Die entstehenden funktionsbedingten Schwingungen, wie sie in ganz Nes Verk das Geschirr in den Schränken bewegten, würden eine umfangreiche Sicherung der nebenstehenden Anlagen erfordern, welche bereits durch statische Belastung an ihrer Grenze sind. Dazu kommt eine Neuanfertigung der Hammerfundamente, also eine riskante Demontage der gesamten Anlage.

Dennoch bleiben uns durch einen Stillstand der Anlage viele Abläufe verborgen. Kraftwirkungen und Reaktionen, zum Beispiel im Hammergestell aber auch der Arbeitsprozess und die Bedienung des Hammers durch den Menschen, kurz gesagt das „Betriebserlebnis“¹³, beinhalten ein hohes Maß an Anschaulichkeit und direkter Vermittlung. Um dieses ohne Beeinflussung der historischen Anlage erlebbar zu machen, besteht die Möglichkeit eine Kopie eines Hammers in einer bestimmten, den Schwingungen angemessener, Entfernung zur Hammerschmiede zu erstellen.

Sollte trotz allem einer der drei Hämmer wieder zur Funktionsfähigkeit gebracht werden, so ist hierfür der Kniphammer vorzusehen: Er verursacht, als kleinstes Hammerwerk, die geringsten Erschütterungen; es sind weniger zu erneuernde Konstruktionselemente vorhanden (kein hölzernes Hammergestell); er hat einen relativ isolierten Standort und weist den bisher größten Materialverlust auf. Voraussetzung ist die vorherige Sicherung der gesamten Ausstattung gegen die zu erwartenden Erschütterungen.

¹² KÜHN 1989, 119.

¹³ KÜHN 1989, 118.

Tabelle 11: Konzepte Großhammer

MÖGLICHES KONZEPT		TECHNISCHE DURCHFÜHRUNG	VORTEILE	NACHTEILE
1.	ALTERUNG Im Sinne eines kontrollierten Zerfalls, Akzeptieren der überlieferten Eigenschaften und des Verfalls	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontrolle und gegebenenfalls Absperrung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Alterungsprozesse und der Spuren aller Zeitperioden ▪ Kein Eingriff in die originale Substanz und kein Aufwand ▪ hohes Maß an Authentizität 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ fortschreitender Befall und Abbau durch Schadorganismen und Korrosion ▪ Verlust der Stand- und Verkehrssicherheit ▪ kein Zusammenhang mit Gesamtensemble und Gesamtkonzept des Museums ▪ im Laufe der Zeit Verlust der ganzen Hammerkonstruktion
2.	PFLLEGENDER UMGANG Akzeptieren und pflegen der überlieferten Eigenschaften und konservieren des jetzigen Bestands	<ul style="list-style-type: none"> ▪ anpassen der klimatischen Bedingungen ▪ Stützkonstruktionen von nicht tragfähigen Bauteilen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der überlieferten Eigenschaften ▪ jetziges Erscheinungsbild wird nicht verändert ▪ kein Eingriff in die originale Substanz ▪ das hohe Maß an Authentizität bleibt erhalten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erscheinungsbild, der vor langer Zeit verlassenen Arbeitsstätte weicht vom Gesamtkonzept ab ▪ Bild der technischen Konstruktion ist durch Hilfskonstruktionen beeinträchtigt ▪ ständige Kontrolle, da vorläufig weiterer Abbau durch Insekten und Reaktivierung des Pilzbefalls möglich
3.	ERHALTEN MIT EINEM BETRIEBSNAHEN ERSCHEINUNGSBILD Restaurieren des Großhammers und teilweise Erhaltung der überlieferten Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> ▪ anpassen der klimatischen Bedingungen ▪ Stützkonstruktionen und Ergänzungen ▪ Schädlingsbekämpfung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ teilweise Dokumentation der überlieferten Eigenschaften ▪ Wiederbeleben des einstigen Erscheinungsbildes der Anlage in Anlehnung an das Gesamtkonzept 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingriff in die originale Substanz und das überlieferte Erscheinungsbild der Gesamtkonstruktion ▪ der Verfall als Teil der Geschichte wird nicht akzeptiert
4.	REKONSTRUKTION UND WIEDERINBETRIEBNAHME EINES HAMMERS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rekonstruieren eines Hammers ▪ Sichern oder rekonstruieren der anderen Hämmer und der restlichen Einrichtung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Attraktivität durch Bewegung ▪ Veranschaulichung der Arbeitsprozesse durch den Schaubetrieb ▪ Demonstration und Erforschung historischer Arbeitstechniken ▪ entspricht dem Gesamtkonzept ▪ kontinuierliche Betriebsbedingungen als Schutz vor Schadorganismen und somit Einsparung der Klimatisierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ massiver Eingriff in die originale Substanz – Austausch wesentlicher Baugruppen der Anlage ▪ Neuanfertigung der Hammerfundamente ▪ Verlust an Authentizität ▪ durch die Erschütterungen sind die beiden anderen Hämmer und die restliche Einrichtung in ihrem Bestand gefährdet

Tabelle 12: Konzepte Hammergebäude

MÖGLICHES KONZEPT		TECHNISCHE DURCHFÜHRUNG	VORTEILE	NACHTEILE
1.	ALTERUNG Im Sinne eines kontrollierten Zerfalls, Akzeptieren der überlieferten Eigenschaften und des Verfalls	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontrolle und gegebenenfalls Absperrung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Alterungsprozesse und der Spuren aller Zeitperioden ▪ Kein Eingriff in die originale Substanz und kein Aufwand ▪ hohes Maß an Authentizität 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ fortschreitender Befall und Abbau durch Schadorganismen ▪ Verlust der Schutzfunktion gegen Umwelteinflüsse ▪ kein Zusammenhang mit Gesamtensemble und Gesamtkonzept des Museums
2.	PFLEGENDER UMGANG Akzeptieren und pflegen der überlieferten Eigenschaften und konservieren des jetzigen Bestands	<ul style="list-style-type: none"> ▪ anpassen der klimatischen Bedingungen ▪ Stützkonstruktionen von nicht tragfähigen Bauteilen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation des Wandels durch die Rekonstruktion (1969) des Gebäudes ▪ hohes Maß an Authentizität 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingriff in die originale Substanz des Hammergebäudes ▪ Unübersichtlichkeit der Einrichtung und deren Nutzung
3.	ERHALTEN MIT EINEM BE-TRIEBSNAHEN ERSCHEINUNGS-BILD Restaurieren der Einrichtung und teilweise Erhaltung der überlieferten Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> ▪ anpassen der klimatischen Bedingungen ▪ Stützkonstruktionen und Ergänzungen ▪ rekonstruieren der Ordnung der Einrichtung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation des Wandels durch die Rekonstruktion (1969) des Gebäudes ▪ steigern der Anschaulichkeit verschiedener Arbeitsprozesse der Stahlproduktion in Anlehnung an das Gesamtkonzept 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingriff in die originale Substanz und das überlieferte Erscheinungsbild der Gesamtkonstruktion ▪ der Verfall als Teil der Geschichte wird nicht akzeptiert
4.	REKONSTRUKTION UND WIEDERINBETRIEBNAHME EINES HAMMERS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rekonstruieren eines Hammers ▪ Sichern oder rekonstruieren der anderen Hämmer und der restlichen Einrichtung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Attraktivität durch Bewegung ▪ Veranschaulichung der Arbeitsprozesse durch den Schaubetrieb ▪ Demonstration und Erforschung historischer Arbeitstechniken ▪ entspricht dem Gesamtkonzept ▪ kontinuierliche Betriebsbedingungen als Schutz vor Schadorganismen und somit Einsparung der Klimatisierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingriff in die originale Substanz der Wasserführung und der Wasserradeinhausungen ▪ Verlust an Authentizität

8.3.4 Schlussfolgerung

Das Konzept „Erhaltung mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild“ stellt in Anlehnung an das Gesamtkonzept des Museums und aus restauratorischer Sicht einen sinnvollen Kompromiss dar. Dabei ist der Eingriff in die originale Substanz und das überlieferte Erscheinungsbild der Gesamtkonstruktion minimal. Durch die Restaurierung des Storhammers wird eine Möglichkeit geschaffen, das einstige Erscheinungsbild der Anlage wiederzubeleben und dennoch die Merkmale eines authentischen Dokumentes zu bewahren.

Auch mit einer Entscheidung gegen das, aus denkmalpflegerischer Sicht nicht vertretbare, Konzept der „Rekonstruktion und Wiederinbetriebnahme eines Hammers“ besteht die Möglichkeit, eine Kopie eines Hammers in einer entsprechenden Entfernung vom Hammerwerk herzustellen. Die Anfertigung der Kopie eines Aufwerfhammers zu Demonstrationszwecken und für die Nutzung bei Schmiedetreffen, bedingt jedoch die Wahl geringerer Abmessungen, um das Schmieden kleinerer Stücke zu ermöglichen.

8.4 Entwicklung eines Konzeptes zur Klimatisierung der Hammerschmiede des Naes Jernverkmuseums in Südnorwegen

Untersuchungen der Ist-Klimawerte, Dokumentation und aus den Ergebnissen entwickeltes Konzept für die Luftentfeuchtung der Hammerschmiede, durch Studenten¹⁴ des Studiengangs Umwelt- und Verfahrenstechnik der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Die Arbeit wurde als Bestandteil dieses Projekts im Rahmen des Kompetenzzentrums Präventiver Umweltschutz der FHTW-Berlin durchgeführt.

¹⁴ Erarbeitet von: Simone Brandt, Matthias Krüger, Steffen Richter; betreut durch: Prof. Reichert und Dr. Wetzel. Siehe Anhang.

9 Vorschläge und Maßnahmen zur Umsetzung des Konzeptes „Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild“

9.1 Geplantes Vorgehen

Bei den folgenden nur grob aufgeführten Maßnahmen geht der Verfasser davon aus, dass die Umsetzung der konzeptionellen Arbeit von einem ausgebildeten Restaurator betreut wird.

9.1.1 Dachabdichtung

Die undichten Bereiche im Dach der Wasserradeinhausungen sind die Ursache für den hohen Abbaugrad der Welle und umgehend zu beheben. Das Abdichten sollte generell die erste Maßnahme sein, da mit jedem Regenschauer die Welle am hinteren Lager und in der Mitte erneut durchnässt wird. Angebote norwegischer Dachdeckfirmen werden bereits bearbeitet und die Genehmigung der Reparaturarbeiten ist durch die Gemeinde bestätigt worden.

Eine darauffolgende Änderung sollte eine weiträumige Ableitung des Regenwassers sein. Momentan sickert das Wasser der, bis kurz über den Boden geführten, Fallrohre unter die Fundamente und in das Grundwasser des Gebäudes.

9.1.2 Sofortmaßnahmen zur Sicherung

Sicherung/Ergänzung der Drumstütze-Ost

Die Lagerungen der Stützen beider Hämmer sind vollständig abgebaut und müssen erneuert werden. Eine dafür exemplarische Ergänzung des Fußbereichs der Drumstütze-Ost am Storhammer wird ausführlich in Kapitel 9 beschrieben.

Sicherung/Ergänzung an der Radwelle

Die gesamte Radwelle mit Wasserrad und Nockenring hat ein Gewicht von etwa 7 Tonnen und ist nicht mehr in der Lage diese Last selbstständig aufzunehmen. Die Eichenbalken, mit fast 2,5 Tonnen Last des Wasserrades, sind in einem ähnlichen Zustand. Die bereits unter der Welle untergestellten Kant-hölzer haben den Bruch der Welle bisher verhindern können. In Anbetracht des Abbaugrades werden mehr als zwei Stützpunkte erforderlich sein. So kann die Welle einmal durch lang durchlaufende Stahlträger oder durch eine höhere Anzahl Stützstäbe entlastet werden. Beide Stahlträger sollten unter der Welle unauffällig montiert werden und durch Bleche zwischen den Ringen der Welle die Kräfte gleichmäßig verteilt aufnehmen können. Eine nicht sichtbare Lösung besteht aus dem Einlegen von dünnen Kreuzblechträgern zwischen die neun Balken mit der Möglichkeit jeden einzelnen Balken zu tragen. Dieses Vorhaben bedingt eine vollständige Demontage der Welle und wird neben der Zerbrechlichkeit durch die festkorrodierten Schraubverbindungen der Ringe erschwert.

Das Wasserrad muss zusätzlich, um die Eichenbalken zu entlasten, unter den gusseisernen Wangen abgefangen werden.

9.1.3 Bekämpfung der Holz zerstörenden Organismen

Die enorme Ausbreitung vor allem der Braunfäule verursachenden Pilze, Muschelkrempling (*Tapinella panuoides*) und Schuppiger Sägeblättling (*Lentinus lepideus*), kann zwar durch eine Änderung der Wachstumsbedingungen gehemmt, aber auch jederzeit bei Wiederbefeuchtung reaktiviert werden. Die die Substanz der Hammerelemente stark schädigenden Holz zerstörenden Insekten müssen jedoch umgehend abgetötet werden.

Die möglichen bekämpfenden Behandlungsmethoden werden in biologische, physikalische und chemische Holzschutzverfahren unterteilt. In Hinsicht auf gesundheitliche und ökologische Überlegungen, sind physikalische Methoden für Kulturgüter eher geeignet als flüssige Holzschutzmittel oder Bega-

sungsmittel. Zu dieser Kategorie gehören unter anderem Wärme, Kälte und elektromagnetische Strahlung, wie die Mikrowellen.

Heißluftverfahren

Eine sinnvolle Lösung kann, neben einer Begasung, die Behandlung mit Heißluft sein. Das Verfahren kann mobil eingesetzt werden, ist ökologisch und ökonomisch unbedenklich und bedarf nur einer kurzen Behandlungszeit. Etwa einen Tag lang wird die bis auf 100-120°C erwärmte Luft in den Raum geblasen, bis sich eine Raumtemperatur von 80-100°C eingestellt hat und im stärksten Holzstamm 55°C erreicht sind. Diese Kerntemperatur muss 1-3 Stunden gehalten werden.¹

Bei dieser Erwärmung findet eine irreversible Veränderung der Proteine der vorhandenen Insekten statt, so dass sie in allen Entwicklungsstadien abgetötet werden. Bis auf die Pilzsporen können Hyphen, Mycel, Stränge und Fruchtkörper Holz zerstörender Pilze ebenso zerstört werden.² Da die vorgefundenen Pilzarten sehr temperaturresistent sind – die Letaltemperatur des Muschelkremlings liegt bei 70°C³ – steht hier die Reduzierung der Holzfeuchte im Vordergrund der Behandlung, um ein weiteres Wachstum zu vermeiden.

Ein wichtiges Kriterium und zugleich Bedingung für eine Wärmebehandlung ist die kontrollierte Zufuhr von Feuchtigkeit. Ohne dem wird das Holz trocknen und es kommt zu Spannungen und Rissbildung. Andererseits können durch eine Kontrolle die zu hohen Holzfeuchtwerte gesenkt werden. Bei dieser Behandlungsmethode⁴ wird über Sensoren permanent die Luftfeuchtigkeit kontrolliert und computergesteuert angeglichen.

¹ Die Heißluftbehandlung wird bevorzugt in skandinavischen Länder zur Bekämpfung des Echten Hauschwamms in Gebäuden durchgeführt. In Deutschland ist es nach der DIN 68800-4 für die Bekämpfung des Hausbocks, aber nicht für die Bekämpfung holzerstörender Pilze zugelassen.

² UNGER et al. 2001, 327.

„Seit 1999 kooperiert das Westfälische Freilichtmuseum Detmold mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg bei der Erforschung und Umsetzung dieser Methode.“, 2001 wurde das Haus Moven des WFM mit dem Verfahren behandelt. (Tagungsprogramm: Holzschädlinge in historischen Gebäuden-Neue Ansätze in der Bekämpfung, Juni 2002)

³ SCHMIDT 1994, 48.

⁴ Auch „THERMO-LIGNUM-“ oder „KLAV-EX-PROZEB“ genannt.

Mikrowellen

Für eine Wärmebehandlung sind auch andere Verfahrenstechniken, wie elektrische Heizelemente oder die Mikrowellentechnik, denkbar. Bei dem Einsatz von Mikrowellen werden über spezielle Flachantennen, der MTB GmbH, die Mikrowellen parallel in das Holz geleitet. Die Wassermoleküle in den Zellwänden reagieren aufgrund ihres Dipolcharakters und erwärmen sich durch Molekülreibung. Neben einer Anregung der Wasserdampfdiffusion werden infolge der Erwärmung die Holz zerstörenden Organismen abgetötet. Die Aufzeichnung mit einer Infrarotkamera und die Verwendung von kleinsten Messfühlern erlaubt eine schonende, durch einen Rechner unterstützte Behandlung. Die bisher erreichte Wirkungstiefe von etwa 12 cm bei einseitiger Bestrahlung erfordert, für den Einsatz an der Radwelle eines Hammers, die Demontage der einzelnen Balken.⁵

Durch eine Wärmebehandlung wird kein vorbeugender Schutz gegen einen Neubefall erzielt. Behandelte Objekte zeigten aber bisher keinen Neubefall. Um Brennstoff zu sparen, sollte eine Behandlung in den Sommermonaten stattfinden.

Stickstoffbegasung

Eine Möglichkeit, die Hammerkonstruktion zu trocknen und einen Befall durch Anobien zu bekämpfen, bietet das Ultra Low Oxygen (ULO) Verfahren, das in der Lebensmittelindustrie für optimale Lagerungsbedingungen von Nahrungsmitteln und zur Entwesung von Vorratsschädlingen praktiziert wird. Hierbei wird über einen Stickstoffgenerator reiner Stickstoff aus unserer Atmosphäre gewonnen in dem der Sauerstoff der Außenluft an einem Kohlenstoff-Molsieb im Erzeuger adsorbiert wird⁶. Das so entwickelte Stickstoffgas wird darauf in den zu begasenden Raum geleitet. Auf diese relativ einfache Weise wird in der Regel eine Stickstoffkonzentration von 99,5 % erreicht. Für die

⁵ Frdl. mündl. Mtlg. von Herrn Steinbach, MTB GmbH. Siehe Kostenschätzung.

⁶ Es kann auch reiner Stickstoff aus Gasdruckbehältern verwendet werden, was bei großen Mengen unwirtschaftlich ist.

Bekämpfung der im Holz lebenden Anobien ist bei einem Restsauerstoffgehalt von 0,03 % bei 20 °C eine Behandlungszeit von 7-20 Tagen erforderlich⁷. Durch den kontrollierten Feuchtigkeitsgehalt des einströmenden Stickstoffs, ist eine schonende Trocknung durchführbar. Größere Objekte werden in gasdichten Folien eingeschweißt.⁸

Eingegliedert in das Gesamtkonzept, sollte eine Schädlingsbekämpfung nach den Sofortmaßnahmen und vor der Restaurierung des Großhammers durchgeführt werden. Neben der Behandlung des Großhammers bietet sich parallel dazu die Behandlung der anderen beiden Hämmer an, da ihr Zustand in einer ähnlichen Weise betroffen ist. Die möglichen Bekämpfungsmaßnahmen sind in der Tabelle zusammengefasst.

9.1.4 Änderung des Raumklimas

Wie bereits erwähnt, ist die hohe Feuchtigkeit im Gebäude von mehreren Faktoren abhängig. Für eine Senkung der relativen Luftfeuchtigkeit muss die Raumluft durch Belüftung ausgetauscht, mit entsprechender Technik entfeuchtet oder erwärmt werden. Eine genaue Bestimmung einer dieser Varianten und deren Dimension erfordert die Erfassung der relativen Luftfeuchtigkeit, der Temperatur, der Luftströmung und des Wasserstandes im Boden. Drei Studenten des Studiengangs Umweltverfahrenstechnik der FHTW-Berlin wurden im Rahmen dieses Projekts mit der Erfassung der oben genannten Klimadaten betraut. Die Messwerte einer zweiwöchigen Untersuchung werden nach abgeschlossener Auswertung in einem Konzept für die Klimatisierung der Hammerschmiede zusammengefasst.

Um die Messdaten aller Jahreszeiten aufnehmen zu können, muss eine einjährige Kontrolle im gesamten Gebäude und außerhalb mit entsprechenden Messfühlern vorgenommen werden. Dementsprechend wurden im November

⁷ UNGER et al. 2001, 290.

⁸ Frdl. mündl. Mtlg. von Herrn Weilert, Firma ISOLCELL.
Vgl. auch REICHMUTH et al. 1991, 246-251.

Vorschläge und Maßnahmen zur Umsetzung des Konzeptes
„Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild“

2002 neun Mini Datenlogger der Firma TESTO durch die Studenten der Umweltverfahrenstechnik im Gebäude installiert. Anhand dieser Werte wird exakt bestimmt mit welchem technischen Einsatz, an welcher Position im Gebäude und zu welcher Zeit wieviel Luft ausgetauscht, entfeuchtet oder erwärmt werden muss. Die Kontrolle des Wasserstandes erfolgt durch in den Boden eingelassene Rohre.

Ist eine Installation klimatechnischer Anlagen notwendig, sollte dies ohne Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes erfolgen. Eine Geräuschbelästigung ist vor dem Hintergrund der rauschenden „Storelva“ bedeutungslos.

Die Maßnahmen für das Gebäude sind in der Tabelle zusammengefasst.

Vorschläge und Maßnahmen zur Umsetzung des Konzeptes
 „Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild“

Tabelle 13: Maßnahmen zur Umsetzung am Hammergebäude

TEILBE- REICHE	IN BETRACHT KOMMENDE MÖGLICHKEITEN	VORTEILE	NACHTEILE
1. KLIMA	a) Abdichten der Dachleckagen, Ändern der Regenwasserführung und Beräumen der Abflussgräben	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beseitigt Hauptursache der Zerstörung der Hämmer ▪ Trockenlegung unter den Wasserrädern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Änderung der gesamten Regenwasserleitung
	b) Isolierung der Steinwand gegen Schichtwasser	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beseitigt Hauptursache der Zerstörung des Glühofens 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ problematisch durch Felsgestein
	c) gesteuerte Klimatisierung durch Entfeuchtung und eventuell Heizung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gezielte Kontrolle und Regelung von Feuchtigkeit (vorrangig) und Temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Kosten in Anschaffung und Unterhalt ▪ Geräte und Kanäle stören das Bild
	d) Sperrschicht im Boden (ev. Ton, Lehm, Kies)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ natürliche Lösung ▪ keine Auswirkung auf das Erscheinungsbild 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nur sinnvoll, wenn komplett dicht ▪ problematisch bei Fundamenten und Eisenleitungen
	e) Drainage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ableitung von zusätzlichem Wasser (Frühjahr, Niederschlag) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hoher Aufwand bei geringem Nutzen
	f) Isolierung des gesamten Gebäudes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mit der Zeit ökonomisch 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlust der Originalität und Atmosphäre (neues Gebäude) ▪ finanziell und denkmalpflegerisch nicht vertretbar
2. HOLZ	Vergleiche Tab. 2 Punkt 2.		
3. METALL	a) Rekonstruieren der Ordnung nach Arbeitsprozess und historischen Vorlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ besseres Verständnis zusammenhängender Arbeitsabläufe ▪ bessere Lagerung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ teilweise hypothetisch ▪ Entfernung von Überlieferungsspuren
	b) Vergleiche Tab. 2 Punkt 3.		

9.2 Weitere Vorschläge zur Umsetzung des Restaurierungskonzeptes am Storhammer

Die Restaurierung des Großhammers gemäß dem Konzept „Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild“ beinhaltet in erster Linie die Sicherung und Schädlingsbekämpfung mit gleichzeitiger Verringerung der Holzfeuchte. Erst im Anschluss sollten Reinigungen und kleinere Ergänzungen durchgeführt werden.

Ergänzungen

Der Materialverlust der einzelnen Hammer Elemente, als Folge des Befalls durch Holz zerstörende Insekten und Pilze, Korrosion oder durch Beschädigung, ist in ähnlicher Weise als Steckverbindung, wie an der Drumstütze-Ost, zu ergänzen. Auch hier gilt: Die Ergänzung paßt sich der Fehlstelle des Originals an. Das betrifft insbesondere die Bereiche an den Lagern und den unteren Balken der Südseite der Welle. Im Gegensatz zur Drumstütze müssen die Ergänzungen mit einem geeigneten reversiblen Klebstoff fixiert werden. Gegebenenfalls sind stark abgebaute Bereiche lokal mit entsprechenden Festigungsmitteln⁹ zu konsolidieren.

Reinigung der Oberflächen

Alle Gegenstände in der Hammerschmiede wurden im Lauf der kontinuierlichen Durchlüftung mit Staub, Laub und auch mit den Ausscheidungen der im Gebäude nistenden Schwalben stark verunreinigt. Da Holz als poröses Material Flüssigkeiten und feine Partikel in seine Oberfläche aufnimmt, sind hier eher trockene abrasive Reinigung, kombiniert mit einem Absauggerät empfohlen. Eine weitere Reinigungsmöglichkeit bietet das Vakuumwaschverfahren, welches im Jahr 2002 in einem DBU-Projekt von Dr. ACHIM UNGER vorgestellt wurde.¹⁰

⁹ UNGER et al. 2001, 363 ff.

¹⁰ UNGER et al. 2002, 339.

Die auf den neueren Teil des Drumquerbalkens zur farblichen Angleichung aufgetragene schwarze Holzschutzlasur soll so weit wieder abgenommen werden, dass sich die Oberfläche der jetzigen historischen Konstruktion unterordnet.

Die Oberflächen der stahl- und gusseisernen Hammerteile sind mit einer unruhigen, hellbraunen Schicht aus Korrosion und Verunreinigungen zugesetzt, die von abgesprengten, dunkelbraunen Vertiefungen durchbrochen wird. Ist dieser Zustand, bei entsprechender Klimatisierung, nicht zwingend Auslöser weiterer Korrosion, so ist er doch für unsere Wahrnehmung irritierend und im Widerspruch zu dem angestrebten Gesamteindruck. Es stehen also eher ästhetische Aspekte im Vordergrund, die eine behutsame Abnahme der Auflagerungen für wünschenswert erscheinen lassen.

Die Schicht aus Verunreinigung und Korrosionsprodukten ist schonend abzutragen. Die Oberfläche ist nicht derart zu bearbeiten, so dass die letzte festhaftende Korrosionsschicht durchbrochen wird und ein metallischer Glanz entsteht. Gut geeignet ist das Strahlverfahren mit einem weichen Granulat, beispielsweise aus Walnussschalen, wie es von KIESENBERG empfohlen wird¹¹. Diese Wahl macht jedoch entweder eine Einhausung der zu bearbeitenden Objekte oder deren Ausbau erforderlich.

¹¹ KIESENBERG 1997, 7.

Vorschläge und Maßnahmen zur Umsetzung des Konzeptes
„Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild“

Tabelle 14: Maßnahmen zur Umsetzung am Großhammer

TEILBE- REICHE	IN BETRACHT KOMMENDE MÖGLICHKEI- TEN	VORTEILE	NACHTEILE
1. Klima	a) Abdichten der Dachleckagen und Beräumen der Abflussgräben	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beseitigt Hauptursache der Zerstörung der Hämmer ▪ Trockenlegung unter den Wasserrädern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine nennenswerten
	b) Vermeidung von Erdkontakt der Stützen (Belüftung, Isolieren)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schutz gegen Fäulnis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ irritiert, da nicht original, auch möglich durch Holzschutz
2. HOLZ	a) Stabilisieren der Konstruktion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entlastung der geschwächten Konstruktion durch Aufnahme der bestehenden statischen Lasten mittels Hilfskonstruktionen ▪ reversibel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sichtbare Stützkonstruktionen verfälschen das technische Erscheinungsbild
	b) Bekämpfen der Holz zerstörenden Insekten und Pilze, eventuell Holzschutz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ende der wichtigsten Zerstörungsmechanismen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ physikalische oder chemische Materialbelastung
	c) Ergänzen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ höhere Stabilität und Ästhetik 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kann irritieren ▪ teilweise hypothetisch
3. Metall	a) Entrosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiederbelebung einstiger Ästhetik und damit Verkürzung der Distanz zur neueren Gebäudekonstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hoher Aufwand ▪ Verlust an Originalität
	b) Ergänzen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ höhere Stabilität und Ästhetik 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kann irritieren ▪ teilweise hypothetisch

Vorschläge und Maßnahmen zur Umsetzung des Konzeptes „Erhalten mit einem betriebsnahen Erscheinungsbild“

Tabelle 15: Bekämpfung der Schadorganismen nach: UNGER et al. 2001, 275-348.

GRUPPE		MITTEL UND	LETALWIRKUNG AUF		NEBENWIRKUNG UND NACHTEILE			ANWENDUNG
		VERFAHREN	PILZE	INSEKTEN	HOLZ	EISEN	UMWELT	
CHEMISCHE MAßNAHMEN	1. Behandlung mit reaktiven Gasen	a) Cyanwasserstoff (Blausäure)	ja, aber bei hoher Dosis	komplett	langsame Desorption, Blausäure kann mit Holzbestandteilen reagieren		hochgiftig	für Gebäude, 3 Tage bei min. 5°C
		b) Phosphorwasserstoff (Phosphin)	ja, aber bei hoher Dosis	komplett		sehr korrosiv	hochgiftig	für Gebäude, 5-10 Tage bei 15°C
		c) Sulfurylfluorid (Vikane)	ja, aber zu wenig erforscht	ja, Eier möglich		korrosiv	hochgiftig	für Gebäude, 3-6 Tage bei 6-20°C
		d) Brommethan (Methylbromid)	ja, Sporen bei hoher Dosis	komplett	Tropfen hinterlassen dunkle Flecken	korrosiv	hochgiftig, beeinträchtigt Ozonschicht	für Gebäude, 1-3 Tage ab > 4°C
		e) Ethylenoxid (Oxiran)	ja, außerdem Bakterizid	komplett	Quervernetzung der Celluloseketten		hochgiftig, explosiv	nur in geschlossenen Systemen, kurze Anwendung
	2. Behandlung mit inerten Gasen	a) Kohlendioxid (Carbon Dioxide)	hemmt Wachstum	ja, Eier möglich			Treibhaus-effekt	für Gebäude, 4-5 Wochen
		b) Stickstoff (Nitrogen)	hemmt Wachstum,	ja, Eier möglich				für Gebäude ungeeignet, in Folie 4-6 Wochen bei 20°C u. Konzentration min. 99%
	PHYSIKALISCHE MAßNAHMEN	1. Behandlung durch Temperaturwechsel	a) Heißluft	ja, Sporen ab 80°C	komplett	ohne Anpassung der Feuchtigkeit Spannungen und Risse	Spannungen durch Ausdehnung	nur Brennerabgase
b) Kälte			hemmt Wachstum	Komplett, wenn zügig	Schädigung, wenn zu feucht			für Gebäude ungeeignet, -20°C 3-7 Tage
2. Behandlung durch elektromagnetische Wellen		a) Mikro- und Hochfrequenzwellen	ja, aber Antenne u. Technologie entscheidend	ja, aber Antenne u. Technologie entscheidend	Schädigung, wenn Leistung zu hoch oder Metallkontakt	schnelle Energieaufnahme	Streustrahlung	nur kleine Bereiche, aber wenige Minuten
		b) Gammastrahlung	komplett, auch Bakterien	komplett	Dosisabhängig werden chem. Bindungen gespalten			nur stationär, bei 2-18 kGy in wenigen Tagen

9.3 Aufwendungen

9.3.1 Dachabdichtung

Angebot der Firma MORKAS TAKTEKKING:

Ausbesserung der Unterlage und Deckung mit Bitumenbahn (Isola mestertekk)	NOK	
		11.200,00
Isolierung von 27 Pfosten der Wasserrinne mit Blech		12.690,00
Montage Dachtraufenbeschlag		500,00
Gesamt		24.390,00
Gesamt inkl. 24 % MwSt		30.243,60 4.118,14 €

9.3.2 Sicherungs-/Ergänzungsarbeiten

9.3.2.1 Ergänzung Drumstütze-Ost

Transport		594 km	130,68 €
Holz	NOK	1.500,00	204,00 €
Scannen und Fräsen	NOK	0.880,00	2.847,01 €
Imprägnieren	NOK	400,00	55,00 €
Benzin für Kettensäge	NOK	85,00	11,59 €
Gips für Abformung	NOK	453,00	61,77 €
Transport Gipsabguss (Post)	NOK	329,00	44,86 €
Transport ExpressBahn	NOK	6.793,96	926,36 €
Bitumenschweißbahn			16,10 €
Edelstahl-Schrauben			24,04 €
Werkstattkosten Gjendem (Stangen)	NOK	620,00	84,53 €
Erde zum Auffüllen d. Gruben	NOK	100,00	13,63 €
Gesamt			4.419,57 €

9.3.2.2 Radwelle

Unverbindlicher Preisüberschlag für die vier Trägervarianten (Skizzen siehe Anhang) zur Unterstützung der Radwelle, von:

ERIK GJENDEM, Schmiede und Metallwerkstatt in Arendal,
Furutoppen 12
4800 Arendal/Norwegen

1. Geschweißter Baustahlträger, Flacheisensteg mit aufgesetztem Blech zur flächigen Lastaufnahme und zusätzlich 3 vertikale Stützen (Anhang, Abbildung 27):
NKR 34.700,-
2. 4 Kreuzblechträger aus geschweißten Edelstahlblechen, liegen im innern der Welle zwischen den 9 Balken, somit verdeckt ohne Stützen, Demontage der Welle notwendig (Anhang, Abbildung 28):
NKR 47.100,-
3. geschweißter Baustahlträger, ohne Stützen (Anhang Abbildung 29):
NKR 39.700,-
4. Baustahlträger aus Kastenprofil, mit aufgesetztem Blech wie 1., zusätzlich 3 vertikale Stützen (Anhang, Abbildung 30):
NKR 36.000,-

Alle Preise ohne Montage und Oberflächenschutz. Mehrwertsteuer inklusive.

9.3.3 Schädlingsbekämpfung

9.3.3.1 Heißluft

Unverbindliche Kostenschätzung zum Heißluftverfahren mit kontrollierter Luftfeuchtigkeit für das gesamte Gebäude, von:

THERMO LIGNUM/ Hr. W. v. Rotberg
Landhausstraße 17
69115 Heidelberg

Unbesehen 30 – 50T€ incl. Anfahrten aus Heidelberg.

Eine Gesamtbearbeitungszeit von drei Wochen ist vorsehen. Die beinhaltet:

- Anfahrt Heidelberg – Baustelle einrichten der Baustelle mit eigenem Wohnwagen als Leitstelle und LKW
- Anbringen von Boden- und Außenisolierungen über das gesamte Gebäude
- Stellen von 6 Stck. Heißluftmaschinen a 140kw und 1 Stck. 2t-Propangastank
- Stellen eines Luftverteilungssystems im Gebäude
- Stellen eines Hochdruckbefeuchtungssystems im Gebäude
- Setzen von 50 Kerntemperaturfühlern und Zusammenführen auf eine Datenerfassungssystem
- Langsames und kontrolliertes beheizen des Gebäudes bis alle Fühler 55°C anzeigen bei maximaler Einblastemperatur von 95°C gemessen an den Maschinen
- Temperatur halten über 6 Std.
- Langsames absenken der Temperaturen
- Abbau der Baustelle und Rückfahrt

Um eine verbindliche Planung und Kalkulation durchführen zu können, ist eine Vor-Ortbesichtigung unumgänglich. Diese müsste von uns allerdings getrennt in Rechnung gestellt werden.

Eine Behandlung der einzelnen Hämmer ist jedoch vorzuziehen.¹

¹ Angabe des Verfassers.

9.3.3.2 Mikrowelle

Unverbindliche Kostenschätzung für die Trocknung und Schädlingsbekämpfung der Radwelle im demontiertem Zustand (9 Balken), von:

MIKROWELLENTHECHNIK UND BAUTROCKNUNG GmbH

Hr. Steinbach

Am Kanal

15749 Mittenwalde

- Einsatz der Mikrowellentechnik an 72 lfd. m Kiefernbalcken(26X26cm),
- Einsatzdauer: 10 Werkstage,
- Objektpreis: **10.000 € netto** (beinhaltet u.a. Reise- und Behandlungszeiten, Kosten für Mikrowellen-, Sicherheits- und Überwachungstechnik, Erstellung Dokumentation),
- Kosten für An- und Abreise sowie Übernachtung mit Frühstück übernimmt der Auftraggeber.

9.3.3.3 Stickstoffbegasung

Geschätzter Aufwand an Geräten und Behandlungszeit, von:

H. WEILERT, Vertretung ISOLCELL Deutschland

- Die zur Frage stehenden Objekte müssen von einer von uns gestellten sauerstoffdichten Hülle eingeschlossen werden.
- In jedem Fall würde ein von unserer Firma für solche Zwecke gefertigtes Zelt zur Anwendung kommen.

Des weiteren kommen die folgenden technischen Einrichtungen zum Einsatz:

- 1) ADOX AD 50 (O₂ auf 0.5%)
- 2) Heizungsanlage
- 3) Luftbefeuchtungsanlage
- 4) Luftentfeuchtungsanlage
- 5) Luftzirkulationsanlage
- 6) Analysegerät für:
 - a) O₂ Wert
 - b) Temperatur

c) Relative Luftfeuchtigkeit

7) Steuerungsanlage für:
O₂, RH und Temp.

Des Weiteren müssen ± 10 Sonden installiert werden, die die RH-Werte im Holz während der Behandlung überwachen. Diese müssen von einer unabhängigen Messeinrichtung gelesen werden. Das automatische Hauptsteuergerät wird auf Grund dieser Ergebnisse programmiert um somit mögliche Schäden, die durch zu schnelles Trocknen entstehen würden, zu vermeiden.

Ich rechne nach den von Ihnen angegebenen Feuchtigkeitswerten mit einer erfolgreichen Behandlungsdauer von ± 2 Monaten.

9.3.4 Klimatisierung

9.3.4.1 Luftentfeuchtung

Kostenkalkulation aus: „Entwicklung eines Konzeptes zur Klimatisierung der Hammerschmiede des Naes Jernverkmuseums in Südnorwegen“²

„Als grobe Abschätzung sollen hier die Gerätepreise genannt werden:

Preis Sorptionsentfeuchter ML 690:	8335,- Euro (als Alternativgerät)
Preis Sorptionsentfeuchter MLT 1400:	8665,- Euro
Preis Hygrostat (Typ2):	77,- Euro

Dies sind nur die Preise für den Deutschen Markt. Da die Firma Munters auch Niederlassungen in Schweden hat, würde bei eventueller Auftragserteilung der Auftrag über Schweden ausgeführt werden. Die Preise dort sind ebenfalls nicht bekannt.“

² Klimakonzept des Studiengangs Umwelt- und Verfahrenstechnik der FHTW-Berlin, siehe Anhang.

10 Die Ergänzung der Drumstütze-Ost

10.1 Ausgangspunkt

Die zur Gründung ursprünglich im Erdboden der Hammerschmiede eingesetzte Drumstütze ist heute im unterirdischen Fußbereich vollständig abgebaut (Abbildung 27). Durch die fortschreitende Destruktion und die zu tragende Last, setzt sich der Stamm stetig und weist keine Stützfunktion mehr auf. Eine Ergänzung des Drumstützenfußes ergibt sich aus der Notwendigkeit, eine Gefährdung der Standsicherheit zu vermeiden und damit die Sicherheit der Besucher, aber auch der Anlage selbst zu erhalten. Diese Maßnahme basiert auf den diagnostischen Untersuchungen und ist nicht darauf ausgerichtet, die ursprüngliche Betriebsfähigkeit der Bauteile herauszuarbeiten.



Abbildung 27: Abgebauter Fussbereich der Drumstütze-Ost

Da ein ähnlicher Zustand auch an weiteren Bauteilen des Storhammers und der anderen Hämmer vorliegt, soll am „Fuß“ der Drumstütze-Ost eine beispielhafte Ergänzung durchgeführt werden.

10.2 Ergänzungsmethoden

Die Auswahl einer Ergänzungsmethode ist eng mit der zukünftigen Funktion, dem Erscheinungsbild, dem Material und den Umgebungsbedingungen des Bauteils verbunden. So muss im Fall der Drumstütze-Ost eine bestimmte statisch wirkende Kraft, hauptsächlich vertikal aufgenommen werden. Das Erscheinungsbild der Anlage sollte keine Veränderung erfahren und die physikalischen Eigenschaften der Fichte sowie der Kontakt des Ergänzungsmaterials mit dem feuchten, organischen Erdboden müssen berücksichtigt werden. Ein wesentlicher Gesichtspunkt für eine Ergänzung ist ihre Eingliederung in den historischen Bestand. Neben Alterungs- und Gebrauchsspuren kann der frühere Umgang mit beschädigten Bauelementen eine Vorgabe darstellen.

In der denkmalpflegerischen Praxis wird bei Reparaturmaßnahmen in reine und adaptive Reparatur unterschieden. Bei einer adaptiven Reparatur werden zusätzliche Hilfsglieder und Ergänzungen dem Original hinzugefügt, die die beschädigte Substanz überbrücken, somit entlasten und erhalten. Bei einer reinen Reparatur wird in handwerklicher Technik, unter erhöhtem Materialverlust, die Ergänzung in die Originalsubstanz eingearbeitet. Nach der Beseitigung der Schadstelle erfolgt ein weiterer Materialverlust durch den Zuschnitt nach der Art der jeweiligen Verbindungstechnik, um die entsprechende Kraftübertragung zu gewährleisten. Als Reparaturmaterial wird ein überwiegend artgleiches Altholz verwendet.¹

Ausgehend von den vorherrschenden Bedingungen muss die Fußergänzung in erster Linie eine vertikale Druckbelastung aufnehmen. Die dynamischen Belastungen sind im Stillstand nicht mehr vorhanden. Die für eine Drucklast in der Denkmalpflege verwendeten Verbindungstechniken sind: Verbindungen aus dem Zimmermannshandwerk (z.B. Stoß, Blatt), Verbindungen mit mechanischem Verbund (z.B. Stützenfuß, BVD-Sanierungsanker, La-

¹ GÖRLACHER et al. 1999, 126.

schen) und Verbindungen mit Haftverbund (z.B. Beta-Verfahren, Merk-Lamellen-Verfahren).²

Das restauratorische Ziel einer Ergänzung ist neben der Stabilisierung die unbedingte Erhaltung der Originalsubstanz und die Wiederherstellung eines ästhetisch geschlossenen Erscheinungsbildes. Da auf den Drumstützenfuß nur eine geringe Drucklast wirkt, steht für die Art der Ergänzung eher die Verbindungstechnik zwischen alt und neu und die damit verbundene Substanzerhaltung und das Erscheinungsbild im Vordergrund.

Die möglichen Ergänzungsmethoden können für die Drumstütze zusammenfassend wie folgt unterschieden werden:

1. Handwerkliche Techniken,
2. Der Nahtstelle des Originals angepasste Ergänzung,
3. Stützenfußkonstruktion.

10.2.1 Handwerkliche Techniken

Die Ergänzung in traditioneller Handwerkstechnik erfolgt durch ein *Zuschneiden* des Originals und der dazu passgenauen Ergänzung, so dass mit entsprechenden Verbindungsmitteln eine kraftschlüssige Verbindung hergestellt werden kann. Mit dem Zuschnitt, wie beispielsweise die Querschnittsreduzierung bei einer Blattverbindung, entsteht ein hoher Verlust an Originalsubstanz.

Über die Reparatur von historischen Holztragwerken schreiben GÖRLACHER et al.: „Dafür wird eine größere funktionale, formale, materielle und bautechnische Homogenität mit dem historischen Bestand erreicht.“³

Als Ergänzungsmaterial wird Holz gleicher oder ähnlicher Art verwendet, wodurch nur geringe Spannungen zwischen Original und Ergänzung entstehen. Vorteilhaft sind Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Verbindungstechnik.

² GÖRLACHER et al. 1999, 137ff; vgl. auch GERNER 1998 und ERLER 1997.

³ GÖRLACHER et al. 1999, 126.

Es ist dennoch eine offensichtliche Reparaturstelle, die im Bezug auf die Hammerschmiede nicht dem einstigen produktiven Umgang, dem Austausch des ganzen Bauteils, entspricht.

10.2.2 Formschlüssige Anpassung

Dem historischen Wert angemessen, sollte ein unnötiger Verlust der Originalsubstanz vermieden werden: Nicht die Ergänzung und die Verbindungstechnik bestimmen die Nahtstelle. Sie passen sich den vorhandenen originalen Formen der Fehlstelle an und erreichen eine erforderliche, statische Mindestfestigkeit. Es entsteht eine Steckverbindung, die durch Reibungskräfte einer passgenauen, formschlüssigen Verzahnung mit dem Oberflächenrelief der Nahtstelle erreicht wird.

Zwei mögliche Verfahren für eine Ergänzung aus Holz sind das Kopieren eines abgeformten Negativmodells der Fehlstelle mit Hilfe eines Punktiergerätes⁴ aus der Bildhauerei sowie die Stäbchenergänzung⁵. Bei letztgenanntem Verfahren werden Leisten mit kleinen, definierten Querschnitten an die Oberfläche der Fehlstelle angepasst und untereinander verleimt.

Eine weitere Möglichkeit einer formschlüssigen Steckverbindung bietet das Ergänzen mit Gussmassen. Mit den überwiegend als Bindemittel-Füllstoff-System verwendeten Guss- oder Abformmassen wird die Ergänzung entweder direkt an der Nahtstelle abgeformt oder als Kopie eines Negativabgusses hergestellt.⁶ Wird bei kleineren musealen Objekten ein Trennmittel verwendet, um eine Verbindung mit dem Original zu vermeiden, so wird der gute Haftverbund zwischen Holz und Kunststoffen bei der Wiederherstellung der Tragfähigkeit einer Holzkonstruktion, als Klebeverbindung genutzt. Ein Beispiel dafür ist das seit 1982 bauaufsichtlich zugelassene Beta-Verfahren⁷.

⁴ BOHNHAGEN 1914, 45ff und 109ff.

⁵ Vgl. auch ERHARDT 1995, 16ff; NICOLAUS 1998, 71f; KÖHLER 1999, 34ff und FRÖHLICH 1984, 82ff (Brettchenergänzung).

⁶ Vgl. auch KÖHLER 1999, 42ff.

⁷ Nachdem die zerstörten Holzteile entfernt worden sind, wird in eine angebrachte Schalung Polymerbeton (Kunsthartz-Füllstoff) gegossen. Zug- und Biegespannungen werden durch eingeklebte Armierungsstäbe übernommen. Neben der Holz-Kunststoff-Verbindung sind auch Holz-Holz-Verbindungen mit Polymerbeton-Fuge möglich.(ERLER 1997, 106ff)

Das präzise Kopieren der Nahtstelle ist auch unter Verwendung einer dreidimensionalen Scantechnik in Kombination mit einer CNC-Fräsmaschine⁸ möglich. Diese Art des Kopierfräsens wird in einfacher Form seit längerem in der Serienherstellung von unterschiedlichsten Schnitzerzeugnissen praktiziert. Die Fehlstelle des Originals wird mit Hilfe eines 3D-Scanners aufgenommen und als negative Kopie in das neue Holz gefräst, so dass eine kraftübertragende Formschlüssigkeit entsteht. Diese Verfahrenstechnik für eine aufsteckbare Ergänzung wurde ausführlich für eine Sockelergänzung einer Pieta in der Diplomarbeit von KÖHLER, beschrieben.⁹

Für eine dreidimensionale berührungslose Vermessung stehen derzeit unterschiedliche Methoden und Geräte zu Verfügung: Geräte mit mechanischer Abtastung, Laserscanner und optische Scanner.¹⁰ Da das Vermessen mit einem Laserscanner über große Entfernungen erfolgen kann, wird es momentan in der Denkmalpflege und auf archäologischen Grabungen zur Dokumentation verwendet. In der Restaurierung gibt es bisher kaum eine Verwendung, da die detailgenaue Wiedergabe feiner Oberflächenstrukturen noch unzureichend ist. Der hohe technische Aufwand der Scan/Fräs-Methode lässt sich nur durch eine Übertragung der Durchführung an eine Werkstatt mit entsprechenden Möglichkeiten relativieren.

10.2.3 Stützenfußkonstruktion

Eine reine ingenieurtechnische Stützfunktion, wie sie beispielsweise durch einen Stützenfuß-Anschluss übernommen wird, erfüllt rein funktional die Lastübertragung in Fundamente oder Erdreich. Hierzu zählen vor allem die Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln und die oben genannten adaptiven Reparaturen. Von den Seiten und von unten werden Stahlprofile angeschraubt, gegengespannt oder eingesetzt, so dass der Fuß der Holzstütze

⁸ CNC = computerized numerical control.

⁹ KÖHLER 1999, .

¹⁰ KOCHER et al. 1999, 136.

möglichst allseitig belüftet ist. Die Profile sind in der Regel in einem Betonfundament verankert. Auf diese Weise ist es möglich auch ohne größere Veränderung der Fehlstelle, die Stützfunktion wieder herzustellen (Abbildung 28 und Abbildung 29).

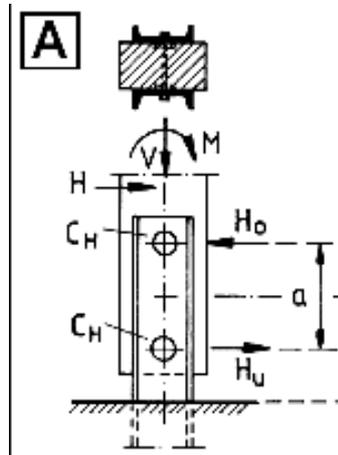


Abbildung 28: Stützenfuß-Anschluss mit U-Profilen

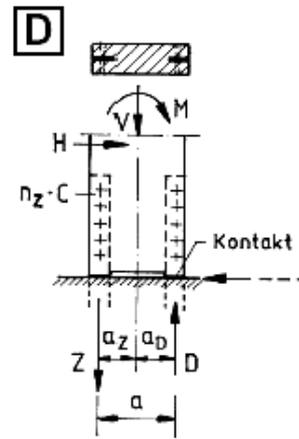


Abbildung 29: Stützenfuß-Anschluss mit Flacheisen

Es ist eine sehr effektive und wirtschaftliche Methode. Es treten aufgrund kleiner Dimensionen und Berührungsflächen kaum Spannungen zwischen Holz und Stahl auf. Das Objekt kann jedoch durch diese Ergänzungsmethode in seinem Erscheinungsbild erheblich beeinflusst werden.

Tabelle 16: Ergänzung am Beispiel des Drumstütze-Ost

METHODE	MATERIAL	BEDINGUNGEN	VORTEILE	NACHTEILE
1. HANDWERKLICHE TECHNIKEN	Holz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufnahme der Last ▪ da im Erdboden: <ul style="list-style-type: none"> a) chemischer Holzschutz nach Gefährdungsklasse 4 nach Vorgabe des „Statens forurensningstilsyn“ oder DIN 68800-3 u. DIN EN 350-2 b) baulicher Holzschutz durch Belüftung nach DIN 68800-2 und durch Holzartwahl nach DIN EN 460 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wirtschaftlich und effektiv ▪ geringe Spannungen zwischen Original und Ergänzung je nach Holzart 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ durch Zuschnitt hoher Verlust an Originalsubstanz ▪ offensichtliche Reparaturstelle, die nicht dem einstigen Umgang (Austausch des ganzen Bauteils) entspricht
2. DER NAHTSTELLE DES ORIGINALS ANGEPASSTE ERGÄNZUNG	Holz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufnahme der Last ▪ da im Erdboden: <ul style="list-style-type: none"> a) chemischer Holzschutz für Gefährdungsklasse 4 nach Vorgabe des „Statens forurensningstilsyn“ oder DIN 68800-3 u. DIN EN 350-2 b) baulicher Holzschutz durch Belüftung nach DIN 68800-2 oder durch Holzartwahl nach DIN EN 460 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein Zuschnitt - kein Verlust an Originalsubstanz ▪ geringe Spannungen zwischen Original und Ergänzung je nach Holzart ▪ durch gute Formschlüssigkeit keine Leimung nötig ▪ unauffällig im Gesamtbild 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kostenintensiv bei der Verwendung von Laserscanner und CNC-Fräse
	Polymerbeton oder Estrichbeton (Ergänzungsmassen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufnahme der Last 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein Zuschnitt - kein Verlust an Originalsubstanz ▪ relativ einfache Anwendung ▪ durch gute Formschlüssigkeit keine Verklebung nötig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Materialkosten ▪ für die Gesamtanlage fremdes, untypisches Material
3. REINE STÜTZKONSTRUKTION	Stahlstütze mit Betonfundament	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufnahme der Last ▪ keine Beeinträchtigung des Gesamtbildes ▪ Korrosionsstabil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wirtschaftlich und effektiv ▪ keine Spannungen durch geringe Dimensionen und kleine Berührungsflächen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verfremdung ▪ Verankerung im Original notwendig

10.3 Überlegungen zur Wahl einer Ergänzungsmethode

Materialverlust, mangelnde Reversibilität und ein Verfremden des Erscheinungsbildes der historischen Konstruktion durch die aufgeführten handwerklichen oder ingenieurtechnischen Anwendungen stehen als deutliche Nachteile den Vorteilen einer aufsteckbaren Ergänzung gegenüber. Es würde eine offensichtliche Reparaturstelle entstehen, die jedoch in keiner Weise dem ursprünglichen Umgang mit einem Hammerwerk entsprechen würde. Die heute geringe statische Belastung spricht ebenfalls für die mögliche Einsatzfähigkeit einer Steckverbindung.

Durch das grundsätzliche Bestreben, am Original keine Veränderungen vorzunehmen, steigt der Aufwand für die Ergänzung. Eine angefertigte Ergänzung eines Bildhauers (Kopie von Gipsabguss) stellt im Vergleich mit dem Scan/Fräs-Verfahren, bei ähnlicher Präzision, einen schwer zu rechtfertigenden hohen Aufwand dar. Die Stäbchenergänzung wird ebenfalls in sehr anspruchsvoller und aufwendiger Handarbeit durchgeführt. Das Antragen von Leisten ist jedoch einfacher und mit einem geringeren Zeitaufwand als ein Punktierv erfahren durchführbar. Andererseits muss mit Verbindungsmitteln oder Klebstoffen gearbeitet werden, wodurch Probleme der Beständigkeit oder der Verträglichkeit des Klebstoffes mit einem notwendigen Holzschutzmittel auftreten können.

Das Scan/Fräs-Verfahren bietet die Möglichkeit einer hohen Passgenauigkeit, ist vollständig reversibel und verursacht, bis auf das Entfernen des abgebauten Materials, keinen Verlust an Originalsubstanz.

Das Material

Die Entscheidung, als Ergänzungsmaterial Nadelholz zu verwenden, ist durch die vergleichbar geringen Materialkosten und die adäquaten Eigenschaften dem Original gegenüber begründet. Da das Holz als eine Art Pfahlgründung wieder in das feuchte Erdreich eingebracht wird, ist es mit einem Holzschutz zu versehen, der diesen Bedingungen entspricht. Dauerhafte Hölzer, wie Eiche oder Robinie, sind einerseits in diesen Dimensionen schwer zu beschaf-

fen, kostenintensiv und für eine Ergänzung, die das Original nicht an Festigkeit übertreffen sollte, ungeeignet.

Holzschutz

Als nach der Demontage die alte Gründung ausgegraben wurde, war festzustellen, dass das Holz teilweise von Schichten aus fetten Tonen umgeben war. Die Überreste des Stamms standen bei etwa 80 cm unter dem Bodenniveau, mit einer Eisenplatte vor dem Hirnholz, ebenfalls auf einer Tonplatte (Abbildung 30).



Abbildung 30: Reste der Drumstütze auf einer Tonplatte

Mündlichen Angaben K. AALLS zufolge, seien in Norwegen die Pfähle zum Schutz gegen einen Pilzbefall über dem offenen Feuer angekohlt worden; dies war aufgrund der starken Zersetzung nicht nachzuweisen. Erklärt wird die Schutzwirkung des Ankohlens dadurch, dass in der Randzone schädlingwidri-

ge natürliche Holzteere gebildet werden¹. Archäologische Funde aus der Zeit um 5000 v. Chr. in der Fayum Wüste und dem Wadi Qena zeigen, dass es vermutlich die älteste Art des Holzschutzes ist. Zahlreiche Quellen belegen die verbreitete Anwendung des Ankohlens in allen Kulturen bis in die Gegenwart. So beschreibt PLINIUS, dass eines der sieben Weltwunder, das Heiligtum der Diana in Ephesos, auf einem Fundament aus angekohlten Pfählen stand. Der Sockel der Statue sei ebenfalls aus angekohltem Holz errichtet worden.² Die, bei Grabungen des 19. Jahrhunderts gefundene dünne Schicht Holzkohle unter den Fundamenten des Tempels in Ephesos, Mitte des 6. Jahrhunderts, bestätigt diese Angabe³. Das Ankohlen von Pfählen und die Verwendung von Holzkohle waren auch VITRUV, 33-22 v. Chr., bekannt: „[...] und ist der Ort unten locker [...] oder morastig: so grabe und leere man denselben aus; schlage angebrannte ellerne oder ölbäumene, oder eichene Pfähle ein, [...] fülle den Raum zwischen den Pfählen mit Kohlen aus und maure hierauf fest den Grund auf.“⁴ Selbst Schiffswände wurden noch im 18. Jahrhundert von der Britischen Admiralität durch Ankohlen geschützt.

Erst durch die im 20. Jahrhundert weitgehend erforschten Zusammenhänge zwischen Lebensbedingungen, Vermehrung, Zerstörung und Bekämpfung, wird die Wirksamkeit des Ankohlens widerlegt.⁵ CLAUSNITZER⁶ beschreibt als Schutzmaßnahmen an Pfählen und Pfosten, dass um das Holz herum ein Blechbeschlag, die „norwegische Konstruktion“ mit Birkenrinde oder das Umhüllen mit einer starken Lehmschicht angewendet werden kann. Lehm wurde auch für den Schutz der Fundamente zahlreicher, alter und heute noch erhaltener Gebäude in Oslo genutzt. Voraussetzung hierfür ist ein vollständiger Einschluss im Lehm und eine entsprechende Bodenfeuchtigkeit. Die auch an den Resten der Drumstütze gefundenen tonmineralischen Schichten, hatten entweder eine rein mechanische Funktion oder sind auf die geologische Beschaffenheit der Umgebung zurückzuführen.

¹ LEIBE 1992, 14; HÖSLI 1982, 32.

² HÖSLI 1982, 32; SUTTER 1992, 120; KEMPE 1999, 23.

³ BORRMANN 1992, 19.

⁴ RODE 1987, 133;

⁵ KEMPE 1999, 27.

Vielmehr ist durch konstruktive Maßnahmen, wie die Wahl eines dauerhaften Holzes oder ausreichende Belüftung, ein sicherer Schutz garantiert. Im Bezug auf die Ergänzung der Drumstütze, würde letzteres eine, im Boden offene Kastenkonstruktion bedeuten, die durch eine entsprechende Größe⁷ genug Luft um den Fuß zirkulieren lässt. Ohne das historische Gesamtbildes dadurch offensichtlich und nicht vertretbar zu verändern, war das Problem so nicht zu lösen.

Regelwerke

Bei einem direkten Kontakt einer tragenden Holzkonstruktion mit dem Erdreich gibt es heute in Deutschland durch die DIN 68800-3 und die DIN EN 335 klare Richtlinien: Nach der Beanspruchung wird die Gefährdung in fünf Klassen unterteilt: „Holz in dauerndem Erdkontakt oder ständiger starker Befuchtung ausgesetzt“, ist demnach der Gefährdungsklasse (GK) 4 zugeordnet⁸. In Abhängigkeit der GK 4 müssen bestimmte Anforderungen an eine Holzschutzmittelbehandlung eingehalten werden. Das Holzschutzmittel sollte Insekten vorbeugend, pilzwidrig, witterungsbeständig und moderfäulewidrig sein⁹. Ferner ist für Holzschutzmittel der GK 4 ein Kesseldruck-Imprägnierverfahren durchzuführen¹⁰. Die hierfür gewählten Holzschutzmittel müssen aus öko-toxikologischen Gründen mit einem Prüfzeichen versehen sein, welches das DEUTSCHE INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (DIBT) erteilt und im Holzschutzmittelverzeichnis Teil A veröffentlicht, wo sie in Steinkohlenteer-Imprägnieröle, in wasserbasierende und in lösemittelhaltige Holzschutzmittel unterteilt werden.¹¹

Da die Durchführung der Ergänzung in Norwegen stattfindet, gelten die entsprechenden Landesbestimmungen des MILJØVERNDEPARTEMENTET (Umweltministerium), des STATENS FORURENSNINGSTILSYN (Umweltschutz) und

⁶ CLAUSNITZER 1990, 120.

⁷ In Anlehnung an die DIN 68800-1.

⁸ DIN 68800-3, Tab. 1.

⁹ DIN 68800-3, Tab. 3.

¹⁰ DIN 68800-3, Abs. 7.4.2.

¹¹ „Diese Schutzmaßnahmen dienen der vorbeugenden Gefahrenabwehr, welche von baulichen Anlagen bei Zerstörung durch Pilze oder Insekten für die Öffentlichkeit ausgehen können.“ (Kempe 1999, 40)

des NORSK STANDARD (ähnlich der DIN). Demnach ist durch ein Verbot¹², ab 1. Oktober 2002, die Verarbeitung von Hölzern, welche mit den umweltschädlichen Chrom- oder Arsen-Verbindungen imprägniert wurden, untersagt. Das Steinkohlenteer enthaltene Kreosot ist bereits seit längerem verboten worden. Eine, durch das STATENS FORURENSNINGSTILSYN veröffentlichte, PRIORITÄTENLISTE schädlicher Chemikalien, sieht für die Verwendung von Kupfer einen Zeitraum bis 2010 vor¹³.

Daraufhin werden in Norwegen bis 2010 in der Regel wasserbasierende, fixierende Kupfersalz-Präparate (Kupfer-HDO) verwendet, wie beispielsweise Wolmanit-Präparate der Firma DR. WOLMAN GmbH.

Die Tatsache, dass aus Kupfer-HDO imprägniertem Holz auch nach sieben Wochen noch rund 10 % des Kupfers auswaschbar sind, weist darauf hin, dass es, frei verbaut, immer eine potentielle Kupfer-Emissionsquelle ist.¹⁴ Mündlichen Angaben der Firma DR. WOLMAN GmbH zufolge beträgt die Gewährleistung einer Imprägnierung mit Wolmanit CX-8 15 Jahre. Ist eine Schutzwirkung darüber hinaus angestrebt, besonders in der gefährdeten Erd-Luft-Zone, können spezielle Sonderverfahren angewendet werden¹⁵. So hat sich das, für den Nachschutz von Leitungsmasten, durchgeführte Bandagenverfahren in Deutschland seit rund 70 Jahren bewährt¹⁶. Bei diesem Verfahren diffundieren in einem schaumstoffartigen Bandagenträger eingelagerte Holzschutzmittel, aufgrund der Holzfeuchte, bis in den Kernbereich auch Teeröl-imprägnierter Holzonen. Der Schutzzeitraum erhöht sich durch eine Bandage um weitere 8-10 Jahre¹⁷.

Abdichtung

Da einerseits die Gefahr besteht, dass aus dem imprägnierten Holz unfixiertes Kupfer ausgewaschen und so zur Umweltbelastung wird und andererseits

¹² FOR 2001-09-10 nr 1102: Forskrift om forbud mot bruk av CCA-impregneret trevirke. (Vorschrift zum Verbot Kupfer-Chrom und -Arsen imprägnierter Hölzer.), (<http://www.lovdata.no/for/sf/md/xd-20010910-1102.html>, 16.09.2002)

¹³ Stortingsmelding 58 (1996 - 97): Prioriterte kjemikalier der utslippene skal reduseres vesentlig, senest innen 2010. (<http://odin.dep.no/md/norsk/publ/stmeld/022005-040003/index-dok000-b-n-a.html>, 16.09.2002)

¹⁴ LEIBE 1992, 61.

¹⁵ BEUTH Kommentare.

¹⁶ WOLMAN-Dokumentation.

seits die Dauer der Schutzwirkung unzureichend und ein mehrmaliges Wechseln der Bandage nicht vorgesehen ist, kommt zur Lösung beider Aspekte eine Abdichtung der Ergänzung gegen den Boden in betracht.

Neben der schon angesprochenen tonmineralischen Abdichtung, besteht die Möglichkeit, ein typisches Abdichtungsmittel aus der Bauwerksabdichtung zu verarbeiten: Bitumen¹⁸.

Die schützende Wirkung bitumen- oder pechartiger Substanzen wird, ähnlich dem Ankohlen, schon früh erwähnt: Im Buch Genesis des Alten Testaments, wird über den Bau der Arche Noah berichtet, dass zum Abdichten der Schiffswände Pech benutzt werden sollte. Eine Methode, wie sie in allen Kulturen für den Schiffsbau angewendet wurde und in zahlreichen Quellen, so auch in den Schriften ALBERTIS, Mitte 15. Jahrhundert, angegeben wird: „Dass das Holz, welches vom Wasser und vom Meer verderben werden könnte, mit Pech geschützt wird, ist bekannt.“¹⁹

Auf die wesentlichen Eigenschaften bezogen, ist Bitumen wasserunlöslich und wasserdicht, beständig gegen aggressive Bestandteile des Erdreichs und umweltneutral, thermoplastisch, fließt bei anhaltender Krafteinwirkung und verbindet sich gut mit dem Untergrund.

Bitumen wäre somit bei einer Verwendung für die Drumstütze für eine vollständige Abdichtung gegen den Boden geeignet und ein Auswaschen des Kupfers könnte verhindert werden. Überlegungen über eine Durchführbarkeit und die Wirksamkeit, dieser ungewöhnlichen Kombination von Imprägnierung, Bandage und Bitumen, führte unter anderem zu einem Kontakt mit der Deutschen Gesellschaft für Holzschutz (DGfH) und mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Diskussionen mit Herrn Dr. Ing. E.-J. VATER²⁰ und Dipl.-Holzw. M. GRINDA²¹ kamen zu dem Ergebnis, dass die aufge-

¹⁷ Frdl. mündl. Mtlg. der DR. WOLMAN GmbH.

¹⁸ Bitumen ist nach DIN 55 946 (Teil 1) ein „bei der Aufarbeitung geeigneter Erdöle gewonnenes schwerflüchtiges dunkelfarbiges Gemisch verschiedener organischer Substanzen, deren elasto-viskoses Verhalten sich mit der Temperatur ändert. Die für Bitumen typischen Eigenschaften beruhen auf dem kolloidalen System, in dem eine disperse Phase (Asphalene) in einer zusammenhängenden (kophärenten) Phase aus hochsiedenden Ölen (Maltenen) in stabiler Verteilung vorliegt. Die Asphalene sind keine einheitliche Stoffgruppe; sie sind höhermolekulare Anteile im Bitumen und lassen sich durch geeignete Lösemittel ausfällen.“ (KITTEL 1998, 261).

¹⁹ THEUER 1991, 81.

²⁰ Mitarbeiter im Laboratorium Bituminöse Stoffe und Abdichtungstechnik der Fachgruppe Bauwerkssicherheit / Baustoffe an der BAM.

führte Schutzmethode der Ergänzung prinzipiell geeignet sei. Als Bedingung wurde die Verwendung von aufzuschmelzendem Bitumen, wie beispielsweise Bitumenschweißbahnen mit Glasgewebeeinlage hervorgehoben. Kalt zu verarbeitende Systeme ergeben nicht immer eine vollständige Abdichtung, aufgrund zurückbleibender Poren. Die auf die Kolloidstrukturen zurückzuführende Fließeigenschaft des Bitumens kann bei auftretenden Trocknungsrissen der Bewegung begrenzt plastisch folgen. Durch das luftdichte Verpacken der Ergänzung kann es eventuell zu anaeroben Abbauerscheinungen kommen, die aber in der Regel weniger gefährlich²² sind.

Aber auch die Ausführung einer tonmineralischen Abdichtung wurde weiterverfolgt. Gespräche mit Herrn Prof. Dr. H. STANJEK²³, Prof. Dr. G. MINKE und einem Mitarbeiter des DACHVERBANDES LEHM e.V., führten zu einer klaren Ablehnung dieser Ton-Abdichtungs-Methode. Durch die hohe Aufnahmefähigkeit von Wasser und im umgekehrten Fall die mögliche Abgabe des Wassers, kann es zu Rissen im Ton und zum Ablösen von der Holzoberfläche kommen und so durch einen möglichen Wassereintritt und –stau zu einer Beschleunigung des Abbaus führen.

Die endgültige Entscheidung für eine Steckverbindung unter Anwendung des Scan/Fräs-Verfahrens wurde unter Einbeziehung der, durch Herrn MOLDEN²⁴ vertretenen, Museumsinteressen getroffen.

10.4 Durchführung der Ergänzung

10.4.1 Untersuchungsergebnisse

Nach den Ergebnissen der visuellen Untersuchung und der Bohrwiderstandsmessung hat sich der abgebaute Fußbereich bis etwa 35 cm über dem Boden ausgebreitet. Die Messungen ab 25 cm darüber zeigen, außer Risse,

²¹ Mitarbeiter der Fachgruppe Umweltverträglichkeit von Materialien / Biologie im Umwelt- und Materialschutz an der BAM.

²² Frdl. mündl. Mtlg. von Herrn Prof. Dr. H. Stanjek.

²³ Professor an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule.

²⁴ Museumsdirektor

keine weitere Beeinträchtigung. Ebenfalls zu erkennen ist, dass es sich hierbei um eine Innenfäule handelt. Die äußere Hülle ist intakt. Es ergibt sich aufgrund der Ergebnisse eine zapfen- oder kegelförmige Fehlstelle, was für eine Steckverbindung eine gute Voraussetzung darstellen würde.

In Vorversuchen getestete Ergänzungen, unter Verwendung der Punktiermaschine, zeigten, dass ein hohes Maß an Formschlüssigkeit möglich ist.

10.4.2 Demontage

Aufgrund des hohen Verschleißes während des Betriebs, sind alle Bauglieder der Hämmer so gestaltet, dass sie leicht demontier- und auswechselbar sind. Das ist auch bei der Drumstütze-Ost der Fall. Die einfache Zapfenverbindung mit dem Querbalken gestattet es, nach der Entnahme des Keilquaders und dem Heben und Unterstützen des Querbalkens, die Drumstütze nach hinten vom Zapfen zu heben. Die später zur Sicherung gegen die Stütze genagelten Holzlatten, wurden vor dem Anheben vorsichtig entfernt. Mit Hilfe von zwei Kettenzügen konnte die Drumstütze anschließend so gedreht werden, dass sie mit dem Fußende waagrecht zur Tür ausgerichtet lag (Abbildung 31).



Abbildung 31: Demontage der Drumstütze-Ost

10.4.3 Bearbeitung

In dem so frei zugänglichen Fußbereich befand sich eine abgebaute, braune Masse, die mit der Hand ausgeräumt werden konnte und zwischen den Fingern zerfiel (Abbildung 32). Das darauf folgende, weniger stark zerstörte Material wurde unter Verwendung eines Hohleisens vorsichtig abgetragen. Die Vorgehensweise wurde durch die Farbänderung von dunkel- zu hellbraun und durch eine deutlich spürbare Änderung der Holzfestigkeit bestimmt. So entstand eine circa 45 cm, longitudinal in den Stamm reichende halbrunde Vertiefung.



Abbildung 32: Abgebaute Substanz des Fußbereichs

10.4.4 Gipsabdruck

Damit die Form der Außenflächen in der Ergänzung weitergeführt werden kann, wurde eine Stützwand aus einzelnen, gelenkig miteinander verbundenen Kunststoffprofileisten an die Außenkontur angepasst. Aufgrund der Holzstruktur war es notwendig, ein Trennmittel auf die Oberfläche zu bringen, so dass ein Eindringen von Gips in die Poren und vor allem in die Risse vermieden werden konnte. Ein weiterer Aspekt ist eine möglichst geringe Haftung, gerade bei größeren Flächen, zu erzielen, um den Abguss wieder abnehmen zu können. Da die abzuformende Fläche von großen, unzähligen Trocknungsrissen durchzogen ist, durch die die Gipsmasse abfließen würde, kam, statt eines flüchtigen Bindemittels, Polyethylen-Folie zum Einsatz.

Um ein hohes Maß an Stabilität, bei gleichzeitig geringer Masse zu erreichen, wurde nicht ein Vollguss praktiziert, sondern, durch Einlage eines Kunststoffgewebes als Armierung, ein etwa 10 mm dünnes, 15 kg wiegendes Gipsnegativ abgeformt. Viermal musste die Stütze um 90° um die Längsachse ge-

wendet werden, um ein Auftragen der fließfähigen Gipsmasse zu ermöglichen.



Abbildung 33: Gips-Negativ mit zur Stammachse rechtwinklig ausgerichtetem Bodenblech

Eine erstaunlich hohe Formschlüssigkeit ließ sich mit dem Gipsabdruck bereits feststellen. Der für die Ergänzung notwendige Bezug zur Längsachse des Stamms wurde durch ein einmodelliertes Blech hergestellt, das während des Scannvorgangs als horizontale Standfläche diente.

10.4.5 Vorbereitung des Ergänzungsmaterials

Nach der in den Vorüberlegungen erarbeiteten Ergänzungsstrategie, ist als Ergänzungsmaterial Holz in gleicher Art des Originals vorgesehen. Da die Drumstütze aus der wenig dauerhaften Fichte gefertigt wurde und diese schwer bis sehr schwer tränkbar ist, musste eine Holzart mit ähnlichen Materialeigenschaften, aber guter Tränkbarkeit, gewählt werden. Diese Bedingungen sind bei der Kiefer für das Splintholz gegeben.²⁵ Das Kernholz ist natürlich imprägniert.

Die Suche nach einem geeigneten Stamm war letztendlich bei dem, nörd-

²⁵ DIN EN 350-2.

lich von Nes Verk gelegenen Sägewerk, TINNOSET SAG A/S, erfolgreich²⁶. Der 1,40 m lange, am Stammfuß abgeschnittene, Kiefernstumpf hatte einen mittleren Durchmesser von 65 cm, so dass seine Masse bei etwa 350 kg lag. Eine Abschätzung der Jahrringe weist auf ein Alter von 170 Jahren hin, das im Frühjahr 2002 mit der Fällung beendet worden war. Eine Holzfeuchtemessung, des fast den gesamten Querschnitt einnehmende Kernholzbereichs, ergab 25 %. Die am Fuß der Drumstütze gemessene Holzfeuchte betrug übereinstimmend, ebenfalls 25 %. Es ist eine, besonders im Kernholz, sehr harzreiche Kiefer.²⁷

Nach dem Transport des Stamms zum Museum, wurde dieser entrindet und mit dem Breitbeil und einem elektrischen Hobel bis an den Querschnitt der Drumstütze abgearbeitet. Für die Längenänderung konnte eine Kettensäge verwendet werden. Der wellige, durch die Wurzelstränge geprägte Querschnitt am Stammfuß wurde belassen, da sonst die Standfläche erheblich hätte reduziert werden müssen.

10.4.6 Scannen

Das Digitalisieren erfolgte in der Firma FEM Design AS, ansässig in Trondheim, mit einem ATOS II 3D-Scansensor der Firma GOM. Der ATOS II Sensor²⁸ ist auf einem Stativ befestigt und besteht aus einem Projektor und zwei Digitalkameras (Abbildung 34). Das Messprinzip beruht auf der *phasenmessenden Profilometrie*: Mit einem Projektor wird ein gleichmäßiges, präzises Lichtstreifenmuster auf das Objekt projiziert, was sich auf der variierenden Oberfläche verformt. Diese Verformung wird von den Digitalkameras erfasst und die entstandenen Abbildungen am Rechner zur Bestimmung der Koordinaten benutzt.

²⁶ Tinnoset liegt etwa 170 km nördlich von Nes Verk bei Gransherad. Ein, für eine Bootsrestaurierung als Ganzes vorgesehener, 12 m Stamm wurde freundlicherweise vom Sägewerk, zu Gunsten des Museums, um 1,40 m gekürzt.

²⁷ Frdl. mündl. Mtlg. eines einheimischen Forstarbeiters.

²⁸ ATOS II (Advanced Topometric Sensor): Meßvolumen 100x80x80 mm³ bis 1200x960x960 mm³ (Einzelmessung), Meßabstand 750 mm bis 1600 mm, Kameraauflösung 1280x1024 Pixel 12 Bit (digital), Meßzeit ca. 8 sec, Meßpunktabstand 0.04 bis 1 mm, bis zu 1,3 Mio. Meßpunkte.



Abbildung 34: Scannen der Gips-Negativform

Da der Gipsabguss nicht aus einer Position im Ganzen vermessen werden konnte, waren mehrer Teilmessungen aus verschiedenen Positionen erforderlich. Zusammengesetzt werden die Teilmessungen anhand vorher definierter Referenzpunkte. Innerhalb von Sekunden werden die Messpunkte berechnet und als 3D Punktwolke dargestellt (Abbildung 35). Damit aus der Punktwolke ein 3D Modell entsteht, welches zur Weiterverarbeitung in ein gängiges CAD-Format²⁹ exportiert werden kann, muss zunächst eine Flächenrückführung beziehungsweise -beschreibung durchgeführt werden. Dazu werden mit der entsprechenden Software³⁰ die Messpunkte zu Dreiecksnetzen transformiert (Abbildung 36).

²⁹ In diesem Fall IGES-File.

³⁰ In diesem Fall Geomagic.

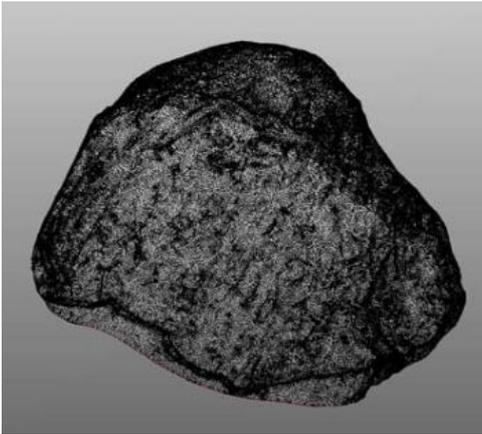


Abbildung 35: 3D Punktwolke des Gips-Negativs

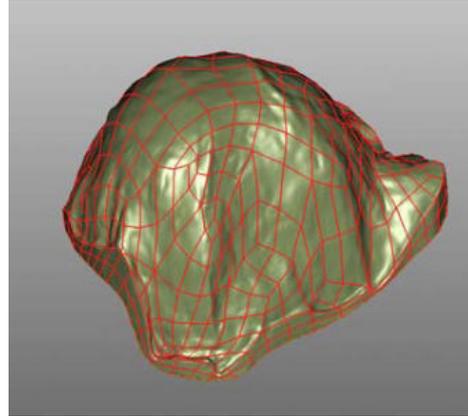


Abbildung 36: Berechnete 3D Oberfläche

Die Detailgenauigkeit ist von der Höhe der Messdichte abhängig. Je geringer sie ist, um so mehr werden die Unebenheiten der Originaloberfläche geglättet. Andererseits ist die Messdichte auch begrenzt durch die Möglichkeit, die dadurch sehr großen Datenmengen verarbeiten zu können. Das betrifft neben dem berechnenden Computer auch die zur Modellierung verwendete Fräsmaschine.

10.4.7 Fräsen

Nach intensiver Suche wurde eine Firma in Norwegen gefunden, die in der Lage ist die Dimensionen des Stamms aufzunehmen, die große Datenmenge des Scanners mit einem IGES-File zu verarbeiten und trotzdem kostengünstig arbeitet. Der Sitz dieser Firma, 3D VERKSTED¹, liegt ebenfalls in Trondheim, so dass der Stamm über eine Transportfirma nach Trondheim zum Fräsen versandt werden musste. Die 3D VERKSTED verfügt über eine Drei-Achsen-CNC-Fräsmaschine², welche die Möglichkeit bietet, große, längere Werkstücke horizontal einzuspannen und auch mit einem horizontal liegenden Fräs-Ausleger, in diese Richtung abzufräsen.

¹ Stjørdal 3-D Verksted, Havnegata 12, 7500 Stjørdal.

² Die drei Achsen bedeuten die Arbeitsrichtung in der x-, y- oder z-Achse.

Die aus dem Scannvorgang erhaltenen Daten wurden in die Programmsteuerung der Fräse geladen, und im Wesentlichen auf zwei Arbeitsdurchgänge programmiert. Im ersten Arbeitsdurchgang fuhr ein 63 mm Fräskopf den Querschnitt schichtweise, über eine Bahnsteuerung in Richtung Stammfußboden ab (Abbildung 37). Im zweiten Durchgang erfolgte die Schnittbewegung quer, beziehungsweise als radiale Streckensteuerung, mit einem 25 mm Fräskopf. Mit dem letzten Arbeitsgang wurde die Oberfläche geglättet.



Abbildung 37: Erster Fräsdurchgang an der 3-Achsen CNC-Fräse

Nach dem Fräsen blieb fast ausschließlich der Kernholzbereich zurück. Die Oberfläche zeigte so gut wie keine Arbeitsspuren. Lediglich auf die scharfkantigen Ecken der Übergangsstufe zur Drumstütze ist aus Kostengründen verzichtet worden.

Abschließend erfolgte der Rücktransport nach Nes Verk.

10.4.8 Holzschutz

Der erforderliche Holzschutz wurde von der Firma SØR-TRE BRUK AS durchgeführt. Das dabei verwendete Imprägniermittel Wolmanit CX-8³ wurde durch eine Kesseldruckimprägnierung eingebracht und mit einem angehefteten Zertifikat ausgewiesen (Abbildung 38).⁴

- **Wolmanit CX-8** ist ein wasserlösliches, chromfreies und vorbeugend wirkendes Kupferpräparat.
- Die Wirkstoffbestandteile sind 2,8 % *Bis-(N-cyclohexyldiazoniumdioxy)-Kupfer* (Kupfer-HDO), 13,04 % *Kupferhydroxidcarbonat* und 4 % *Borsäure*.
- Anwendungsbereich sind die Gefährdungsklassen (GK) 1-4 (DIN 68800-3 und DIN EN 335).
- Bauaufsichtlich zugelassen und im Holzschutzmittelverzeichnis des Deutschen Institut für Bautechnik eingetragen.



Abbildung 38: Kesseldruckanlage der Firma SØR-TRE BRUK AS

³ Hersteller ist die Dr. Wolman GmbH der BASF-Gruppe.

⁴ Ausgeführt nach: Norsk Standart AB 75 Cu oder EN 351-1 und -2, aufgenommene Mindestmenge 12 kg/m³ und Eindringtiefeklasse P8 (EN 351-2).

Durch eine Probe auf Passgenauigkeit der Ergänzung in der Drumstütze traten noch einige zu beseitigende Mängel auf. Die zu großen Radien in der Übergangsstufe mussten mit dem Stecheisen nachgearbeitet werden. Ein Frühkontakt mit Beschädigung der schlanken Hülle des Stützenfußes wäre sonst die Folge gewesen. Der durch das Fräsen an der Ergänzung entstandene, horizontal umlaufende Absatz ist ebenfalls angeglichen worden.

Die gemessene Holzfeuchte lag zur Zeit der Montage im Kern bei 25 %, was der Holzfeuchte des Fußbereichs der Drumstütze entsprach, so dass bei gleichzeitiger Trocknung, Spannungen gegeneinander als gering eingeschätzt werden. Da auch bei der Ergänzung die holztypischen Trocknungsprozesse ablaufen, wird es zu Schwindrissen kommen. Die Eigenschaft des Bitumens⁵, allmählichen Bewegungen des Untergrundes zähplastisch zu folgen, wird in diesem Fall von Nutzen sein.

Dennoch sollte regelmäßig auf eine stärkere Rissbildung kontrolliert werden und gegebenenfalls beschädigtes Bitumen repariert werden!

Das Erscheinungsbild der Ergänzung ist eher positiv betroffen, da eine ungerissene Oberfläche gegenüber der Rissdurchsetzten Drumstütze als Trennung empfunden wird.

Die drei zusätzlich vorgesehenen Wolmanit-CFB-Holzschutzbandagen sind Fertigbandagen auf der Basis anorganischer Kupfer-, Fluor- und Borverbindungen (CFB). Dieses Salzgemisch ist in einer Schaumstoffmatte, mit den Maßen 90 x 40 cm, eingelagert und adäquat gegenüber dem eingebrachten Wolmanit CX-8 (Abbildung 39).

⁵ LUFISKY 1983, 15f.



Abbildung 39: Bitumenschweißbahn und Wolmanit-CFB-Holzschutzbandagen

Da die Bandage abschließend mit einer Bitumenschweißbahn überdeckt werden sollte, ist die Abdeckfolie der Bandage entfernt worden. Die drei Wirkstoffkissen wurden um den Stamm und von unten an das Hirnholz mit Edelstahlschrauben fixiert. Hierbei musste ober- und unterhalb der Bandage ausreichend Platz zum Aufschmelzen der Bitumenbahn bedacht werden. Der Auftrag der Bahnen erfolgte ebenso um den Stamm und von unten gegen das Hirnholz. Die 5 m der Bitumenschweißbahn sind zweilagig verarbeitet worden. Die erste Lage konnte nur ober- und unterhalb der Bandage auf das Holz geschmolzen werden. Im Zwischenbereich, über der Bandage, kamen zur Fixierung noch einmal Edelstahlschrauben zum Einsatz. Die zweite Lage wurde vollflächig über die erste Lage und bis zum gefrästen Kontaktbereich aufgeschmolzen (Abbildung 40).⁶

⁶ Zum Schmelzen der ersten Bitumenlage eignete sich, aufgrund der Nähe zum Salzkissen, ein elektrisches Heizgebläse, was jedoch einen hohen Zeitaufwand erforderte. Die zweite Lage konnte mit einem üblichen Propanbrenner aufgeschmolzen werden.

Die Ergänzung der Drumstütze-Ost



Abbildung 40: Montierung der Holzschutzbandage und der Bitumenschweißbahn

Das Aufbringen der Bitumenbahnen war nur durch die tatkräftige Unterstützung eines Kommilitonen des Studiengangs Umweltverfahrenstechnik möglich.



Abbildung 41: Detailaufnahme der Übergänge Bitumen-Ergänzung und Ergänzung-Original

10.4.9 Montage

Die Grube ist in der Vorbereitung auf die richtige Tiefe und Größe geschachtet worden. Eine etwa 10 cm starke Schicht aus groben Ton der Umgebung bildet die Sohle. Auf diese Weise wird die originale Gründung wieder aufgegriffen, die Kapillarzone⁷ wird abgedeckt und es ist eine Lageanpassung beim Aufsetzen der Drumstütze möglich. Damit versickerndes Wasser auch unter der Ergänzung ablaufen kann und kein direkter Kontakt zum feuchten Ton besteht, wurde auf die Tonschicht eine Lage, eigens in der Grube ausgegrabener Ziegelsteine verlegt, auf denen die Stütze steht. Die etwa 280 kg schwere Ergänzung konnte mit zwei Kettenzügen in die Grube gelassen und ausgerichtet werden.

⁷ Die geschlossene Kapillarzone ist der sich über dem freien Grundwasserspiegel ausbildende Bereich, in dem die Porenräume mit gebundenem Wasser erfüllt sind. Ihre Höhe über dem Grundwasser wird als Kapillare Steighöhe bezeichnet. (DACHROTH 2002, 50.)



Abbildung 42: Ausgeschachtete Grube mit dem eingesetzten Kiefernstamm; auf der linken Seite ist das Fundament des Luftdruckhammers und auf der rechten Seite das des Gebäudes zu sehen

Die Montage der Drumstütze verlief in umgekehrter Reihenfolge der Demontage. Eine, anhand der Zeichnungen THUESENS⁸, nachvollziehbare Setzung der Stütze, infolge jahrelanger Zersetzung des Fußbereichs, wurde um geschätzte 10 cm während der Montage berücksichtigt.⁹

Die zuvor zur Standsicherheit zwischen Gebäudewand und Stütze angenagelten Holzlatten erfuhren einen Austausch durch 12 mm Rundstahlstreben mit angeschmiedeten Laschen und Schellenverbindungen¹⁰. Die Schellen greifen um einen Schraubenschaft des oberen Eisenringes der Stütze. Die Laschen am

⁸ THUESEN 1948.

⁹ Als Schwierigkeit stellte sich der geringe Abstand zwischen der Drumstütze und einem darüberliegenden Sparren des Gebäudes heraus, da die Stütze über die Ergänzung gehoben werden mußte. Durch ein aufwendiges, mehrmaliges Ändern der Positionen der Kettenzüge reichten die letzten Millimeter schließlich zum Erfolg.

¹⁰ Werkstatt und Material wurden freundlicherweise von Erik Gjendem zur Verfügung gestellt.

anderen Ende sind unter das Rahmenholz der Gebäudekonstruktion geschraubt (Abbildung 43).¹¹



Abbildung 43: Rundstahlstreben zur vertikalen Sicherung

Im Moment des Aufsetzens der Fehlstelle der Drumstütze auf die Ergänzung, griffen beide Formen derart ineinander, dass die Ergänzung eine Feinjustierung erfuhr und mit der Stütze zu einem stabilen Formschluss verbunden wurde. Ein Bewegen der Stütze, vor Auffüllung der Grube, bewirkte kein Spiel oder Lösen der Teile, sondern ein Mitgehen der Ergänzung.

Der noch vorhandene Teil des ausgehobenen Erdreichs wurde, um nicht die Bitumenbahn zu beschädigen, gesiebt und zum Auffüllen der Grube benutzt.

Für das restliche Auffüllen wurde, dem Boden der Hammerschmiede ähnliches, humusarmes Erdreich verwendet.¹²

¹¹ Siehe statische Berechnung. Anhang.

¹² Bodentyp Norsk Standart 3420 Vekstjord, bei Firma BREKKA SANDTAK A.S. Arendal bezogen.

Die Ergänzung der Drumstütze-Ost



Abbildung 44: Detail nach abgeschlossener Montage

Die Ergänzung der Drumstütze-Ost



Abbildung 45: Gesamtansicht nach abgeschlossener Montage

11 Literatur

- ALTMANN 1999: Götz Altmann, Erzgebirgisches Eisen. Geschichte-Technik-Volkskultur, Dresden 1999
- AGRICOLA 1974: Georgius Agricola, De re metallica libri XII, übersetzt von G. Fraustadt und H. Prescher, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin, 1974
- BECHER 1789: J. P. Becher, Mineralogische Beschreibung der Oranien-Nassauischen Lande nebst einer Geschichte des Siegenschens Hammer- und Hüttenwesens, Marburg 1789
- BOHNHAGEN 1914: Alfred Bohnhagen, Der Stukkateur und Gipser, Verlag von Bernh. Friedr. Voigt, Leipzig 1914, Reprint
- BORRMANN 1992: Michael Borrmann, Historische Pfahlgründungen, Institut für Baugeschichte der Universität Karlsruhe, Druckerei Maisch GmbH, 1992
- BURMESTER 1965: Arno Burmester, Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und morphologischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Holz, in: Holz als Roh- und Werkstoff, 23. Jg. Heft 6, 1965, S. 227-236.
- CLAUSNITZER 1990: Klaus-Dieter Clausnitzer, Historischer Holzschutz, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1. Auflage 1990
- DACHROTH 2002: Wolfgang R. Dachroth, Handbuch der Baugeologie und Geotechnik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002

- ERHARDT 1995: Nina Eckardt, Möglichkeiten der Ergänzung an fraßgeschädigtem Holz, Diplomarbeit FH Köln 1995, zitiert aus: KÖHLER 1999
- ECKSTEIN/SAß 1994: D. Eckstein und U. Saß, Bohrwiderstandsmessungen an Laubhölzern und ihre holzanatomische Interpretation, in: Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 52 1994, S. 280-282.
- ERLER 1997: Klaus Erler, Alte Holztragwerke, Verlag für Bauwesen, Berlin 1997
- FICKELER 1952: Paul Fickeler, Achenbach Buschhütten, Graphische Kunstanstalten F. Bruckmann KG, München 1952
- FRÖHLICH 1984: Dietmar Fröhlich, Konservierung und Restaurierung einer spätmittelalterlichen Holzskulptur „Anna Selbdritt“ für das Kloster Unser Lieben Frauen in Magdeburg, Diplomarbeit Hfbk Dresden 1984, zitiert aus KÖHLER 1999
- FUCHS 1922: Otto Fuchs, Schmiedehämmer, Ein Leitfaden für die Konstruktion und den Betrieb, Verlag von Julius Springer, Berlin 1922
- GERNER 1998: Manfred Gerner, Anschuhen, Verstärken und Auswechseln, Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e. V., 1998
- GNADEN/GUBE 1983: Gottfried Gnaden, Guido Gube, Großschmiede. Arbeitsmittel und Verfahren, Berlin 1983
- GÖRLACHER et al. 1999: R. Görlacher, V. K. Falk, H. Eckert u.a., Historische Holztragwerke, SFB 315 Universität Karlsruhe 1999

- GÖRLACHER/HÄTTICH 1992: Rainer Görlacher und Ronni Hättich, Die Bohrwiderstandsmessung, Untersuchung von altem Konstruktionsholz, in: Holzbau Statik Aktuell, 2/1992, Sonderausgabe des Informationsdienst Holz, S. 10-14.
- GÖTZ 1997: K. Götz und D. Stender, Restaurierungsberatung am Beispiel des Inventars der Tuchfabrik Müller, Arbeitsblätter der Restauratoren, Heft 1 1997, Gruppe 26 . Technisches Kulturgut, Seite 32-34
- HAMRAN 1993: Ulf Hamran, Næs Jernverksmuseum – kulturhistorik guide, (Museumsführer) Økomuseum Skagerrak, Arendal 1993
- HAUSMANN 1812: J. F. L. Hausmann, Reise durch Skandinavien in den Jahren 1806 und 1807, Zweiter Theil, Göttingen, 1812
- HÖSLI 1982: Joh. Peter Hösli, Wood Preservation in the Pre-Industrial Period, in: The International Journal of Wood Preservation, Vol. 2, No.1, 1982, S. 29-36
- HUBEL 1991: Achim Hubel, Vom Umgang mit dem Original. Überlegungen zur Echtheit musealer Objekte, in: Museumstag 1991, 34-45.
- HUNDESHAGEN 1985: Hermann Hundeshagen, Kleinschmiede, Arbeitsmittel und Verfahren, VEB Verlag Technik Berlin, 1985
- HUSE 1984: Norbert Huse, Denkmalpflege, Deutsche Texte aus drei Jahrhunderten, München 1984, zitiert aus: GÖRLACHER et al. 1999
- JUNG-STILLING 1778: Dr. Joh. Heinr. Jung-Stilling, Staatswirtschaftliche Anmerkungen über das Hammerschmieds- Eisen- und Stahlgewerbe des Siegerlands nebst einer Beschreibung der Methode des Stahlschmiedens, in: Bemerkungen der Kuhrpfälzischen physikalisch-ökonomischen Gesellschaft, vom Jahre 1778, Lautern 1779

- KEMPE 1999: Klaus Kempe, Dokumentation Holzschädlinge, Verlag Bauwesen, 1999
- KIESENBERG 1997: Jörg Kiesenberger, Ausgewählte Untersuchungen zur Überprüfung der Wirksamkeit von transparenten Beschichtungssystemen – hier besonders Wachse – als Korrosionsschutz auf korrodierten Industriedenkmalen aus Eisen und Stahl, Diplomarbeit FH Dortmund 1997
- KITTEL 1998: H. Kittel, Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, Band 1, S. Hirtzel Verlag Stuttgart, Leipzig 1998
- KOCHER et al. 1999: M. Kocher, C. Kremer und M. Mach, Computerbildverarbeitung und dreidimensionale Vermessung im Rahmen des Forschungsprojektes „Konservierung von Denkmälern aus Blei, Zink und Zinn“, in: Zinkguss, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, München 1999
- KÖHLER 1999: Sebastian Köhler, Möglichkeiten zur Herstellung aufsteckbarer Ergänzungen, Diplomarbeit FH Köln 1999
- KRÄMER 1998: Franz Krämer, Grundwissen des Zimmerers, 8. Auflage, Bruderverlag Karlsruhe 1998
- KUBLI 1986: Renate Kubli, Hammerwerke, Fahner Verlag, Lauf 1986
- KÜHN 1989: Hermann Kühn, Gedanken zur Restaurierung von historischen Gegenständen der Technik und der Naturwissenschaften, in: Kunsttechnologie und Konservierung, Sonderheft 1989, 112-125.

- LEIßE 1992: Bernd Leiße, Holzschutzmittel im Einsatz, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1992
- LUFISKY 1983: Karl Lufsky, Bauwerksabdichtung, B. G. Teubner Stuttgart 1983
- LÜTH 1998: J. P. Lüth, Alte Völklinger Hütte, Anmerkungen eines Denkmalpflegers zum künftigen Gebrauch der Hütte und zum Umgang mit einem Weltkulturerbe, in: Metalla 5.1, Forschungsberichte des Deutschen Bergbau-Museums, Bochum 1998, S. 25-37
- MAGER 1987: Johannes Mager, Mühlenflügel und Wasserrad, Fachbuchverlag Leipzig 1987
- METZGER 1986: Max Metzger, Die Kunstschlosserei, Lehr-, Hand- und Nachschlagebuch, Charles Coleman Verlag, Lübeck 1986
- MUNCH 1823: Andreas Munch, Besuch im Næs Jernverk 1823, Archiv Næs Jernverksmuseum
- NICOLAUS 1998: Knut Nicolaus, Handbuch der Gemälderestaurierung, Köln 1998, zitiert aus KÖHLER 1999
- NYGÅRD-NILSSEN 1998: Arne Nygård-Nilssen, Norsk Jernskulptur, Band 1, J.W. Cappelens Forlag, Oslo 1998
- OEHLER 1951: Friedrich Oehler, Ein Siegerländer Eisenhammer, in: Siegerländer Heimatkalender Jahrg. 26, Siegen 1951, S. 36-50.
- REICHMUTH et al. 1991: C. Reichmuth, W. Unger und A. Unger, Stickstoff zur Bekämpfung holzerstörender Insekten in Kunstwerken, in: Restauro 4/1991, S. 247-251

- RIKSANTIKVAREN 1994: Grete Jarmund, Verneplan for tekniske og industrielle kulturminner, Oslo 1994
- RINN 1992: Frank Rinn, Chancen und Grenzen bei der Untersuchung von Konstruktionshölzern mit der Bohrwiderstandsmethode, in: Bauen mit Holz 9/1992, S. 747-748
- RINN/GRUND 1994: Frank Rinn und Kühler Grund, Baum- und Bauholzin-spektionen mit RESISTOGRAPH, in: Proceedings, First European Symposium on nondestruktive Evaluation of Wood, Vol.1 Sep. 21-23, 1994, S. 97.
- RODE 1987: August Rode (Übers.), Vitruv, Baukunst, Bd 1, Artemis Verlag 1987, Reprint
- SCHLEGEL et al. 1983: J. Schlegel, K.-D. Lietzmann, A. Hensel, Metallfor-mung, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf 1983
- SCHMIDT 1989: Hartwig Schmidt, Zur Entwicklung denkmalpflegerischer Richtlinien seit dem 19. Jahrhundert, in: Jb 1989 SFB 31 (1990) 1-24, zitiert aus: GÖRLACHER et al. 1999
- SCHMIDT 1994: Olaf Schmidt, Holz- und Baumpilze, Springer Verlag, Ber-
lin Heidelberg 1994
- SPECKHARDT 2001: Melissa Speckhard, Ultraschallmessung als zerstörungs-
freie Untersuchungsmethode in der Restaurierung zur Lokalisie-
rung von Schäden in gefassten Holzobjekten, Diplomarbeit FH
Hildesheim/Holzminde/Göttingen, 2001

- SUTTER 1992: Hans-Peter Sutter, Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen, Haupt Verlag, Bern-Stuttgart-Berlin 1992
- THEUER 1991: Max Theuer (Übers.), L. B. Alberti, Zehn Bücher über die Baukunst, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt 1991, Reprint
- THUESEN 1948: Gunnar Thuesen, Skizzenbuch von 1948, Archiv Technikmuseum Norwegen
- THUESEN 1977: Gunnar Thuesen, Noen Norske Jernverker, Bevarte minner fra den gamle jernverkstiden, Civiltryk AB, Stockholm, 1977
- TRÆDAL 1997: Lasse Trædal, Det var hardført, Kilden Forlag AS, Arendal 1997
- UNGER et al. 2001: A. Unger, A. P. Schniewind, W. Unger, Conservation of Wood Artifacts, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2001
- WEIß et al. 2000: B. Weiß, A. Wagenführ, K. Kruse, Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen, DRW Verlag, Leinfelden-Echterdingen 2000

Literatur

**Die Hammerschmiede des Næs Jernverksmuseums
in Südnorwegen**

**Erhaltung des Großhammers – Fragen der Klimatisierung
Band 3 - Anhang**

Diplomarbeit

vorgelegt dem Fachbereich 5, Gestaltung
Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik
der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

von: Christian Bode

den: 2002

betreut durch
Frau Prof. Ruth Keller-Kempas
Herrn Dr. Achim Unger

Inhaltsverzeichnis

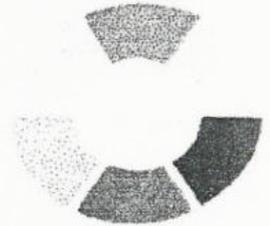
- Anhang I:** Entwicklung eines Konzeptes zur Klimatisierung der Hammer-
schmiede
- Anhang II:** Diagnose der Hammerkonstruktion des Storhammers durch die
Bohrwiderstandmessung
- Anhang III:** Zeichnungen des Hammergebäudes
- Anhang IV:** Statische Berechnungen der Hammerkonstruktion des Storham-
mers und eines Trägerprofils
- Anhang V:** Bodenanalysen, Angebote, Imprägnierungs-Bescheinigung
- Anhang VI:** Skizzen des Storhammers aus Thuesen 1948

CD ROM: Zeichnungen und Abbildungen zur Arbeit

Anhang I

Entwicklung eines Konzeptes zur Klimatisierung der Hammer- schmiede

Seminararbeit des Studiengangs Umweltverfahrenstechnik



Projektarbeit im Rahmen der Vorlesungen

Entwerfen und Diplomandenseminar

Thema:

**Entwicklung eines Konzeptes zur Klimatisierung
der Hammerschmiede des Naes Jernverkmuseums
in Südnorwegen**

Bearbeitet von:

Brandt, Simone
Krüger, Matthias
Richter, Steffen

Betreut durch:

Prof. Reichert
Dr. Wetzel

Im WS 2002/03

Inhaltsverzeichnis

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN	3
VERWENDETE ZEICHEN UND SYMBOLE	5
0 EINLEITUNG	6
1 PRÄZISIERUNG DER AUFGABENSTELLUNG	7
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	8
2.1 Luftfeuchtigkeit.....	8
2.2 Aufbewahrung von Holz in Museen.....	11
2.2.1 Allgemeine Anforderungen	11
2.2.2 Physik des Holzes	12
2.2.3 Holzzerstörende Organismen	14
3 DARSTELLUNG DES IST-ZUSTANDES.....	16
3.1 Die Geschichte des Naes Verk	16
3.2 Das Hammergebäude	17
3.3 Aufnahme und Auswertung der Messwerte.....	21
3.4 Durchführung weiterer Untersuchungen.....	22
3.5 Kritische Bewertung des Ist-Zustandes	25
4 LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN.....	26
4.1 Vorschläge für bauliche Veränderungen	26
4.2 Klimatisierungskonzepte	33
4.2.1 Darstellung der Konzepte	33
4.2.2 Kritische Betrachtung der Konzepte	35
5 DARSTELLUNG DER OPTIMALEN VARIANTE.....	37
5.1 Auslegung und bauliche Ausführung.....	39
5.1.1 Auslegung	39
5.1.2 Erläuterung des Entfeuchtungsvorganges im Sorptionstrockner mit Hilfe des h-x-Diagrammes	45
5.1.3 Aufstellung des Sorptionsentfeuchters.....	50
5.1.4 Anschluss des Sorptionsentfeuchters und Installation	52
5.2 Regelung des Entfeuchtungsvorganges.....	55
5.3 Kostenkalkulation.....	55
6 ZUSAMMENFASSUNG.....	56
7 QUELLENANGABEN	57
ANLAGEN	58

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Sorptionsisothermen unterschiedlicher Materialien	10
Abbildung 2: Zusammenhang zwischen rel. Feuchte und Holzfeuchte	12
Abbildung 3: Sorptionsisotherme für Eichenholz	13
Abbildung 4: Pilzsporen in einer Holzprobe	14
Abbildung 5: Verzweigter Keimschlauch.....	15
Abbildung 6: Naes Verk um 1888	17
Abbildung 7: Holzkonstruktion des Hammergebäudes	18
Abbildung 8: Schwanzhammer mit Wasserradeinhausung	18
Abbildung 9: Sinkhammer mit Welle	19
Abbildung 10: Storhammer mit Fundamentabdeckung	20
Abbildung 11: Stauwasser in der Wasserradeinhausung	24
Abbildung 12: „Messtand“ zur Volumenstrombestimmung	25
Abbildung 13: Verlegung der Drainagerohre	27
Abbildung 14: Austritt der Quelle am Sinkhammerfundament.....	27
Abbildung 15: Derzeitiger Flussverlauf	29
Abbildung 16: Flusslauf nach der Beräumung.....	29
Abbildung 17: Derzeitiger Regenwasserabfluss.....	30
Abbildung 18: Wassereintritt am Ständerwerk	30
Abbildung 19: Außenwand der Wasserradeinhausung	31
Abbildung 20: Lamellenfenster in Bodennähe.....	32
Abbildung 21: Funktionsprinzip eines Kondensationsentfeuchters	37
Abbildung 22: Funktionsprinzip der Sorptionsentfeuchtung	38
Abbildung 23: Vergleich der Arbeitsbereiche beider Verfahren im h-x-Diagramm ...	39
Abbildung 24: Vergleich der Entfechtungskapazitäten	42
Abbildung 25: Probleme in Bezug auf die Dichtheit des Gebäudes	44
Abbildung 26: Probleme in Bezug auf die Dichtheit (Wasserradeinhausungen).....	44
Abbildung 27: Der Entfeuchtungsprozess im h-x-Diagramm.....	50
Abbildung 28: Mögliche Aufstellungsvariante (hier ohne Anschlüsse).....	51
Abbildung 29: Abmessungen und Anschlussmaße MLT 1400	52
Abbildung 30: Anschlussmaße für Saugseite Regenerationsluft	54

Tabelle 1: Sollwerte für relative Feuchte und Temperatur zur Holzaufbewahrung ...	12
Tabelle 2: Wachstumsbedingungen für auftretende Pilze	15
Tabelle 3: Übersicht über die durchgeführten Messungen	21
Tabelle 4: Anbringung der Datenlogger	23
Tabelle 5: Messwerte und Ergebnisse der Volumenstromermittlung.....	25
Tabelle 6: Betrachtung der möglichen Konzepte zur Gebäudeklimatisierung.....	34
Tabelle 7: Auslegungsparameter zur Entfeuchtung	40
Tabelle 8: Technische Daten des Modells ML 690.....	40
Tabelle 9: Technische Daten des Modells MLT 1400	41
Tabelle 10: Vor- und Nachteile des MLT 1400 gegenüber dem ML 690:	41

Verwendete Zeichen und Symbole

Griechische Symbole

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$\rho_{w,Gebäude}$	absolute Luftfeuchte im Gebäude	g/kg
$\rho_{w,entfeuchtet}$	absolute Luftfeuchte der entfeuchteten Prozessluft	g/kg
$\rho_{w,aussen}$	absolute Luftfeuchte der Außenumgebung	g/kg
$\rho_{w,Abluft}$	absolute Luftfeuchte der Regenerationsabluft	g/kg
ρ_w	Absolute Luftfeuchte	g/kg
ρ_{Luft}	Dichte der Luft	kg/m ³
$\Delta\rho_{w,Abluft}$	Erhöhung der abs. Luftfeuchte der Regenerationsluft	g/kg
ΔT_{Abluft}	Temperaturerhöhung der Abluft	K
ΔT	Temperaturdifferenz	K

Lateinische Symbole

Symbol	Bezeichnung	Einheit
V	Volumen	l; m ³
t	Zeit	s
q_v	spez. Verdampfungswärme	kJ/kg
$p_{D,W}$	Dampfdruck des Wasserdampfes	Pa
p_D	Partialdruck des Wasserdampfes	Pa
m_W	Masse des dampfförmigen Wassers	g
m_L	Masse der trockenen Luft	kg
\dot{Q}_{Heiz}	Wärmeenergieeintrag über dem Heizelement	kJ/h
$c_{pWasser}$	spezifische Wärmekapazität von Wasser	kJ/kg*K
c_{pLuft}	spezifische Wärmekapazität von Luft	kJ/kg*K
c	Entfeuchtungskapazität	kg/h
\dot{Q}_{Abluft}	aufgenommene Wärmeenergie der Abluft	kJ/h
φ	relative Luftfeuchtigkeit	%rF
\dot{Q}	Wärmeenergiestrom	kJ/h
\dot{V}	Volumenstrom	l/s; l/h; m ³ /h
\dot{m}	Massenstrom	kg/h
\dot{Q}_v	Kondensationswärmestrom	kJ/h

0 Einleitung

An der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft in Berlin wird zur Zeit im Rahmen einer Diplomarbeit im Fachbereich 5, Restaurierung und Grabungstechnik, an einem Erhaltungskonzept für eine denkmalgeschützte Hammerschmiede in Norwegen gearbeitet /1/.

Teil dieses Konzeptes ist die Erarbeitung von Vorschlägen für eine Klimatisierung, mit welcher das Baudenkmal nach der Durchführung von Restaurierungsarbeiten dauerhaft geschützt und stabilisiert werden kann. Zur Lösung dieser Aufgabenstellung entstand eine Zusammenarbeit mit dem Fachbereich 2 Umweltverfahrenstechnik.

Drei Studenten des siebten Fachsemester übernahmen diese Aufgabe im Rahmen einer Kombinationsveranstaltung der Fächer *Diplomandenseminar* und *Entwerfen*.

Zur Verwirklichung des Projektes wurde vom Fachbereich 5 in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum Präventiver Umweltschutz der FHTW-Berlin ein einwöchiger Aufenthalt in Norwegen ermöglicht, um über die besonderen Gegebenheiten zu recherchieren, und durch eine umfassende Messwertaufnahme eine Grundlage für die Konzeptentwicklung zu schaffen.

Der vorliegende Bericht beinhaltet die Arbeit der Studenten. Neben den Recherchen und Messungen, die vor Ort durchgeführt wurden, enthält der Bericht auch die Konzeption zur Klimatisierung und die bei der Realisierung notwendigen baulichen Veränderungen am Gebäude.

1 Präzisierung der Aufgabenstellung

Für die Veranstaltungen *Diplomandenseminar* und *Entwerfen* im Wintersemester 2002/03 soll im Rahmen einer Projektarbeit ein Belüftungs- und Klimatisierungskonzept für eine denkmalgeschützte Hammerschmiede in Norwegen erarbeitet werden. Es handelt sich um einen Holzbau in freier Natur, der den natürlichen Witterungsbedingungen im vollem Umfang ausgesetzt ist.

Bei der Konzeption ist insbesondere darauf zu achten, dass so wenig zusätzliche Einrichtungen wie möglich verwendet werden und diese denkmalverträglich zu installieren sind.

Die vorgeschlagenen Konzepte sind unter anderem hinsichtlich ihrer Kosten zu erörtern. Ein möglicher Kostenrahmen wird vom Fachbereich 5 (Restaurierung und Grabungstechnik) vorgegeben, welcher auf Machbarkeit zu prüfen ist.

Vor der Konzeptentwicklung ist eine Recherche zur denkmalgerechten Klimatisierung durchzuführen.

Das Ziel des Projektes soll die Erarbeitung eines oder mehrerer realisierbarer Vorschläge sein.

2 Theoretische Grundlagen

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung ist es notwendig, Kenntnisse über die Anforderungen an das Klima bei der Aufbewahrung von Holz in Museen zu haben.

2.1 Luftfeuchtigkeit

Luft enthält stets einen bestimmten Anteil an Wasserdampf. Die Menge an in der Luft enthaltenen Wasserdampf wird mit der absoluten Feuchte ρ_w angegeben. Die absolute Feuchte ρ_w der Luft ist das Verhältnis der Masse des dampfförmigen Wassers (m_w) zur Masse der trockenen Luft (m_L). Dies ist in Gleichung 1 dargestellt.

$$\rho_w = \frac{m_w}{m_L} \quad (1)$$

ρ_w	= absolute Feuchte in g/kg
m_w	= Masse des dampfförmigen Wassers in g
m_L	= Masse der trockenen Luft

Das Aufnahmevermögen für Wasserdampf ist in Abhängigkeit von der Temperatur begrenzt. Man spricht von der Sättigungsgrenze, wenn der maximal mögliche Wassergehalt erreicht ist. Dies entspricht einer relativen Luftfeuchte von 100% [2].

Die relative Luftfeuchte φ bezeichnet das Verhältnis zwischen dem vorhandenen Wasserdampfgehalt feuchter Luft (Partialdruck des Wasserdampfes p_D) und dem Sättigungsgehalt (Dampfdruck des Wasserdampfes $p_{D,W}$), also dem maximal möglichen Wasserdampfgehalt bei gegebener Temperatur T (s. Gleichung 2) [2].

$$\varphi = \frac{p_D}{p_{D,W}(T)} \quad (2)$$

φ	= relative Luftfeuchtigkeit in %rF
p_D	= Partialdruck des Wasserdampfes in Pa
$p_{D,W}$	= Dampfdruck des Wasserdampfes in Pa

Da sich bei gleichem Wasserdampfgehalt in der Luft die Sättigungsmenge bei Veränderung der Temperatur ändert und damit die relative Luftfeuchtigkeit, muss immer gleichzeitig die Temperatur angegeben werden.

Der Zusammenhang zwischen absoluter Feuchte, relativer Feuchte und Temperatur wird am besten durch das Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft verdeutlicht. Es ist dem Bericht als Anlage 1 beigelegt. Das Diagramm gilt für feuchte Luft bei einem Druck von 1 bar. Auf der Abszisse ist die absolute Luftfeuchtigkeit in g/kg aufgetra-

gen und parallel dazu eine Koordinate mit dem Partialdruck des Wasserdampfes p_D in kN/m^2 . Auf der Ordinate ist die Temperatur T in $^\circ\text{C}$ aufgetragen und auf einer weiteren Ordinate, die unter einem Winkel von 135° zur Abszisse geneigt ist, die spezifische Enthalpie h in kJ/kg trockene Luft. Des Weiteren sind Linien konstanter relativer Feuchte eingezeichnet. Die Linie, welche 100% Luftfeuchte darstellt, gibt die Sättigungsgrenze an, bei deren Unterschreitung die Luft beginnt, Wasser abzugeben.

Wird feuchte Luft abgekühlt, so ändert sich der absolute Dampfgehalt nicht. Der Arbeitspunkt wandert bei zunehmender relativer Feuchte senkrecht nach unten bis zur Sättigungslinie und dann auf dieser weiter in Richtung sinkenden absoluten Wasserdampfgehalt. Gleichzeitig fällt Wasser in Form von Nebel aus.

Eine Erwärmung feuchter Luft lässt den Arbeitspunkt bei abnehmender relativer Feuchte senkrecht nach oben laufen. Die absolute Feuchte ρ_w ändert sich dabei nicht /3/.

Sorptionisothermen

Zwischen jeglicher Materie und Umgebungsluft findet ein Feuchteausgleich statt. Wasser verdunstet aus der Materie oder wird von dieser aufgenommen. Die Richtung des Austausches von Wasserdampf wird immer durch den Dampfdruck der beteiligten Substanzen bestimmt.

Da sich die für den Wassergehalt üblichen Prozentangaben immer auf das Gewicht der Luft bzw. Materie beziehen, wird verständlich, dass Stoffe mit einem verhältnismäßig höherem Wassergehalt aus der Umgebungsluft mit wesentlich niedrigerer relativer Feuchte noch zusätzlich Feuchtigkeit aufnehmen.

Zur Veranschaulichung gibt es für die verschiedenen Materialien Sorptionisothermen (siehe Abbildung 1). Sie geben die Gleichgewichtszustände an, d.h. dass die Materie unterhalb ihrer Kurve noch Wasser aufnehmen, darüber aber Feuchtigkeit abgeben /2/.

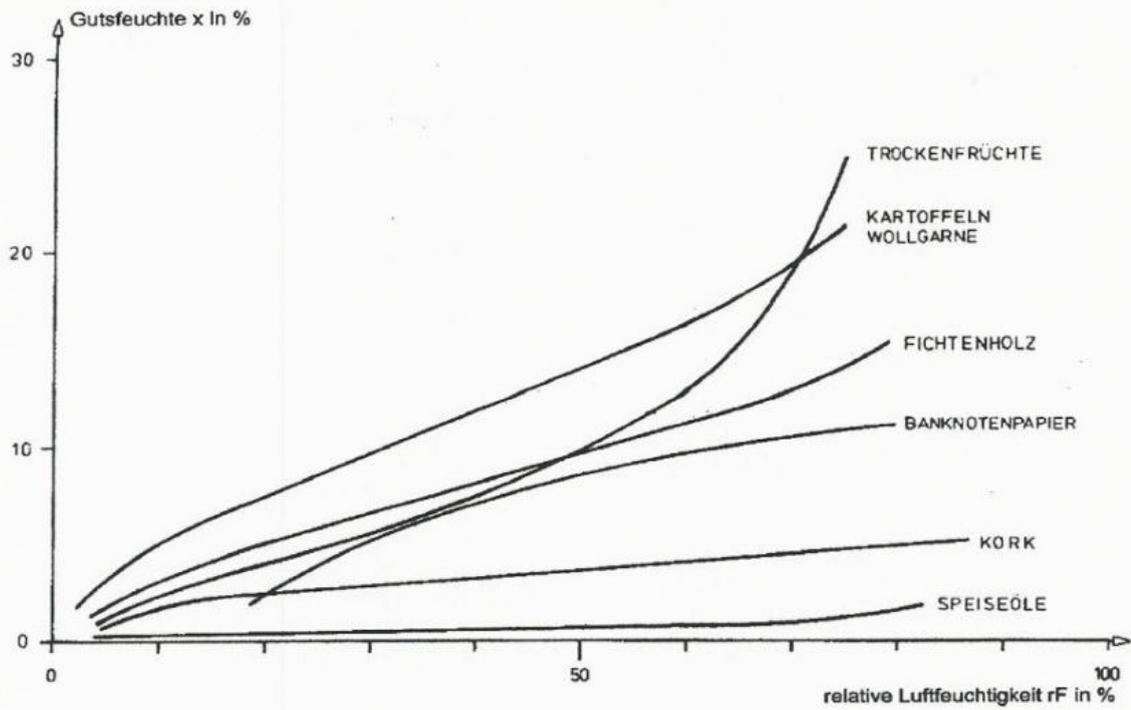


Abbildung 1: Sorptionsisothermen unterschiedlicher Materialien /2/

Feuchtigkeitsprobleme

Ist die Luftfeuchtigkeit in einem Gebäude zu hoch, so hat dies auf das Gebäude selbst und das Inventar je nach seiner Substanzart unterschiedliche, meist negative Einflüsse.

2.2 Aufbewahrung von Holz in Museen

2.2.1 Allgemeine Anforderungen

Gemäß internationaler Empfehlungen wird ein Standardklima von ca. 18°C und 55 % ($\pm 5\%$) relativer Feuchte in der Museumspraxis angestrebt. Negative Wirkungen dieser Standardwerte resultieren aus einer unreflektierten Übertragung auf verschiedene Gebäude und Nutzungsintensitäten, auf unterschiedliche Klimaregionen und wechselnde Jahreszeiten. Erschwerend wirkt der Umstand, dass es bei Gebäuden älterer Bauart zu starken Speicherwirkungen in der Außenschale bei den empfohlenen relativen Feuchten im Winter und Frühjahr kommen kann. Dies hat zur Folge, dass Kondensation, physikalische Spannungen und Verformungen in der Gebäudehülle und Inventar auftreten können.

Deshalb fließen neben den internationalen Empfehlungen auch Erfahrungswerte aus dem Museumsalltag in die Erkenntnisse zur Holzaufbewahrung (Tabelle 1) mit ein /4/.

Erkenntnisse zur Holzaufbewahrung

- Durch Kurzzeitschwankungen der relativen Feuchte und Temperatur wird sofort Feuchte an der Oberfläche gebunden bzw. abgegeben. Dies kann zu Spannungen im Gefüge, Formänderungen oder Schichtablösungen führen.
- Eine elementare Voraussetzung für ein stabiles Raumklima ist die Reduzierung des Luftwechsels.
- Klimaanforderungen gelten nicht für den Mittelwert der Raumluft, sondern müssen an jeder Stelle des Objektes eingehalten werden. Wärmestrahlungen oder lokale Feuchtequellen können zu einem Mikroklima führen, das vom allgemeinen Raumklima abweicht /4/.

Tabelle 1: Sollwerte für relative Feuchte und Temperatur bei der Holzaufbewahrung /4/

Punkt	Kennwert	Sollwert
1	Änderung der rel. Feuchte während einer Stunde	$\leq 2,5\%$
2	Änderung der rel. Feuchte während eines Tages	$\leq 5\%$
3	Minimal- und Maximalwerte der rel. Feuchte während einer Woche	55% - 60%
4	Saisonales Gleiten der rel. Feuchte während eines Jahres	+5% (Sommer)...-5%(Winter) gegenüber den Wochenwerten
5	Änderung der Temperatur während einer Stunde	$\leq 1^\circ\text{C}$
6	Saisonales Gleiten der Temperatur während eines Jahres	4 – 28 °C Niedrige Temperaturen sind aus konservatorischer Sicht vorteilhaft. Die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur sollte möglichst gering sein.

2.2.2 Physik des Holzes

Holz ist ein sehr hygroskopisches Material, das seinen Feuchtegehalt an der relativen Feuchte der Umgebung ausrichtet. In genügend langen Zeiträumen strebt die Holzfeuchte bei konstanter Außenfeuchte einem Gleichswert zu. Dieser beträgt bei 0% rF natürlich ebenfalls 0% und bei 100% rF etwa 30%. Diese maximale Feuchte des Holzes wird als Fasersättigungspunkt bezeichnet. Er unterscheidet sich je nach Art und Dichte des Holzes. In Abbildung 2 wird dieser Zusammenhang schematisch dargestellt /4/.

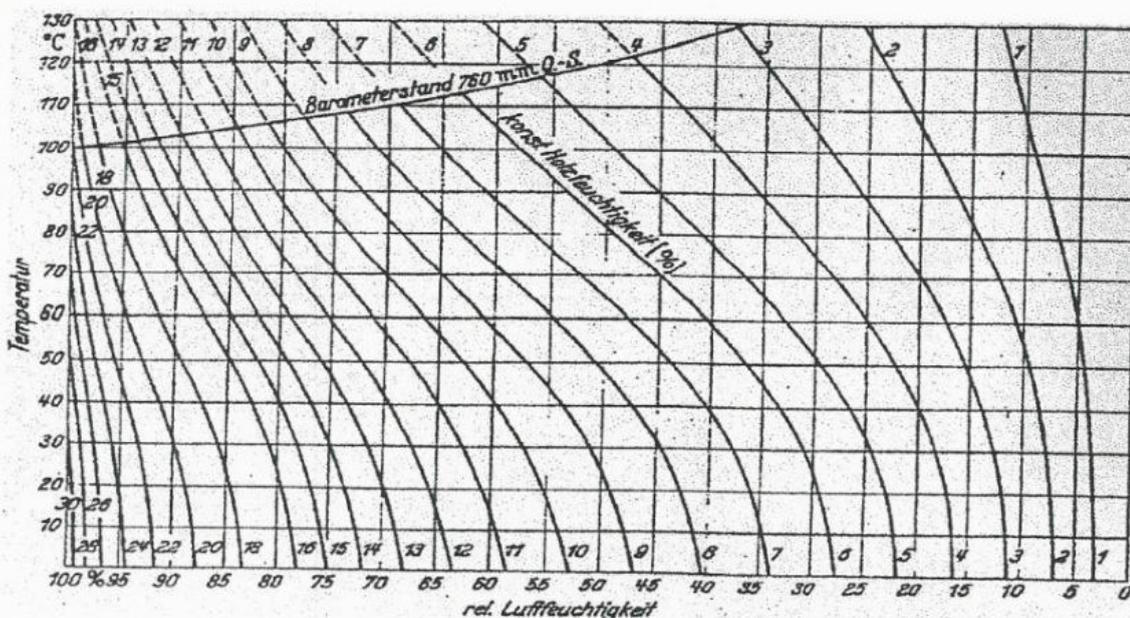


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen rel. Feuchte und Holzfeuchte (Keylwerth-Diagramm) /4/

Das aufgenommene Wasser wird in der Zellwand von den Cellulosemolekülen adsorbiert. Es lagert sich zwischen den einzelnen Celluloseketten an. Dadurch kommt es zur Quellung der einzelnen Fasern und damit auch des Holzes. Die Quellungs- werte sind nicht nur von der Holzart abhängig, sondern unterscheiden sich auch nach der Faserrichtung. Die Längsquellung (Quellung in Faserrichtung) ist im Allge- meinen am geringsten. Das liegt daran, dass die langgestreckten Celluloseketten selbst durch die Wassereinlagerung nicht verändert werden können. Dazu müssten Bindungen der Kettenglieder untereinander gebrochen werden. Der Wert der Radial- quellung, bezogen auf die Längsquellung, ist etwa 10 mal, die Tangentialquellung sogar 20 mal so groß. Diese Uneinheitlichkeit führt bei schneller Trocknung zu Ver- werfungen, Verdrillung oder Rissbildung /4/.

Die Holz Trocknung (Desorption) und Holzbefeuchtung (Adsorption) bewegen sich nicht entlang eines einheitlichen Kurvenverlaufes, sondern bilden eine Hysterese. Dies lässt sich durch die Wechselwirkung zwischen Wasser und Holzoberfläche bei der Kapillarkondensation erklären /4/.

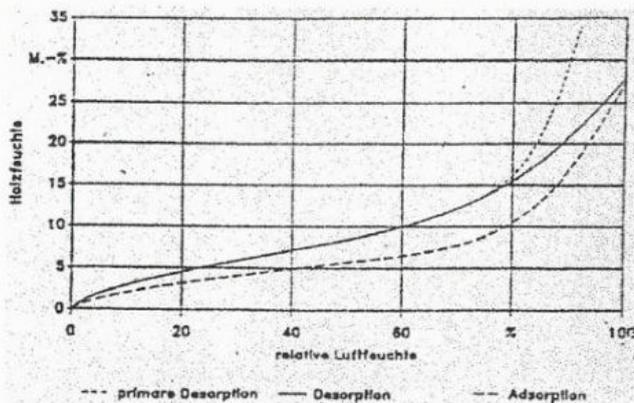


Abbildung 3: Sorptionsisotherme für Eichenholz /4/

Der s-förmige Verlauf der in Abbildung 3 dargestellten Sorptionsisotherme lässt sich auf die Verteilung der Kapillarradien zurückführen. Im fast linearen Bereich zwischen 10 und 70% rF werden die Kapillaren bei gleichmäßig ansteigendem Durchmesser gefüllt. Oberhalb 70% rF beginnt die Füllung der Kapillaren mit sehr großen Radien (Makroporen). Deren Füllung trägt schneller zum Steigen der Gesamtfeuchte bei, als die Benetzung der sehr kleinen Poren (unterhalb 10%) /4/.

2.2.3 Holzerstörende Organismen

Nicht nur klimatische Einflüsse (Temperatur, Luftfeuchte) führen zu schweren Schäden an Hölzern, sondern Holz dient auch als organischer Werkstoff für Organismen. Hierzu zählen vor allem holzerstörende Bakterien, Pilze und Insekten. Insekten zerstören vornehmlich Splint- und Frühhölzer. Holzerstörende Pilze zersetzen das Holz von außen nach innen fortschreitend, indem sie bestimmte Holzinhaltstoffe herauslösen. Im weiteren Verlauf soll die Wirkung von Pilzen näher betrachtet werden, da sie in diesem Anwendungsfall maßgebend sind.

Holzschädigende Pilze

Die in diesem Kapitel dargestellten Abbildungen stammen von Probenahmen, die während des Aufenthaltes in Naes Verk genommen wurden (s Kapitel 3.4).

Pilze sind die bedeutendsten pflanzlichen Holzschädlinge. Da sie kein Chlorophyll produzieren, sind sie nicht in der Lage, mit Hilfe des Sonnenlichts Kohlenhydrate aufzubauen. Sie können aber mit Hilfe von Enzymen Holz ihrer Wirtsorganismen für ihren eigenen Stoffwechsel nutzen. Die Fortpflanzung der Pilze geschieht sowohl geschlechtlich als auch ungeschlechtlich. Für die geschlechtliche Fortpflanzung werden Sporen gebildet (Abbildung 4) /4/.



Abbildung 4: Pilzsporen in einer Holzprobe

Aus den Sporen wachsen Fäden, die sich zu Keimschläuchen entwickeln. Diese Keimschläuche können sich beim Längenwachstum verzweigen (Abbildung 5) und mit den aus anderen Sporen hervorgegangenen Keimschläuchen zum Mycel zusammenlagern.



Abbildung 5: Verzweigter Keimschlauch

Für die Entwicklungsgeschwindigkeit ist neben einem ausreichenden Angebot an Nährstoffen und einer bestimmten Temperatur vor allem die Feuchte entscheidend. Luftfeuchtigkeiten oberhalb von 70% und die damit verbundene Holzfeuchte fördern das Wachstum von Pilzen. In Tabelle 2 sind die Wachstumsbedingungen für ausgesuchte Pilze dargestellt /4/.

Tabelle 2: Wachstumsbedingungen für auftretende Pilze /4/

Fungi	Growing Conditions				
	Temperature in °C			pH	RH %
	Min.	Max.	Optim.		
<i>Alternaria tenuis</i> <i>Alternaria alternata</i>	2-5	35	20-30	2,7-8	85-99
<i>Aspergillus amstelodami</i>	15	42	23-40		75
<i>Aspergillus flavus</i>	3-4	42-50	35-37		80-96
<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus fischeri</i> Wehmer	10-12	52-55	37-43	3-8	85-99
<i>Aspergillus niger</i>	6-8	45-47		1,5-9,8	88-98
<i>Aspergillus ochraceus</i>			28-32		80-98
<i>Aspergillus repens</i>	4-5	38-40	25-27	1,8-8,5	65-92
<i>Aspergillus ruber</i>	5	42	22-36		71-99
<i>Aspergillus versicolor</i>	3-5	37-40	25-30	3-8	75-95
<i>Aureobasidium pullulans</i> <i>Pullularia pullulans</i>	5	35	25		
<i>Botrytis cinerea</i>	2-12	33-35	22-25	2-8	93
<i>Cladosporium herbarum</i>	-7-5	30-32	24-25	3,1-7,7	85-98
<i>Penicillium brevicompactum</i>	-3	32	20	2-6	83-100
<i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium notatum</i>	-3	34	18-30		82-100
<i>Penicillium frequentans</i>		35		3,8-4,4	
<i>Penicillium purpurogenum</i> <i>Wallemia sebi</i>	5	40	24-38		75-97

3 Darstellung des Ist-Zustandes

Für die Konzeption zur Klimatisierung ist es notwendig, genaue Informationen über die geographische Lage des Museums, den derzeitigen Gebäudezustand und den umgebenden Bedingungen zu haben.

Nach einer Kurzbeschreibung des Museums, folgt eine detaillierte Beschreibung des Hammergebäudes. Dabei wird vor allem auf Besonderheiten, wie dem Aufbau und die Problematiken, die durch das Grundwasser und dem nahe gelegenen Fluss verursacht werden, eingegangen.

Des Weiteren werden die Tätigkeiten beschrieben, welche die Studenten vor Ort durchgeführt haben. Dazu gehört neben der umfassenden Messwertaufnahme die Durchführung von Untersuchungen, welche den baulichen Zustand des Gebäudes verdeutlichen.

3.1 Die Geschichte des Naes Verk

1574 wurde in der Nähe von Arendal das Eisenwerk Barbu errichtet, das bis ca. 1660 in Betrieb war. Als 1665 in Naes das Baaseland-Werk entstand, übernahm man viele der alten Produktionsgeräte aus Barbu.

Das Baaseland-Werk wurde 1738 in Naes Verk umbenannt.

Nach 1870 waren nur noch wenige Eisenwerke in Norwegen in Betrieb; auf Naes Verk wurde noch bis 1909 Eisenerz verhüttet. Im Jahre 1888 entstand die in Abbildung 6 dargestellte Photographie des Naes Verks. Nach 1909 stellte man die Eisenverhüttung ein. Grund waren die hohen Kosten, da mit Holzkohle gefeuert wurde. In England konnte man jedoch mit Erfindung des Bessemer-Ofens preiswert Eisen gleicher Qualität herstellen, da dort zur Feuerung Steinkohle zur Verfügung stand.

Die anderen Produktionszweige wurden weitergeführt, bis am 13. November 1959 eine große Überschwemmung bei der der Damm brach, das Werk für immer stillgelegt.

Naes Verk war nicht nur das zweitgrößte Eisenwerk des Landes, sondern auch ein äußerst vielseitiger Betrieb. Hier gab es Gießereien, ein Stahl- und ein Walzwerk, eine Hammerschmiede. Der überwiegende Teil der Beschäftigten arbeitete in der Holzkohleherstellung, im Erzabbau und im Transport. Darüber hinaus betrieb man in

Naes Forst- und Landwirtschaft, Mühlen, Holzverarbeitung, Schifffahrt und Handel. Von 1853 an war das Egeland Eisenwerk in Gjerstad ein Zweigwerk von Naes Verk /5/.

Ein Museum entsteht

Schon als 1959 der Betrieb in Naes aufhörte, kam der Gedanke auf, das Werk unter Denkmalschutz zu stellen. Das geschah im Jahre 1967. Seitdem haben die zuständigen Behörden viel investiert, um die Anlage zu sichern und Besuchern zugänglich zu machen. Seit der Eröffnung des Naes Jernverkmuseums 1993 werden hier ständig neue Attraktionen geboten /5/.

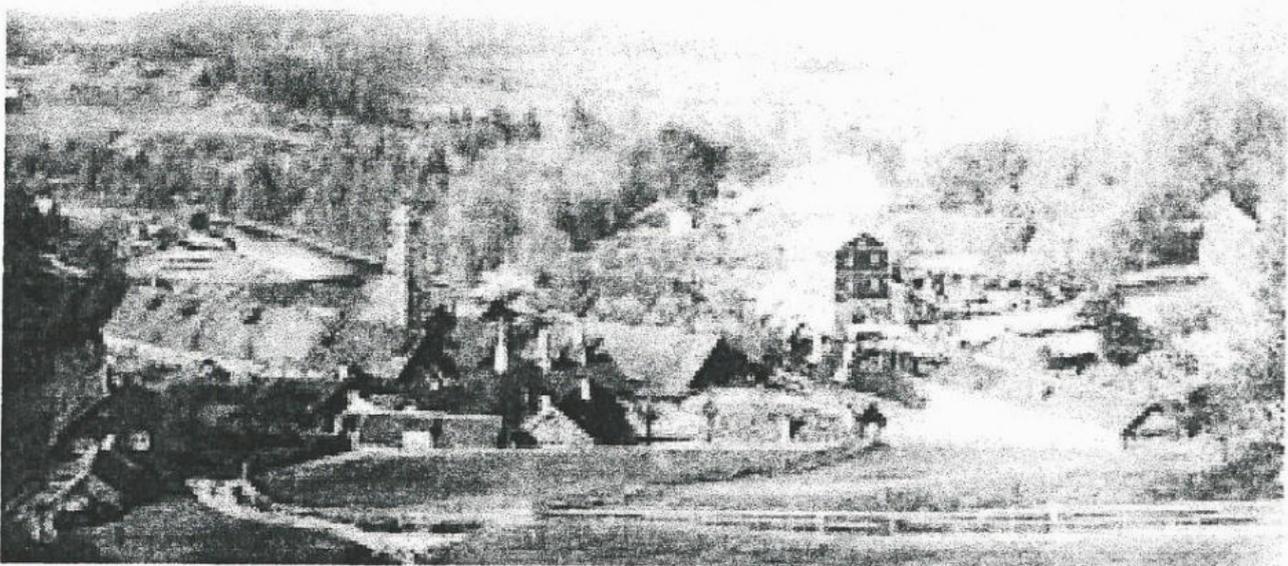


Abbildung 6: Naes Verk um 1888

3.2 Das Hammergebäude

Das Hammerwerk liegt parallel zum Flusslauf in Nord-Süd-Richtung am Ufer der „Storelva“. An seinem oberen Ende ist es zur Hälfte seiner Höhe in den Berg hinein gebaut. Das heutige Gebäude ist, da das alte durch Schneelast zerstört worden war, lediglich 32 Jahre alt. Es handelt sich um eine schlichte Holzkonstruktion (siehe Abbildung 7), die derjenigen des 1966 zerstörten Gebäudes nachempfunden ist /1/.

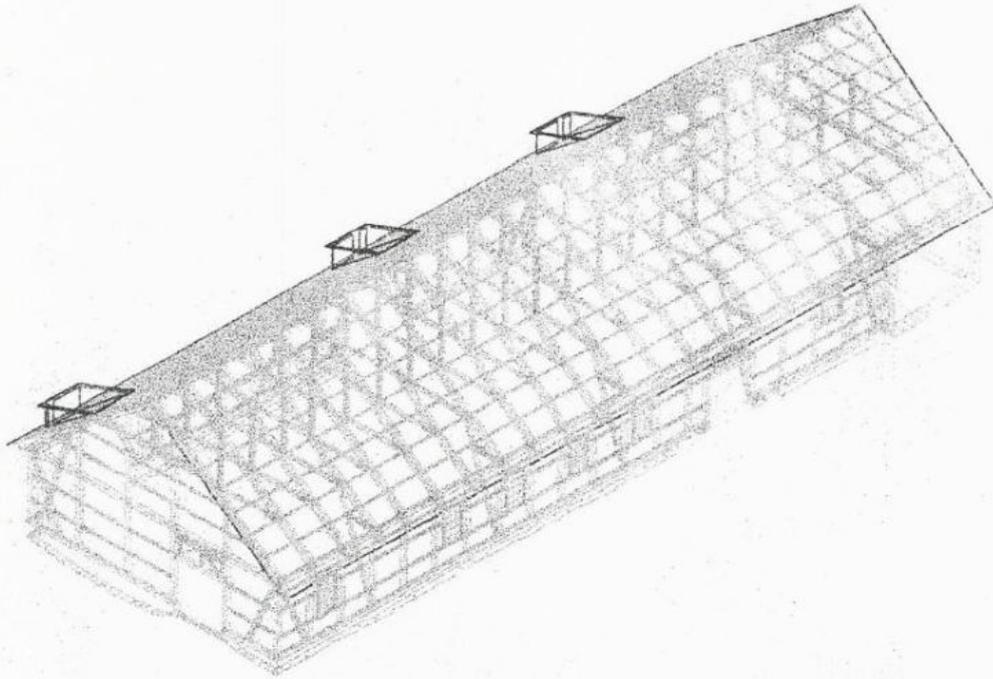


Abbildung 7: Holzkonstruktion des Hammergebäudes /1/

Das neue Gebäude unterscheidet sich von dem alten durch eine höhere, den Schneelasten angemessene, Stabilität. Das Hammerwerk stellte bis zu seiner Stilllegung 1956 u.a. hochwertige legierte Stähle für die Weiterverarbeitung, stählerne Kanonen und Granaten für die norwegische Feldartillerie her.

Im Nordwesten des Hammergebäudes befindet sich der kleinste der drei Hämmer der so genannte Schwanzhammer (Abbildung 8), mit etwa 250 kg Gewichtskraft. Er steht auf einem Schlackefundament mit einer Abdeckung aus Hölzern, diese sollen den ursprünglichen Aufbau nachempfinden.

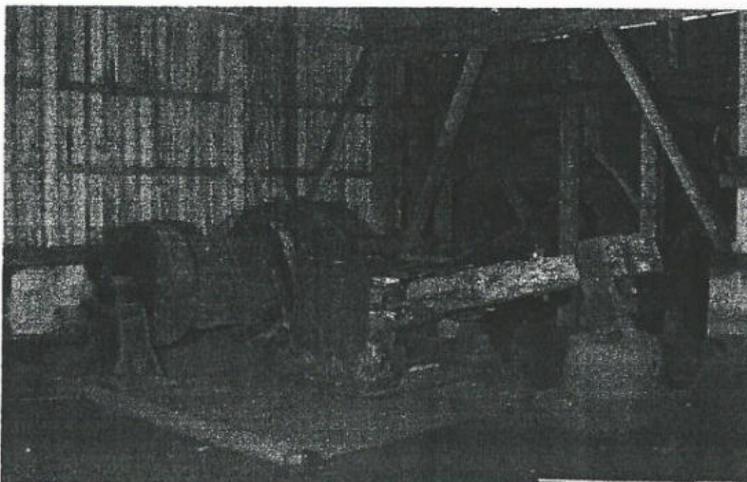


Abbildung 8: Schwanzhammer mit Wasserradeinhausung

An der Westseite des Gebäudes, mittig gelegen, befindet sich der Sinkhammer, welcher ein Gewicht von ca. 500 kg besitzt. Dieser ist in Abbildung 9 dargestellt. Das Fundament des Hammers wurde aus Eichenhölzern, die in mehreren Lagen übereinander geschichtet sind, rekonstruiert. Um die Steifigkeit und Festigkeit zu gewährleisten, erfolgte auch hier eine Verfüllung mit Schlacke.

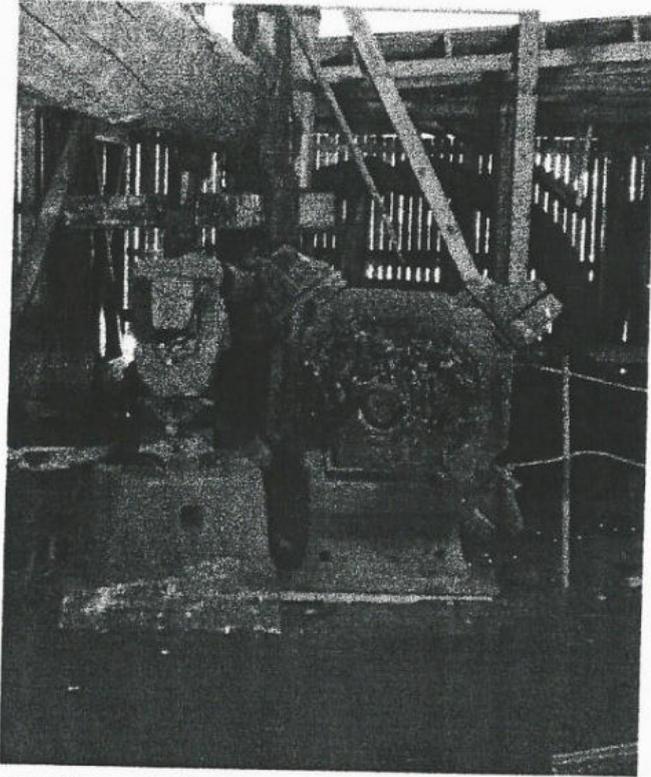


Abbildung 9: Sinkhammer mit Welle

Abbildung 10 zeigt den Storhammer. Es ist der größte Hammer Norwegens mit einer Masse von ca. 1000kg und wurde vor allem für das Schmieden von Geschützen genutzt /1/. Er befindet sich direkt neben dem Sinkhammer an der Westseite des Hammerwerkes. Die Wasserräder beider Hämmer sind in einer Einhausung untergebracht. Im Zuge der Sanierung der Fundamente 1989 erfolgte auch eine Rekonstruktion des Storhammerfundamentes. Dessen Aufbau ist ähnlich dem des Sinkhammers, nur mit einer abschließenden Holzabdeckung.

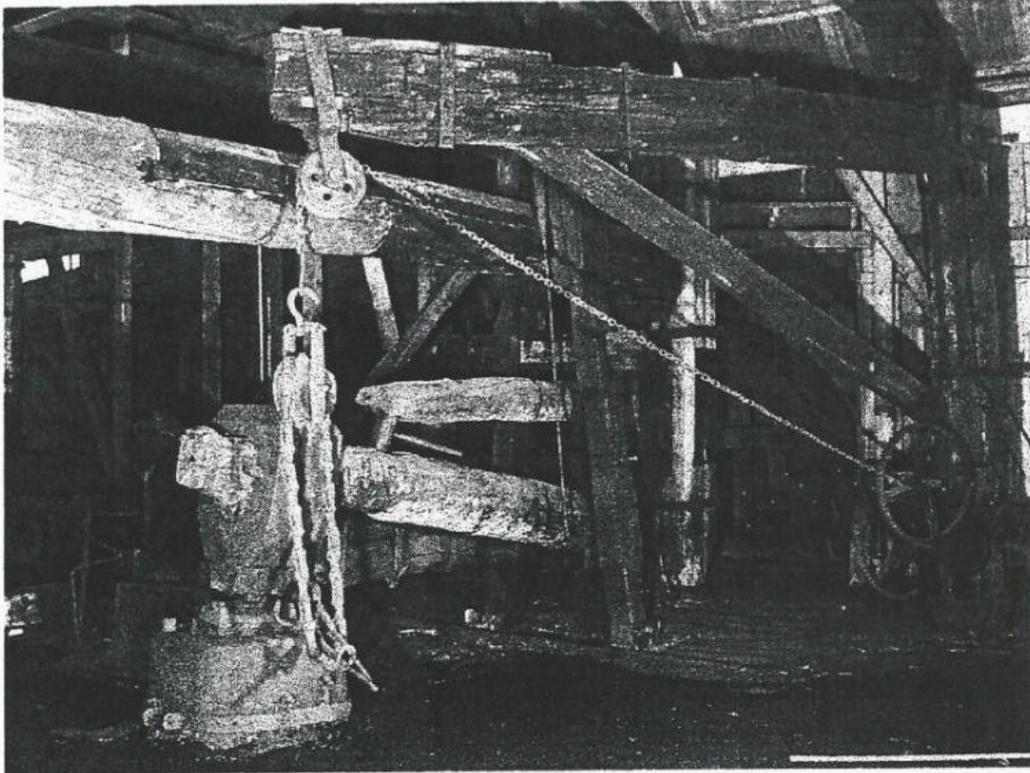


Abbildung 10: Storhammer mit Fundamentabdeckung

An der Nordseite des Hammerwerkes befindet sich ein großer Glühofen, welcher zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht rekonstruiert wurde. Der Glühofen weist starke Verwitterungserscheinungen auf und ist sehr instabil.

Das Gebäude verfügt über ein Satteldach mit einer Neigung von 45°. Die Dachkonstruktion ist als Holzbalkendach ausgeführt und mit roten Dachziegeln bedeckt. An der westlichen Seite befinden sich drei kleine Gauben, die an der Wasserführung für die Wasserräder münden.

Die Wände sind als einfache Ständerkonstruktion ausgeführt. Diese ist in einem Betonfundament mit einer Tiefe von ca. 1m eingelassen. Die Wand, die in den Hang hinein gebauten nördlichen Giebelseite, und die oberen etwa vier Meter der Ostwand sind aus Fels- und Schlackesteinen errichtet. Sie liegen auf der Außenseite fast vollständig unterhalb des Bodenniveaus. Der parallel zum Flussufer gelegenen westlichen Wand sind die beiden Wasserradeinhausungen und die Wasserführung vorge-lagert.

Das Gebäude verfügt über zwei große Flügeltore, an der Ost- und Südseite, sowie einer kleinen Tür in der Wasserradeinhausung des Sink- und Storhammers. Die meisten Fenster an der Nord- und Ostseite sind lamellenähnlich konstruiert und ver-

fügen über keine weitere Verglasung. Zwei Fenster an der Ostseite des Hammerwerkes sind einfachverglast ausgeführt.

Der Fußboden des Hammerwerkes baut sich aus Fertigungsabfällen der Eisenproduktion (Kohlestaub, Schlacke, Eisenreste usw.) auf. Er ist durch keine baulichen Maßnahmen vom Gelände abgegrenzt.

3.3 Aufnahme und Auswertung der Messwerte

Die Tätigkeiten, welche durch die Studenten vor Ort durchgeführt wurden, sind in einem Tagebuch dokumentiert worden. Dieses wurde dem Bericht als Anlage 2 beigefügt.

Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, ist vor allem die Luftfeuchtigkeit ein wichtiger Einflussfaktor für die Konservierung von Holz. Aus diesem Grund wurden die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur gemessen.

Zwei weitere zu messende Größen waren die Strömungsgeschwindigkeit und die Strömungsrichtung der Raumlufte. Diese Größen liefern Angaben über den baulichen Zustand des Gebäudes. Neben dem Feststellen von Zugluft können damit auch kritische Stellen festgestellt werden, in denen kaum Luftbewegung stattfindet.

Die für die Messungen verwendeten Geräte sind in Anlage 3 aufgelistet.

Die folgende Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Messungen.

Tabelle 3: Übersicht über die durchgeführten Messungen

Messung	Messgrößen	Ort der Messung und Anzahl der Messpunkte	Zweck der Messung	Anhang
Wochenmessung	<ul style="list-style-type: none"> - Luftdruck p in hPa - Windgeschwindigkeit v_L in m/s - relative Feuchte φ in %rF - Temperatur T in °C - Windrichtung 	<p>6 Messpunkte im Gebäude</p> <p>2 Messpunkte außerhalb des Gebäudes</p>	Feststellen des Weterinflusses auf das Gebäudeklima	<p>Skizze der Messpunkte: Anlage 4</p> <p>Messwerte: Anlage 5</p>

Detailmessung	- Temperatur T in °C - relative Feuchte φ in %rF - Strömungsgeschwindigkeit v_L in m/s	228 Messpunkte im Gebäude: an jedem Pfosten und an mehreren Punkten im Raum auf drei verschiedenen Höhen über dem Erdboden	Feststellen des Gebäudeklimas	Skizze der Messpunkte: Anlage 4 Messwerte: Anlage 6
Messung Strömungsrichtung	- Strömungsrichtung	23 Messpunkte im Gebäude: charakteristische Stellen	Feststellen der natürlichen Luftströmung	Skizze der Messpunkte mit Angabe der Strömungsrichtung: Anlage 7

Die Auswertung der Messwerte der Wochenmessung zeigt, dass das Gebäudeklima annähernd gleich dem Außenklima ist. Dies ist auf die in Kapitel 4.2 erläuterten baulichen Besonderheiten (Undichtigkeit des Gebäudes) zurückzuführen.

Dies geht auch bei der Betrachtung der Messwerte aus der Detailmessung hervor. Besonders deutlich wird dies ab Messwert 189. Hier änderten sich die Messwerte aufgrund eines Wetterumschwunges schlagartig. Die Messung wurde am nächsten Tag weiter durchgeführt. Innerhalb des Gebäudes sind keine charakteristischen Unterschiede hinsichtlich der Temperatur und relativer Feuchte festzustellen. Die Strömungsgeschwindigkeit war direkt vor Fenstern oder anderen undichten Stellen des Gebäudes etwas höher, als z.B. in den Ecken des Gebäudes.

Die Messung der Strömungsrichtung zeigte, dass die Luft über alle Undichtigkeiten in das Gebäude eindringt, nach oben aufsteigt, verwirbelt und über das Dach wieder austritt.

3.4 Durchführung weiterer Untersuchungen

Anbringen von Datenloggern

Die aufgenommenen Messwerte liefern eine Momentaufnahme des Gebäudeklimas. Um ein Raumklimaprofil erstellen zu können, müssen die Werte der relativen Feuchte und Temperatur über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Zu diesem Zweck wurden im Hammergebäude neun Datenlogger des Typs „testo 171“ und

„testo 175“ angebracht, welche über 90 Tage stündlich die Werte messen und speichern. Der Speicher wird dann mit Hilfe eines Computerprogramms ausgelesen und die Messwerte können beliebig weiter verarbeitet und dargestellt werden.

Das Anbringen der Datenlogger erfolgte an charakteristischen Stellen des Gebäudes, die sich aus der Messwertaufnahme der Luftfeuchtigkeit und Temperatur ergaben. In Anlage 7 sind die Stellen angegeben. Die folgende Tabelle 4 beschreibt den Aufstellungsort der Messgeräte und den erhofften Nutzen der so gewonnenen Daten.

Tabelle 4: Anbringung der Datenlogger

Gerätenummer	Anbringung	Zweck
I	<ul style="list-style-type: none"> - außen am Gebäude - H = 1,7 m (Höhe über dem Boden) - unter dem Dachbalken (zum Schutz vor Regen) 	<ul style="list-style-type: none"> - Vergleich des Raumklimas mit Wetterdaten
II	<ul style="list-style-type: none"> - im Holzschrank - H = 1,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> - kritische Stelle, da hier kaum Luftaustausch statt findet
III	<ul style="list-style-type: none"> - an der Steinmauer, unter dem Glühofen - H = 1,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> - kritische Stelle, da Wasser über die Steinmauer eindringt
IV	<ul style="list-style-type: none"> - an Holzpfeilen - H = 1,8 m 	<ul style="list-style-type: none"> - kritische Stelle, da Zersetzung des Balkens schon weit fortgeschritten ist
V	<ul style="list-style-type: none"> - zwischen den Wasserrädern des Sink- und Storehammers - am Holzbalken - H = 0 m 	<ul style="list-style-type: none"> - liefert Kenntnis über Luftfeuchtigkeit direkt an den Hämmern und den Wasserradeinhausungen
VI	<ul style="list-style-type: none"> - unter dem Sinkhammer - H = 0,4 m 	<ul style="list-style-type: none"> - liefert Kenntnis über Luftfeuchtigkeit direkt an den Hämmern und Wasserradeinhausungen
VII	<ul style="list-style-type: none"> - am Holzpfeile neben dem Ofen - H = 1,8 m 	<ul style="list-style-type: none"> - liefert Kenntnis über das Raumklima an einer Stelle mit hohem Luftaustausch
VIII	<ul style="list-style-type: none"> - am Holzpfeile neben dem Schwanzhammer - H = 1,8 m 	<ul style="list-style-type: none"> - liefert Kenntnis über die Luftfeuchtigkeit direkt an den Hämmern und den Wasserradeinhausungen
IX	<ul style="list-style-type: none"> - am neunten Holzbalken von Süd aus gezählt - H = 6.55m (Traufenhöhe) 	<ul style="list-style-type: none"> - liefert Kenntnis über das Raumklima im Dach des Gebäudes

Mikrobiologische Untersuchungen

Um Kenntnis über die vorhandenen Mikroorganismen und Kleinstlebewesen zu erhalten, wurden an verschiedenen Stellen im Gebäude Proben genommen. Dazu wurden Klebestreifen auf insgesamt 19 zu beprobende Stellen gedrückt und dann zum Transport in leere, sterile Petrischalen geklebt. Die ausgewählten Stellen sind in die Skizze in Anlage 7 eingetragen und in Anlage 8 genauer beschrieben.

Da die mikrobiologischen Untersuchungen nicht Hauptgegenstand der Aufgabe der Studenten ist, wurden nur einige charakteristische Proben ausgewertet (Abbildung 4 und 5). Der Vollständigkeit halber ist eine kurze Auswertung als Anlage 8 beigefügt.

Volumenstrombestimmung des Quellwassers

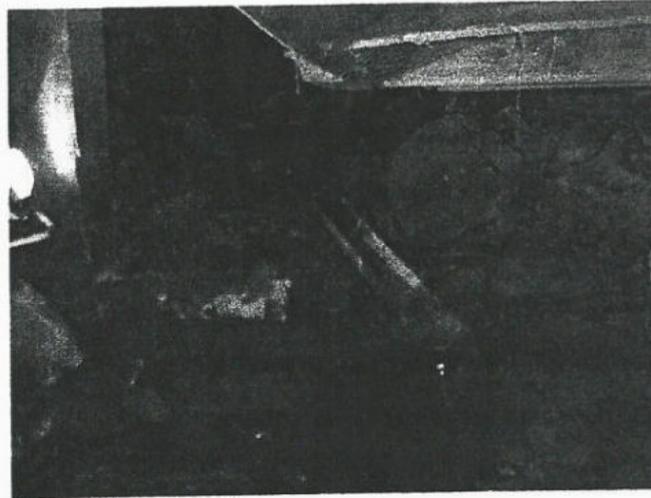


Abbildung 11: Stauwasser in der Wasserradeinhausung

In den Wasserradeinhausungen des Sink- und Storhammers steht Wasser, welches über einen schmalen Kanal mit dem Fluss verbunden ist (s. Abbildung 11). Es stellte sich die Frage, ob es sich dabei um unter dem Haus durchfließendes Quellwasser handelt, welches sich an dieser tiefsten Stelle sammelt oder ob Flusswasser von außen eindringt. Um der Ursache auf den Grund zu gehen, wurde das Loch leergepumpt. Dabei verringerte sich auch der

Wasserstand des Kanals. Um weiter zufließendes Wasser abzuleiten, wurde versucht, den Kanal von störendem Schlamm und Steinen zu befreien.

Dabei zeigte sich, dass unter dem Fundament des Sinkhammers stetig Quellwasser, ein Rinnsaal bildend, austrat. Um eine Aussage über die Menge an Quellwasser machen zu können wurde eine provisorische Volumenstrommessung durchgeführt. Dazu wurde das Rinnsaal über eine Regenrinne in einen Messbecher geführt und die benötigte Zeit, um den Messbecher zu füllen, gemessen. Der „Messstand“ ist in Abbildung 12 zu sehen.



**Abbildung 12: „Messtand“ zur
Volumenstrombestimmung**

Dabei wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Messwerte aufgenommen und folgende Volumenströme ermittelt:

Tabelle 5: Messwerte und Ergebnisse der Volumenstromermittlung

Messung	V (l)	t (s)	\dot{V} (l/s)	\dot{V} (l/h)
1	1	18,4	0,05	195,65
2	1	18,8	0,05	191,49
3	1	18,1	0,06	198,90
4	1	18,0	0,06	200,00
5	1	18,3	0,05	196,72
Mittelwert	1	18,3	0,05	196,51

Wenn man berücksichtigt, dass nur ca. die Hälfte des eigentlichen Wasserstroms aufgrund des improvisierten Messaufbaus über die Regenrinne geführt werden konnte, kann man von einem Volumenstrom von ca. 300 - 350 l/h ausgehen.

3.5 Kritische Bewertung des Ist-Zustandes

Anhand der Auswertung der Messergebnisse wird geschlussfolgert, dass der Einsatz einer Klimatisierung zum Schutz des Hammerwerkes notwendig ist. Um eine zweckmäßige Klimatisierung zu gewährleisten sind zuvor bauliche Veränderungen erforderlich.

4 Lösungsmöglichkeiten

4.1 Vorschläge für bauliche Veränderungen

Zum sinnvollen Einsatz einer Klimatisierung werden in den folgenden Abschnitten Vorschläge zur baulichen Veränderung der Gebäudehülle unterbreitet. Diese dienen hauptsächlich dazu, den Wasser- bzw. Feuchteeintrag zu senken und den Austausch zwischen Außenluft und Gebäudeluft weitestgehend zu unterbinden.

Folgende Vorschläge werden daher unterbreitet:

1. Entfernung aller unnötigen Materialien aus dem Gebäudeinneren. Dazu zählen u.a. verrottete Hölzer, nicht repräsentative Eisenteile und Schuttrückstände. Dies dient vor allem dazu, die Kondensationsfläche im Hammerwerk zu verringern und eine freie Luftzirkulation im Gebäude zu realisieren. Im Verlaufe der Durchführung dieser Maßnahmen sollten alle Löcher im Boden des Hammerwerkes aufgefüllt werden. Es zeigte sich, dass sich an diesen Stellen, durch die Kapillarwirkung des Bodens, Grundwasser aus einer Tiefe von 1,2 m aufsteigt.
2. Fernhalten des Regen- und Sickerwassers von der Felswand im Norden und Osten. Zu diesem Zweck muss die Felswand frei geschachtet werden. Ein Anstrich mit Teer oder Bitum ist in diesem Fall erforderlich und zwingend notwendig. Des Weiteren sollte in diesem Zuge eine Drainage in den Boden eingebracht werden. Zum Ableiten des Regenwassers von der Geländeoberfläche bei gefrorenem Boden genügt eine einfache Rinne. Für das Fernhalten des Sickerwassers sollten Drainagerohre mit einem Tiefenabstand von 1m verlegt werden (s. Abbildung 13). Zur Verfüllung dienen kleine Steine, Kies oder ähnliches. Der Abschluss der Drainagerohre erfolgt bei einer Tiefe von 30 cm unter Oberkante Fußboden des Hammerwerkes, um unnötigen Wassereintrag über den Fußboden zu vermeiden.

Das so gesammelte Wasser kann in den Fluss Storelva geleitet werden.

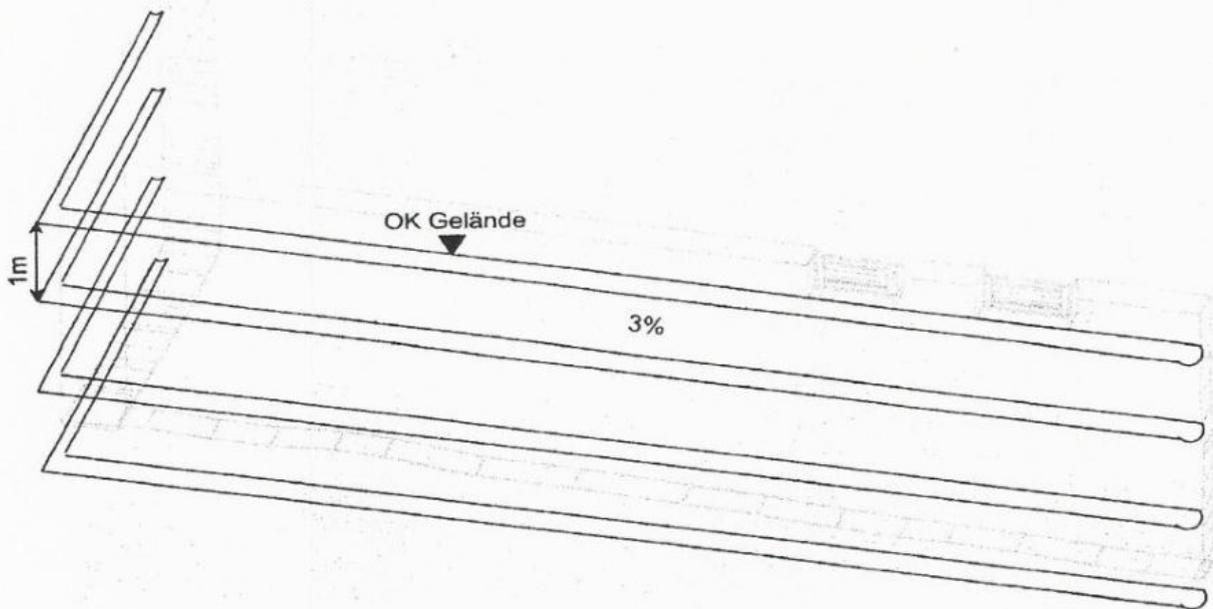


Abbildung 13: Verlegung der Drainagerohre /1/

3. Für die Fundamente der Außenwände, im Osten und Süden, wird ebenfalls ein Außenanstrich mit gleichzeitiger Verlegung von Drainagerohren empfohlen.
4. Im Verlaufe der Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Quelle, die am nahe liegenden Hügel entspringt, ihren Wasserverlauf unter dem Hammerwerk entlang nimmt und in der Wasserradeinhausung aus dem Fundament des Sinkhammers, zu Tage tritt. Dies ist in Abbildung 14 dargestellt.

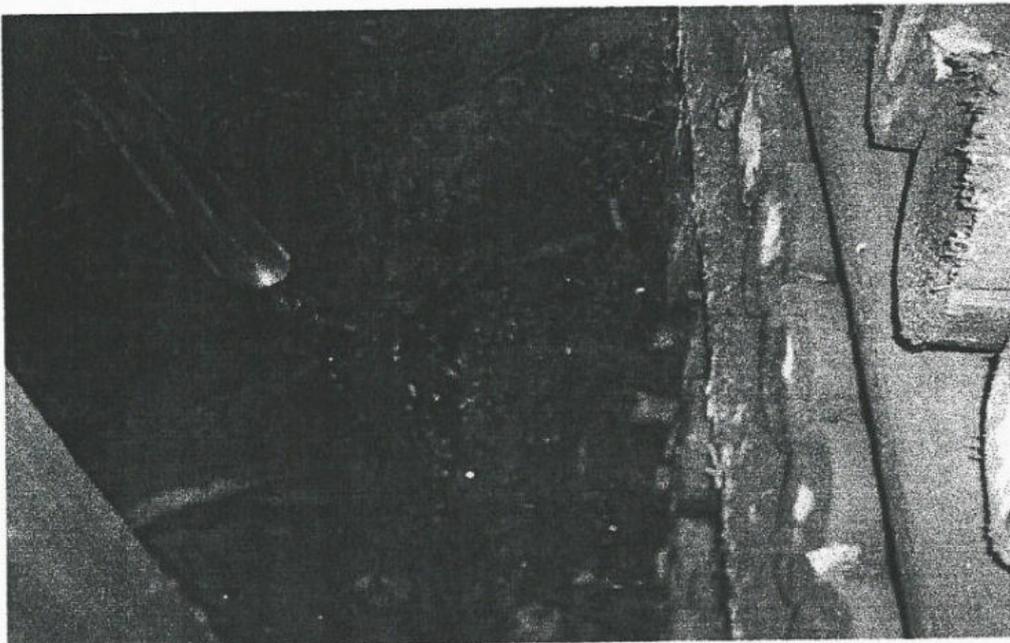


Abbildung 14: Austritt der Quelle am Sinkhammerfundament

Da eine Änderung des Wasserverlaufes nur mit sehr hohen Kosten und technischen Mitteln realisiert werden kann, wird in diesem Fall ein zügiges Ableiten des Quellwassers aus der Wasserradeinhausung angestrebt. Hierzu müssen entweder Rohre in das Fundament getrieben werden, welche dann in einem Sammelrohr münden, oder ein Sammelbehälter in den Boden der Wasserradeinhausung eingelassen werden. Dieser könnte nur mit einem hohen technischen Aufwand in der Wasserradeinhausung untergebracht werden, da dazu die Wasserräder entfernt werden müssen. Zusätzlich müsste das so aufgefangene Wasser mit Pumpen in den Fluss verbracht werden. Vorteilhafter wäre es, das natürliche Gefälle zwischen Wasserradeinhausung und Flusslauf auszunutzen und zur Unterstützung des Wasserlaufes Rohrleitungen zu installieren.

Durch diese baulichen Maßnahmen kann der Gehalt an Oberflächenwasser im Hammerwerk selbst auf ein Minimum reduziert werden.

5. Als besonders problematisch stellte sich im Laufe der Untersuchung der hohe Feuchtigkeitsgehalt des Erdbodens dar. Durch das Einbringen einer Drainageschicht in den Erdboden wird verhindert das Grundwasser in die oberste Bodenschicht steigen kann.

Dafür ist es notwendig, das gesamte Erdreich auf eine Tiefe von 0,5m abzutragen, dort dann eine Kiesschicht von 0,2m Dicke einzubringen, in die die Drainagerohre im Abstand von einem Meter verlegt werden. Anschließend wird das abgetragene Erdreich wieder aufgeschüttet. Diese Maßnahme wäre sehr kostenintensiv und ist mit dem Einsatz eines Drainagesystems an den Fundamenten (siehe Punkt 3) eventuell vermeidbar.

6. Zum jetzigen Zeitpunkt befindet sich ein ca. 0,7x1m großes Loch im Außenfundament der Wasserradeinhausung. Dieses diente als Wasserablauf aus den Wasserrädern. Zu Zeiten des Hochwassers drückt der Fluss Storelva Flusswasser in die Wasserradeinhausung. Um das zu unterbinden muss das Loch abgedichtet werden. Damit das Hammerwerk seinen Museumscharakter (Aufbau und Funktionsweise) nicht verliert, sollte das Loch nicht zugemauert werden. Vielmehr wird ein Abdichten mit einer Glas- oder Plexiglasscheibe

vorgeschlagen. Damit würde der Wasser- und Außenlufteintrag verringert werden und die Anschaulichkeit des Gebäudes bliebe erhalten.

Außerdem könnte die unter Punkt 5 erwähnte Ableitung des Quellwassers über dieses Loch erfolgen.

Über eine weitere Beräumung des Flussufers und die damit verbundene Aufschüttung des Steinwalls auf Seiten des Hammerwerks, ist nachzudenken (siehe Abbildung 15 und 16). Dieser würde schon einen Grossteil des Flusswassers vom Hammerwerk fernhalten.



Abbildung 15: Derzeitiger Flussverlauf



Abbildung 16: Flusslauf nach der Beräumung

7. Das Niederschlagswasser von den Dachflächen sollte vom Gebäude fern gehalten werden. Dazu ist es erforderlich das Wasser in das Drainagesystem (siehe Punkt 3) oder über eigene Rohrleitungen in den Fluss zu leiten. Den jetzigen Zustand der Ableitung des Niederschlagswassers gibt Abbildung 17 wieder.

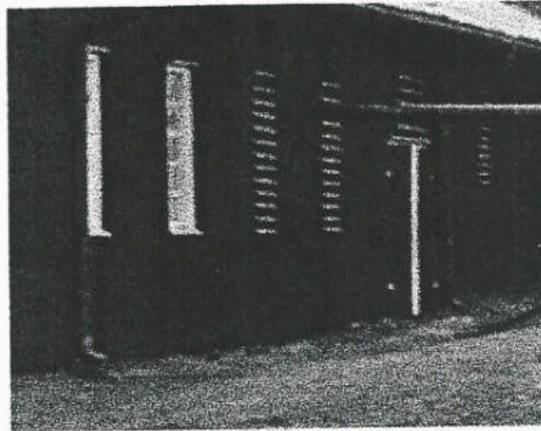


Abbildung 17: Derzeitiger Regenwasserabfluss

8. Zur Vermeidung von Stauwasser bzw. -nässe sollte die Wasserzuführung der Wasserräder mit Dachpappe, Metall, Kunststoff oder ähnlichem verkleidet werden. Damit würde ein Teil des derzeitigen Wassereintrittes über das Dach vermieden.
9. Zum Schutz der Holzkonstruktion des Gebäudes muss das Dach an den Schnittpunkten zwischen Ständerwerk, Dach, Wasserzuführung und Wasserradeinhausung abgedichtet werden. Hier empfiehlt sich der Einsatz einer Kappleiste, um das Eintreten des Wassers (s. Abbildung 18) zu verhindern.

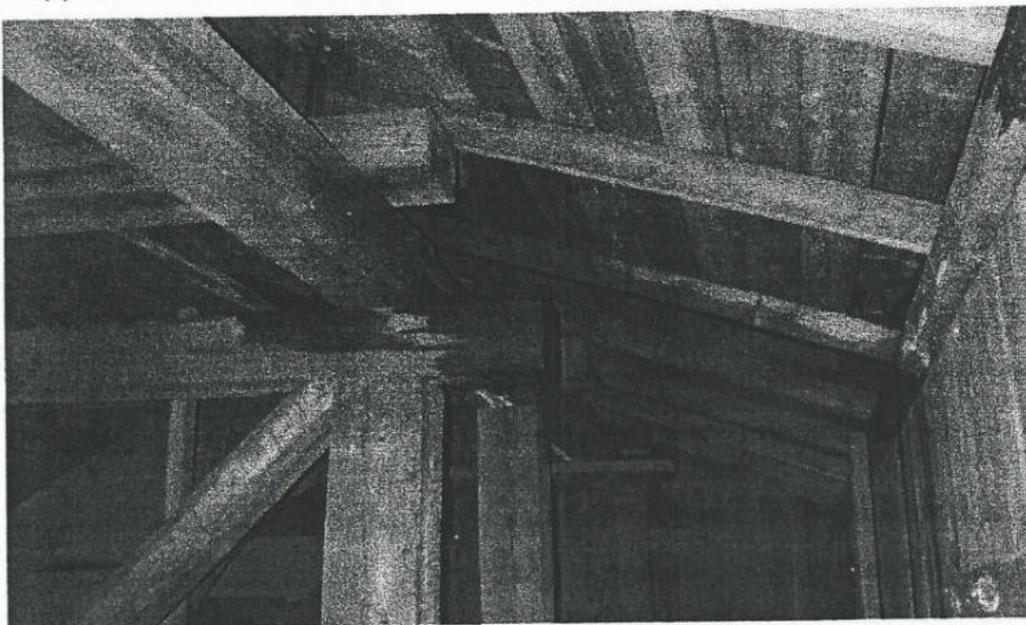


Abbildung 18: Wassereintritt am Ständerwerk

10. Um den Austausch zwischen Außenluft und Innenluft weitestgehend zu unterbinden, ist es notwendig das Spaltmaß in den Außenwänden zu verringern. In der Wasserradeinhausung treten die größten Abstände von bis zu 2cm auf (s. Abbildung 19).

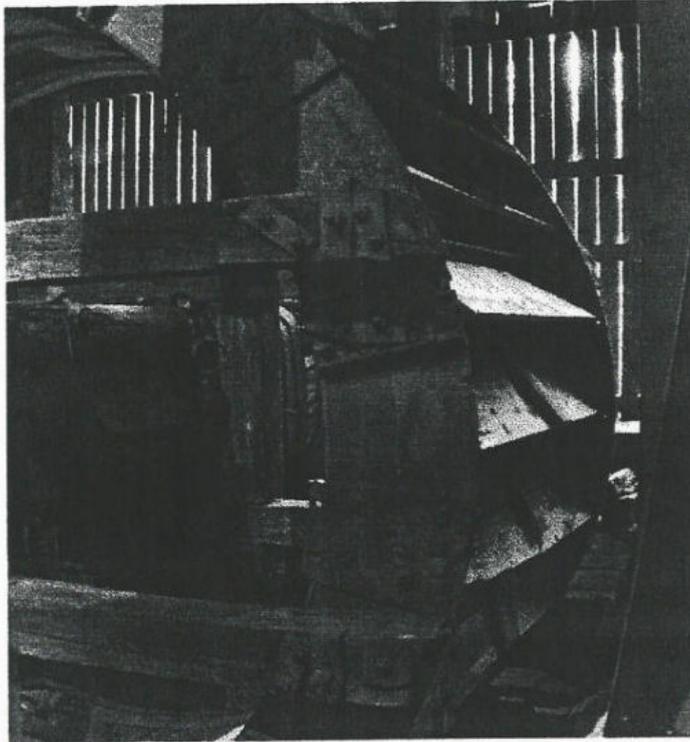


Abbildung 19: Außenwand der Wasserradeinhausung

Hierzu empfiehlt es sich, die Wasserradeinhausung neu zu verkleiden oder eine Plexiglasscheibe von innen anzubringen. Die weiteren Außenwände sollten vorerst nicht verändert werden, da hier die Spaltabstände nicht so erheblich sind. In einigen Fällen ist es jedoch erforderlich die Abstände zwischen Außenwandverkleidung und Fundament zu beheben.

11. Die Lamellenfenster an der Nord- und Ostseite müssen abgedichtet werden (s. Abbildung 20). Der Einsatz einer Einfachverglasung wird in diesem Fall als zweckmäßig erachtet. Dies dient vor allem zur Verringerung des Luftaustausches und zur Vermeidung von Wassereinträgen durch die Fenster.

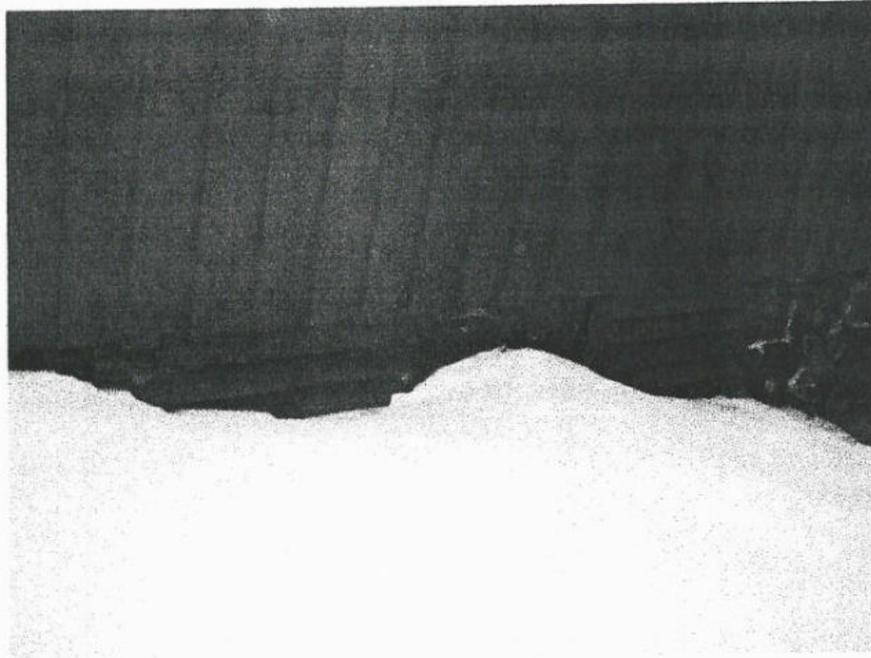


Abbildung 20: Lamellenfenster in Bodennähe

Dabei ist darauf zu achten, dass sich die Verglasung öffnen lässt, um einen eventuellen Luft- und damit verbundenen Temperatenausgleich im Sommer zu ermöglichen. Es gilt hierbei, übermäßigen Temperaturanstieg bzw. – unterschied gegenüber der Außentemperatur zu vermeiden. Sollte es dennoch durch die getroffenen Maßnahmen zu großen Temperaturunterschieden zwischen Innen- und Außenluft kommen, ist über den Einsatz einer Klimatisierungsanlage nachzudenken.

Eine weitere Alternative wäre die Umbauung des Hammerwerkes mit transparenten Bauteilen auf einem neu zu errichtenden Fundament. Das hätte den Erfolg, dass die Außenluft und das Regen- bzw. Sickerwasser vom Gebäude fern gehalten werden. Unabdingbar ist dabei aber der Aufbau einer Klimatisierung. Aus Kostengründen, restauratorischen Aspekten und Aufwand der Konstruktion sollte diese Variante erst einmal nicht in Betracht kommen.

4.2 Klimatisierungskonzepte

4.2.1 Darstellung der Konzepte

Für die Sicherung der gewünschten Klimaparameter im Gebäude kommen mehrere Konzepte in Frage:

- 1) Luftentfeuchtung und Verstärkung der vorhandenen Luftströmung
- 2) Luftentfeuchtung und Erzeugung einer zirkulierenden Luftströmung
- 3) Fußbodenheizung
- 4) Heizung (Heizkörper)
- 5) Klimatisierung mit Heizung und Entfeuchtung

Beim Konzept 1 (*Luftentfeuchtung und Verstärkung der vorhandenen Luftströmung*) wird die Luft an verschiedenen Stellen des Gebäudes durch Ventilatoren von außen angesaugt und durch den Einsatz von Entfeuchtern getrocknet. Dabei soll im Gebäude ein leichter Überdruck entstehen, welcher das kontrollierte Ansaugen der Luft durch die Ventilatoren garantiert.

Bei der Realisierung des Konzeptes 2 (*Luftentfeuchtung und Erzeugung einer zirkulierenden Luftströmung*) wird die Luft innen direkt über dem Boden durch einen oder mehrere Entfeuchter abgesaugt, getrocknet und auf Traufenhöhe wieder eingeblasen. Durch die Erzeugung eines Unterdruckes am Boden und eines Überdruckes unter dem Dach entsteht eine zirkulierende Luftströmung.

Hierfür sind jedoch bauliche Veränderungen nötig, damit die dafür notwendige Dichtigkeit des Gebäudes erreicht wird.

Durch den Einsatz einer *Fußbodenheizung* (Konzept 3) wird die Hauptquelle der hohen Luftfeuchtigkeit innerhalb des Gebäudes, dem Erdboden, beseitigt. Voraussetzung für den Einsatz ist die komplette Wärmeisolierung des Gebäudes, um eine Luftströmung zu vermeiden.

Die Luft im Gebäude wird durch die Fußbodenheizung erwärmt womit eine Absenkung der relativen Luftfeuchtigkeit einhergeht. Durch die Wärmeabgabe über die gesamte Fläche des Fußbodens entsteht eine langsame Luftbewegung, welche die Luft wegen des nur mäßig erwärmten Bodens nicht zirkulieren lässt, sondern zu einer

Luftschichtung führt. Die Fußbodenheizung kann als Warmwasser-Heizung oder als elektrische Heizung ausgelegt werden.

Die Fußbodenheizung kann dann zur Lastverteilung mit schwimmendem Estrich abgedeckt werden, auf welchen zur Erhaltung des optischen Eindrucks wieder eine Schicht des ursprünglichen Bodens aufgeschüttet wird.

Beim Einsatz von *Heizkörpern* (Konzept 4) muss das Gebäude ebenfalls wärmeisoliert werden. Durch die punktuelle Erwärmung der Luft entsteht eine zirkulierende Luftströmung, welche zur Erwärmung der Luft im Gebäude ohne Luftschichtung führt.

Eine *Klimatisierung mit Heizung und Entfeuchtung* (Konzept 5) kann wieder nur unter der Voraussetzung, dass das Gebäude wärmeisoliert wird, eingesetzt werden. Durch die Kombination von Heizung und Entfeuchtung kann beim Einsatz einer Regelung sichergestellt werden, dass die Luft im Gebäude die geforderten Feuchte- und Temperaturwerte erreicht.

In der nachfolgenden Tabelle 6 werde die Vor- und Nachteile der verschiedenen Konzepte erläutert.

Tabelle 6: Betrachtung der möglichen Konzepte zur Gebäudeklimatisierung

Konzept	Vorteile	Nachteile
1. Luftentfeuchtung und Verstärkung der vorhandenen Luftströmung	<ul style="list-style-type: none"> - Senkung der Luftfeuchtigkeit auf 60% - geringer gerätetechnischer Aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - auffällig sichtbare Technik - Veränderungen am Gebäude durch Wandöffnungen - Nur Feuchte regelbar (kein Einfluss auf die Temperatur)
2. Luftentfeuchtung und Erzeugung einer zirkulierenden Luftströmung	<ul style="list-style-type: none"> - sehr geringer gerätetechnischer Aufwand - Einsatz einer Regelung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - nur Feuchte regelbar (kein Einfluss auf Temperatur)
3. Fußbodenheizung	<ul style="list-style-type: none"> - energetischer und ökonomischer Vorteil gegenüber anderen Heizsystemen, aufgrund der geringen Heizwassertemperaturen von ca. 35 bis 45°C 	<ul style="list-style-type: none"> - Kondensation von Wasser in den oberen Luftschichten durch Abkühlung - starke bauliche Veränderungen an Gebäude und Fußboden - nur Verringerung der relativen Luftfeuchte

4. Heizkörper	- Luftzirkulation	- hoher energetischer Aufwand - Änderung des Erscheinungsbildes - nur Verringerung der relativen Luftfeuchte
5. Klimatisierung mit Heizung und Entfeuchtung	- Einstellung von Feuchtigkeit und Temperatur durch Regelung möglich	- hohe Kosten - starke Veränderung am Gebäude durch Wärmeisolierung und Gerätetechnik

4.2.2 Kritische Betrachtung der Konzepte

Konzept 1:

Dieses Konzept ist für den geforderten Einsatzfall nicht geeignet. Die Luftfeuchtigkeit der Außenluft beträgt in der Region im Jahresmittel rund 70-75% /6/.

Bei einem Ansaugen von Außenluft würde zusätzliche Feuchte in das Gebäude eingetragen werden. Dies hätte zur Folge, dass die Entfeuchtungsanlage dementsprechend groß dimensioniert werden müsste.

Konzept 2:

Dieses Konzept ist ähnlich dem Konzept 1, jedoch wird in diesem Fall eine Luftzirkulation innerhalb des Gebäudes erzeugt. Dadurch erfolgt kein weiterer Feuchteintrag von außen, wodurch der energetische Aufwand zur Entfeuchtung verringert wird.

Diese Variante ist als optimale Lösungsmöglichkeit anzusehen.

Konzept 3:

Dieses Konzept beruht auf einer Verringerung der relativen Luftfeuchte durch Temperaturerhöhung. Aufgrund der langsamen Luftströmung kommt es zu einer Luftschichtung. Durch die Abkühlung der Luft in den höheren Regionen kommt es zu einer Kondensation der Feuchtigkeit. Des Weiteren sind größere gebäudetechnische Veränderungen notwendig (Wärmeisolierung).

Aufgrund dieser Tatsachen ist der Einsatz einer Fußbodenheizung ungeeignet.

Konzept 4:

Auch bei diesem Konzept sind größere gebäudetechnische Veränderungen aufgrund der notwendigen Wärmeisolierung notwendig. Außerdem findet hier ebenfalls keine Senkung der absoluten Luftfeuchte statt. Hinzu kommt die Gefahr, dass an Stellen mit zu geringer Luftzirkulation es zu einer Unterschreitung der Taupunkttemperatur kommt (Kondensation).

Deshalb ist auch dieses Konzept als ungeeignet anzusehen.

Konzept 5:

Dieses Konzept ist eine Zusammenführung der Konzepte 2 und 4. In Bezug auf eine Klimatisierung ist diese Möglichkeit als optimale Lösung anzusehen, jedoch würden die gebäudetechnischen Veränderungen (Wärmeisolierung) das Erscheinungsbild zu stark verändern. Dies ist aus Denkmalschutzgründen nicht zulässig.

Daher muss dieses Konzept als nicht umsetzbar angesehen werden.

5 Darstellung der optimalen Variante

Als optimale Lösung zur Klimatisierung der Hammerschmiede wurde in Kapitel 4.2.2 die Klimatisierung mittels Luftentfeuchter erarbeitet.

Dabei kann die Luftentfeuchtung mit Hilfe von zwei verschiedenen Technologien erfolgen:

- Kondensationsentfeuchtung
- Sorptionsentfeuchtung

Im Folgenden sollen beide Verfahren kurz erläutert werden.

Kondensationsentfeuchter

Bei dieser Variante wird die Raumluft zunächst angesaugt und durch einen Filter entstaubt. Danach gelangt die Luft in einen Verdampfer, wo sie unter den Taupunkt abgekühlt wird, wobei der in der Luft enthaltene Wasserdampf kondensiert, gesammelt und abgeführt wird. Anschließend strömt die Luft durch einen Kondensator, wird dort erwärmt und mittels Ventilator wieder in der Raum geleitet (Abbildung 21) /8/.

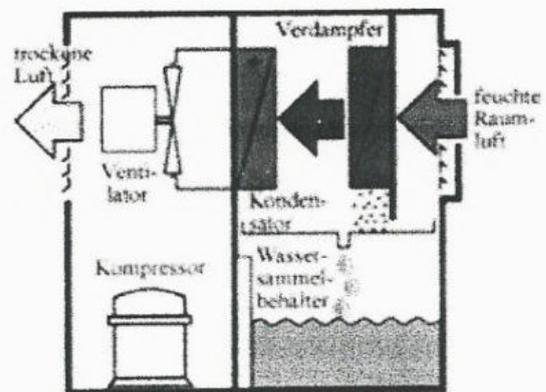


Abbildung 21: Funktionsprinzip eines Kondensationsentfeuchters /7/

Sorptionsentfeuchter

Hauptbestandteil dieser Apparatur ist der Sorptionsrotor (s. Abbildung 22). Für diesen Einsatzfall ist ein Kieselgelrotor vorzusehen. Dieser besteht zu 80% aus aktivem Silicagel /9/.

Der Feuchtigkeitsaustausch erfolgt in dem langsam drehenden Sorptionsrotor, der eine axial verlaufende Wabenstruktur besitzt, die von der zu entfeuchtenden Luft laminar durchströmt wird. Dies hat den Vorteil, dass die Reibungsverluste dabei sehr

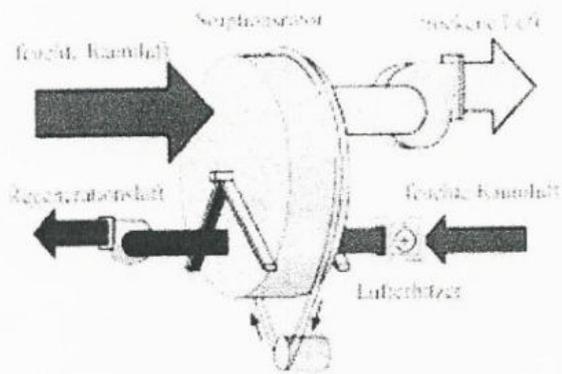


Abbildung 22: Funktionsprinzip der Sorptionsentfeuchtung /7/

gering gehalten werden. Auf Grund des extrem niedrigen Wasserdampf-Partialdruckes über dem Sorptionsmittel kommt es zu einem Feuchtigkeitsaustausch zwischen der Umgebungsluft und dem Sorptionsmittel. Die vom Sorptionsrotor aufgenommene Feuchtigkeit wird durch einen separaten, im Gegenstrom geführten, erhitzten Luftstrom wieder ausgetrieben. Der Rotorteil ist damit rege-

neriert und kann erneut Feuchtigkeit aufnehmen /10/.

Da diese beiden Vorgänge parallel nebeneinander in getrennten Luftströmen ablaufen, kann die Entfeuchtung kontinuierlich ablaufen.

Die Gegenstromführung bei der Regenerierung hat nebenher sogar noch den Vorteil, dass ein Selbstreinigungseffekt eintritt. D.h., dass die Stirnseiten des Rotors von Verunreinigungen aus der Prozessluft gereinigt werden /10/.

Vergleich der beiden Methoden und Überprüfung des Einsatzes

Vergleicht man die beiden Verfahren, so erkennt man deutlich die Vorteile der Sorptionstrocknung (s. Abbildung 23). Dieses Verfahren ist bei fast allen in der Praxis vorkommenden Anwendungsfällen einsetzbar (gelb markiert). Unabhängig von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit wird bei der Sorptionstrocknung extrem entfeuchtete Luft produziert, die unter allen Umgebungsbedingungen gleichmäßig gute Ergebnisse bringt. Kältetrockner können nicht in einem so weiten Temperaturbereich eingesetzt werden (blau markiert), bieten jedoch unter bestimmten Bedingungen den Vorteil eines sehr wirtschaftlichen Einsatzes. Den Nachteil der geringeren Entfeuchtungsleistung pro Volumeneinheit kompensieren sie durch höheren Luftdurchsatz /7/.

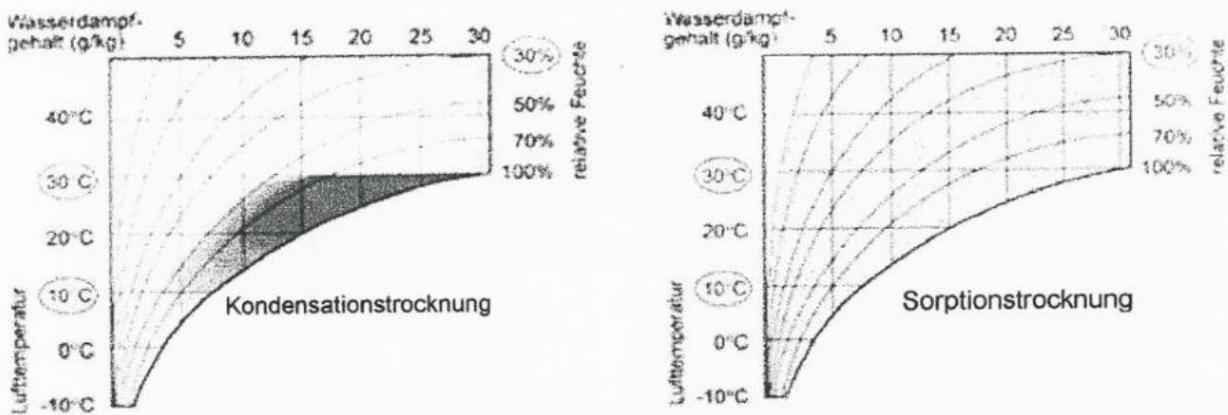


Abbildung 23: Vergleich der Arbeitsbereiche beider Verfahren im h-x-Diagramm [7]

In Bezug auf diesen Einsatzfall muss die Kondensationstrocknung als nicht brauchbar angesehen werden, da der Arbeitstemperaturbereich der Aggregate bei Außentemperaturen von 3 – 30°C liegt. Die Anlage soll jedoch ganzjährig betrieben werden.

Deshalb ist der Einsatz eines **Sorptionstrockners** zu empfehlen.

5.1 Auslegung und bauliche Ausführung

Die meisten Ergebnisse dieses Abschnittes resultieren auf Ergebnissen aus einem Gespräch mit Herrn Rainer Bloch der Firma Munters GmbH vom 28.01.2003.

Ein Teil der Festlegungen basieren auf Erfahrungswerten, so dass eine Herleitung dieser nicht möglich ist.

5.1.1 Auslegung

Für die Auslegung des Sorptionstrockners sind folgende Parameter notwendig:

- Das dimensionierende Klima des Ortes.
- Die Stelle des Lagerraumes im Gelände. Steht es offen oder geschützt?
- Gebäudetyp und besonders wichtig: die Dichtheit des Gebäudes.
- Wieviel feuchte Luft dringt über Tore und Türen hinein?
- Die Art des gelagerten Produktes.

Für unseren Einsatzfall wurden folgende Festlegungen getroffen (Tabelle 7):

Tabelle 7: Auslegungsparameter zur Entfeuchtung

Parameter	Bezogen auf Einsatzort
Gebäudeverwendung	Holzlagerstätte
Belüftungsmodell	Umluftbetrieb
Einsatzperiode	Ganzjährig
Einsatzort / Klimatische Verhältnisse	Oslo (Norwegen)
Verwendeter Heizungstyp	keine Heizung
Geforderte relative Feuchte	60%
Gebäudeabmessungen (L x B x H) → Raumvolumen	35m x 12m x 6,55m → 2751m ³
Raumdichtheit	0,3
Zusätzliche Feuchtigkeitsbeladung	2 kg _{Wasser} /h

Mit Hilfe eines von Firma Munters entwickelten Berechnungsprogrammes (Drysize Version 2002) kann unter Berücksichtigung der oben angeführten Parameter eine Auslegung des Sorptionsentfeuchters erfolgen.

Ergebnis dieser Berechnung ist die Empfehlung, einen Sorptionsentfeuchter vom Typ **ML 690** zu verwenden. Die technischen Daten dieses Modells sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Genauere Ergebnisse sind der Anlage 9 zu entnehmen.

Tabelle 8: Technische Daten des Modells ML 690

Prozessluft (20°C / $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$)	
Nomineller Luftstrom (m ³ /s)	0,192
Nomineller Luftstrom (m ³ /h)	690
Verfügbare stat. Druck (Pa)	300
Leistung Ventilatormotor (kW)	0,55
Regenerationsluft (20°C / $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$)	
Nomineller Luftstrom (m ³ /s)	0,071
Nomineller Luftstrom (m ³ /h)	254
Verfügbare stat. Druck (Pa)	300
Leistung Ventilatormotor (kW)	0,37
Heizelement für Regenerationsluft	
Heizleistung (kW)	6,9
Sonstige techn. Daten	
Arbeitsbereich (°C)	-20 / +40

Als Alternative steht ein weiterer Sorptionsentfeuchter mit der Bezeichnung **MLT 1400** zur Verfügung. Die technischen Daten dieses Modells sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Technische Daten des Modells MLT 1400

Prozessluft (20°C / $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$)	
Nomineller Luftstrom (m^3/s)	0,388
Nomineller Luftstrom (m^3/h)	1400
Verfügbarer stat. Druck (Pa)	300
Leistung Ventilatormotor (kW)	1,1
Regenerationsluft (20°C / $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$)	
Nomineller Luftstrom (m^3/s)	0,071
Nomineller Luftstrom (m^3/h)	254
Verfügbarer stat. Druck (Pa)	300
Leistung Ventilatormotor (kW)	0,37
Heizelement für Regenerationsluft	
Heizleistung (kW)	6,9
Sonstige techn. Daten	
Arbeitsbereich (°C)	-20 / +40

Wie aus den technischen Daten ersichtlich wird, sind diese beiden Entfeuchter nahezu identisch. Der einzige Unterschied besteht darin, dass der MLT 1400 mit dem doppelten Volumenstrom an Prozessluft gegenüber dem ML 690 arbeitet.

Für weitere Informationen sind die Informationsbroschüren der Firma Munters als Anlage 10 (Datenblatt ML690) und 11 (Datenblatt MLT1400) beigelegt.

Die Vor- und Nachteile, die aus diesem Tatbestand resultieren, sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Vor- und Nachteile des MLT 1400 gegenüber dem ML 690:

Vorteile	Nachteile
- höherer Prozessluftvolumenstrom, dadurch bessere Durchlüftung	- geringere Entfeuchtungsleistung in Bezug auf die rF der Prozessluft
- höhere Entfeuchtungskapazität (Abbildung 24)	- höhere Anschlussleistung

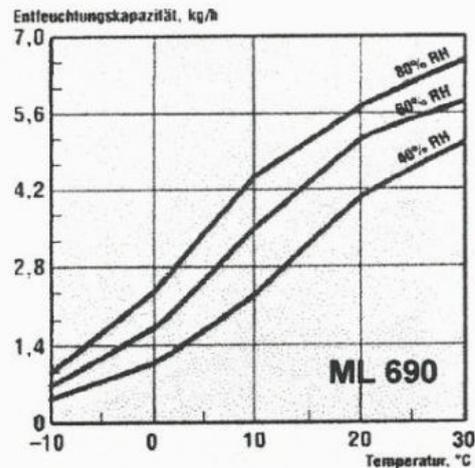
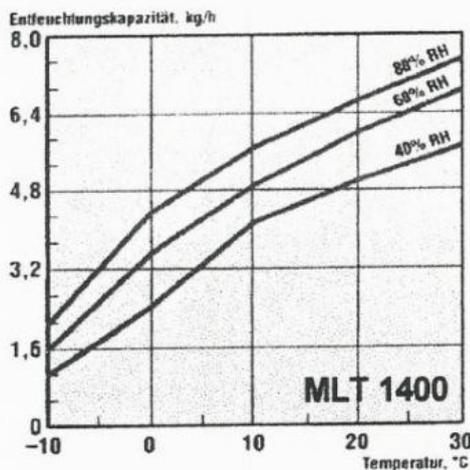


Abbildung 24: Vergleich der Entfeuchtungskapazitäten

Bei der Abschätzung der Auslegungsparameter traten schon die ersten Probleme in Bezug auf die Anwendbarkeit für diesen Einsatzfall auf.

Besonderes Augenmerk muss hierbei der Dichtheit des Gebäudes geschenkt werden. Unter Dichtheit ist hierbei zu verstehen, wie gut das Gebäude gegenüber der Außenwelt abgeschlossen ist, und wie viel Luft von außen nach innen aufgrund des Temperaturunterschiedes, sowie des Konzentrationsgefälles der Luftfeuchte eindringen kann.

Für die Auslegung des Sorptionstrockners wurde eine Luftdichtheit von 0,3 angenommen. Das bedeutet, dass nach Gleichung 3 bei einem Prozessvolumenstrom des MLT von $1400\text{m}^3/\text{h}$

$$1400\text{m}^3/\text{h} * 0,3 = 420 \underline{\text{m}^3/\text{h}} \quad (3)$$

Außenluft in das Gebäude nachströmen.

Beispiel zur Dichtheit des Gebäudes:

Festlegung: Für alle weiteren Berechnungen wird eine konstante Luftdichte von $\rho_{\text{Luft}} = 1,2\text{kg}/\text{m}^3$ angenommen.

Annahme:

$$T_a = 15\text{ }^\circ\text{C}; \quad \varphi = 80\%rF; \quad V_i = 2751\text{m}^3; \quad \dot{V}_{a-i} = 420\text{ m}^3/\text{h}$$

- absolute Luftfeuchtigkeit (ρ_w): $8,5\text{ g}/\text{kg}_{\text{Luft}}$ (aus h-x – Diagramm (Abbildung 27))

Daraus folgt für den Massenstrom von Wasserdampf in das Gebäude nach Gleichung 4:

$$\dot{m}_{\text{Wasser}} = \dot{V}_{\text{a-i}} \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot \rho_{\text{W}} = 420 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 8,5 \text{ g}/\text{kg}_{\text{Luft}} = \underline{\underline{4,284 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}}} \quad (4)$$

\dot{m}_{Wasser}	= Massenstrom Wasser in kg/h
$\dot{V}_{\text{a-i}}$	= Volumenstrom Luft von außen nach innen in m ³ /h
ρ_{Luft}	= Dichte der Luft in kg/m ³
ρ_{W}	= absolute Luftfeuchtigkeit in g/kg

Bei einer Außentemperatur von 15°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80% bedeutet das für diesen konkreten Fall eine zusätzliche Wasserdampfbeladung der Luft von 4,284 kg/h. Bei einer angenommenen Luftentfeuchtung auf 30% bedeutet dies eine Entfeuchtungsleistung von 2,68kg/h.

Dies würde bedeuten, dass bei einer maximalen Entfeuchtungsleistung des Sorptionstrockners MLT 1400 von 6,15kg_{H2O}/h (s. Abbildung 24) ca. 43,5% der Entfeuchtungsleistung dafür aufgewandt werden, die von außen nachströmende Luft zu entfeuchten.

Das Hammergebäude in seinem jetzigen Zustand erfüllt diese Parameter bei weitem nicht (siehe Beispiele Abbildung 25 und 26). Würde der Sorptionsentfeuchter nach den zurzeit bestehenden Gegebenheiten ausgelegt, müsste man mit einer Dichtheit von rd. 1,0 rechnen. Dies hätte zur Folge, dass es selbst bei maximaler Entfeuchtungsleistung sich keine Veränderungen im Raumklima ergeben würden.

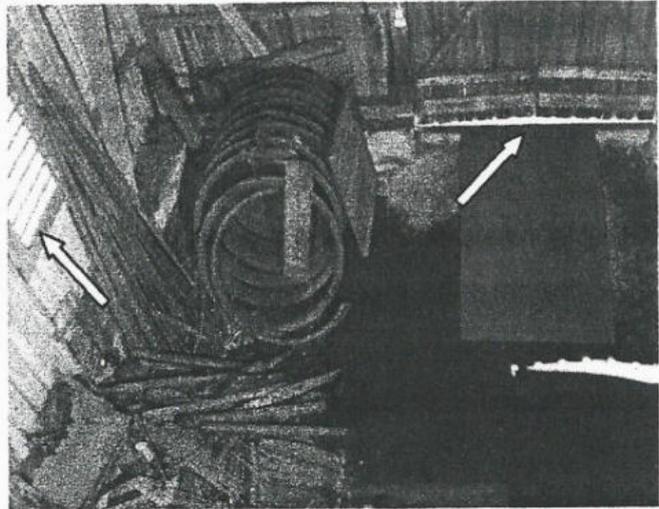


Abbildung 25: Probleme in Bezug auf die Dichtheit des Gebäudes /1/

Unter diesen Umständen wäre eine Installation eines Luftentfeuchters, egal welcher Bauart, nicht praktikabel.

Vorschläge, wie dieses Problem gelöst werden könnte, sind dem Kapitel 4.1 „Vorschläge für bauliche Veränderungen“ zu entnehmen.

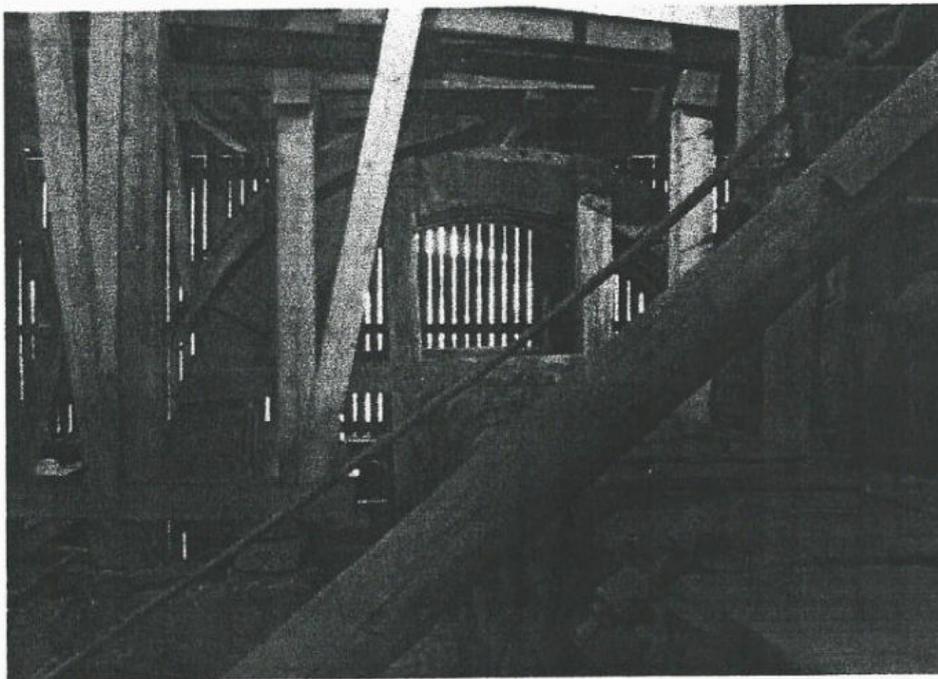


Abbildung 26: Probleme in Bezug auf die Dichtheit (hier Wasserradeinhausungen)

5.1.2 Erläuterung des Entfeuchtungsvorganges im Sorptionstrockner mit Hilfe des h-x-Diagrammes

Die Erläuterung dieses Beispiels erfolgt mit Hilfe eines h-x-Diagramms. Dieses ist in Abbildung 27 auf Seite 49 dargestellt.

Beschreibung des Adsorptionsvorganges

Für dieses Beispiel werden folgende Parameter zu Grunde gelegt:

- Temperatur im Gebäude: $T_a = 15^\circ\text{C}$
- relative Feuchte im Gebäude: $\varphi_a = 80\%rF$
- Einsatz des Sorptionstrockners vom Typ MLT 1400
- Volumenstrom der Regenerationsluft: $\dot{V}_{MLT} = 1400\text{m}^3/\text{h}$

Wie aus dem h-x-Diagramm ersichtlich, besitzt die Außenluft eine absolute Feuchte von $8,5\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Luft}}$ (Punkt 1 im h-x-Diagramm (Abbildung 27)). Die Entfeuchtungskapazität des MLT 1400 beträgt bei diesen Ausgangsparametern rd. $6,15\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}$ (s. Abbildung 24).

Nach Gleichung 5-7 folgt für die zu entfeuchtene Luft eine absolute Luftfeuchte von:

$$\dot{m}_{\text{Wasser1}} = \rho_{w,\text{Gebäude}} \cdot \dot{V}_{MLT} \cdot \rho_{\text{Luft}} = 8,5\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Luft}} \cdot 1400\text{m}^3/\text{h} \cdot 1,2\text{kg}/\text{m}^3 = 14280\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (5)$$

$$\dot{m}_{\text{Wasser2}} = \dot{m}_{\text{Wasser1}} - c_{MLT} = (14280 - 6150)\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h} = 8130\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h} \quad (6)$$

$$\rho_{w,\text{entfeuchtet}} = \frac{\dot{m}_{\text{Wasser2}}}{\dot{V}_{MLT} \cdot \rho_{\text{Luft}}} = \frac{8130\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^3}{\text{h} \cdot 1400\text{m}^3 \cdot 1,2\text{kg}} = \underline{\underline{4,84\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Luft}}}} \quad (7)$$

- \dot{m}_{Wasser1} = Massenstrom Wasser der feuchten Luft in $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}$
- \dot{m}_{Wasser2} = Massenstrom Wasser der entfeuchteten Luft in $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}$
- c_{MLT} = Entfeuchtungskapazität des MLT 1400 in $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}$
- \dot{V}_{MLT} = Prozessvolumenstrom des MLT 1400 in m^3/h
- ρ_{Luft} = Dichte der Luft in kg/m^3
- $\rho_{w,\text{Gebäude}}$ = Absolute Feuchte der angesaugten Luft in $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Luft}}$
- $\rho_{w,\text{entfeuchtet}}$ = absolute Feuchte der entfeuchteten Luft in $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Luft}}$

Während des Adsorptionsvorganges wird Energie in Form von Wärme freigesetzt (Gleichung 8). Diese Energie entspricht der Verdampfungsenthalpie der adsorbierten Wassermenge. Das heißt, es ist diejenige Energie, die benötigt wird, um diese definierte Menge an Wasser zu verdampfen.

Für diesen Fall bedeutet dies konkret:

$$\dot{Q}_v = q_v \cdot c_{MLT} = 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 6,15 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \underline{\underline{13899 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}} \quad (8)$$

\dot{Q}_v = Kondensationswärmestrom in kJ/h
 q_v = spez. Verdampfungswärme in kJ/kg
 c_{MLT} = Entfeuchtungskapazität des MLT 1400 in kg/h

Diese freiwerdende Kondensationswärme wird während der Adsorption an die Prozessluft abgegeben, wodurch sich diese erwärmt (Gleichung 9).

Für diesen Fall bedeutet dies konkret eine Temperaturerhöhung um:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \\ \Rightarrow \Delta T &= \frac{\dot{Q}_v}{\dot{V}_{MLT} \cdot \rho_{Luft} \cdot c_{pWasser}} = \frac{13899 \text{ kJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{\text{h} \cdot 1400 \text{ m}^3 \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot 1,01 \text{ kJ}} = \underline{\underline{8,19 \text{ K}}} \quad (9) \end{aligned}$$

\dot{Q} = Wärmeenergiestrom in kJ/h
 \dot{m} = Massenstrom in kg/h
 ΔT = Temperaturdifferenz in K
 \dot{V}_{MLT} = Prozessvolumenstrom des MLT 1400 in m³/h
 ρ_{Luft} = Dichte der Luft in kg/m³
 $c_{pWasser}$ = spezifische Wärmekapazität von Wasser in kJ/kg*K

Daraus ergibt sich für die entfeuchtete Luft eine Temperatur von $T_{entf.} = 23,19^\circ\text{C}$.

Mit Hilfe dieser beiden Parameter ($T_{entf.}$, $\rho_{w,entf.}$) kann mit Hilfe des h-x-Diagramms die relative Luftfeuchte der Entfeuchtungsluft ermittelt werden (Punkt 2 im h-x-Diagramm (Abbildung 27)).

→ relative Luftfeuchte der entfeuchteten Luft: $\varphi_{entf.} \approx 26\%$

Der Desorptionsvorgang

Da das Gebäude als unisoliert gegenüber der Umwelt zu betrachten ist, gelten für die Regenerationsluft (Außenluft) dieselben Parameter wie für die Luft innerhalb des Gebäudes:

- Temperatur der Regenerationsluft: $T_{\text{regen.}} = 15^{\circ}\text{C}$
- relative Feuchte der Regenerationsluft: $\varphi_{\text{regen.}} = 80\%$
- Einsatz des Sorptionstrockners vom Typ MLT 1400
→ Volumenstrom der Regenerationsluft: $\dot{V}_{\text{regen}} = 155\text{m}^3/\text{h}$

Damit der Regenerationsvorgang / Desorptionsvorgang von statten gehen kann, ist es nötig, die Regenerationsluft zu erwärmen. Dies geschieht beim MLT 1400 über ein Heizelement, welches die Luft um 95°C erwärmt (s. Anlage 11).

Dadurch ergibt sich für die Temperatur der Regenerationsluft nach Gleichung 10:

$$T_{\text{regen2}} = T_{\text{regen}} + \Delta T_{\text{Heizung}} = (15 + 95)^{\circ}\text{C} = \underline{110^{\circ}\text{C}} \quad (10)$$

T_{regen2}	= Lufttemperatur nach dem Heizelement in $^{\circ}\text{C}$
T_{regen}	= Ansaugtemperatur der Regenerationsluft in $^{\circ}\text{C}$
ΔT_{regen}	= Temperaturerhöhung über dem Heizelement in $^{\circ}\text{C}$

Die absolute Luftfeuchte der Regenerationsluft bleibt dabei konstant (Punkt 3 im h-x-Diagramm (Abbildung 27)).

Dabei wird eine Wärmemenge von

$$\dot{Q}_{\text{Heiz}} = \dot{V}_{\text{regen}} \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot c_{p\text{Luft}} \cdot \Delta T = 155\text{m}^3/\text{h} \cdot 1,2\text{kg}/\text{m}^3 \cdot 1,01\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K} \cdot 95\text{K} = \underline{17846,7\text{kJ}/\text{h}} \quad (11)$$

von der Regenerationsluft aufgenommen (Gleichung 11).

Dabei gilt:

\dot{Q}_{Heiz}	= Wärmeenergieeintrag über dem Heizelement in kJ/h
ΔT	= Temperaturdifferenz in K
\dot{V}_{regen}	= Regenerationsluftvolumenstrom des MLT 1400 in m^3/h
ρ_{Luft}	= Dichte der Luft in kg/m^3
$c_{p\text{Luft}}$	= spezifische Wärmekapazität von Luft in $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$

Von dieser Wärmemenge werden 13899 kJ/h für den Desorptionsvorgang benötigt (siehe Gleichung 8). Die restliche Wärmeenergie wird von der Regenerationsabluft in Form von Wärmeenergie gespeichert (Temperaturerhöhung).

Es gilt:

$$\dot{Q}_{\text{Abluft}} = \dot{Q}_{\text{Heiz}} - \dot{Q}_v = (17846,7 - 13899) \text{ kJ/h} = 3947,7 \text{ kJ/h} \quad (12)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{\text{Abluft}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Abluft}}}{\dot{V}_{\text{regen}} \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot c_{p\text{Luft}}} = \frac{3947,7 \text{ kJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{\text{h} \cdot 155 \text{ m}^3 \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot 1,01 \text{ kJ}} = \underline{\underline{21\text{K}}} \quad (13)$$

- \dot{Q}_{Abluft} = aufgenommene Wärmeenergie der Abluft in kJ/h
- \dot{Q}_{Heiz} = Wärmeenergieeintrag über dem Heizelement in kJ/h
- \dot{Q}_v = Kondensationswärmestrom in kJ/h
- ΔT_{Abluft} = Temperaturerhöhung der Abluft in K
- \dot{V}_{regen} = Regenerationluftvolumenstrom des MLT 1400 in m³/h
- ρ_{Luft} = Dichte der Luft in kg/m³
- $c_{p\text{Luft}}$ = spezifische Wärmekapazität von Luft in kJ/kg*K

Daraus folgt, dass die Regenerationsluft mit einer Temperatur von 36°C der Umgebung zugeführt wird.

Die zusätzliche Beladung mit Wasserdampf ergibt sich nach Gleichung 14 aus der Differenz zwischen der absoluten Luftfeuchte im Gebäude und der absoluten Luftfeuchte der entfeuchteten Luft:

$$\Delta \rho_{w,\text{Abluft}} = \rho_{w,\text{Gebäude}} - \rho_{w,\text{entfeuchtet}} = (8,5 - 4,84) \text{ g}^{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{Luft}} = 3,66 \text{ g}^{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{Luft}} \quad (14)$$

Daraus ergibt sich eine absolute Luftfeuchte der Abluft von (Gleichung 15):

$$\rho_{w,\text{Abluft}} = \rho_{w,\text{ausßen}} + \Delta \rho_{w,\text{Abluft}} = (8,5 + 3,66) \text{ g}^{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{Luft}} = \underline{\underline{12,16 \text{ g}^{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{Luft}}}} \quad (15)$$

- $\rho_{w,\text{Gebäude}}$ = absolute Luftfeuchte im Gebäude in g/kg
- $\rho_{w,\text{entfeuchtet}}$ = absolute Luftfeuchte der entfeuchteten Prozessluft in g/kg
- $\rho_{w,\text{Abluft}}$ = absolute Luftfeuchte der Regenerationsabluft in g/kg
- $\rho_{w,\text{ausßen}}$ = absolute Luftfeuchte der Außenumgebung in g/kg
- $\Delta \rho_{w,\text{Abluft}}$ = Erhöhung der abs. Luftfeuchte der Regenerationsluft in g/kg

Der Prozess der Regeneration ist im h-x-Diagramm (Abbildung 27) als Strecke zwischen den Punkten 3 und 4 gekennzeichnet.

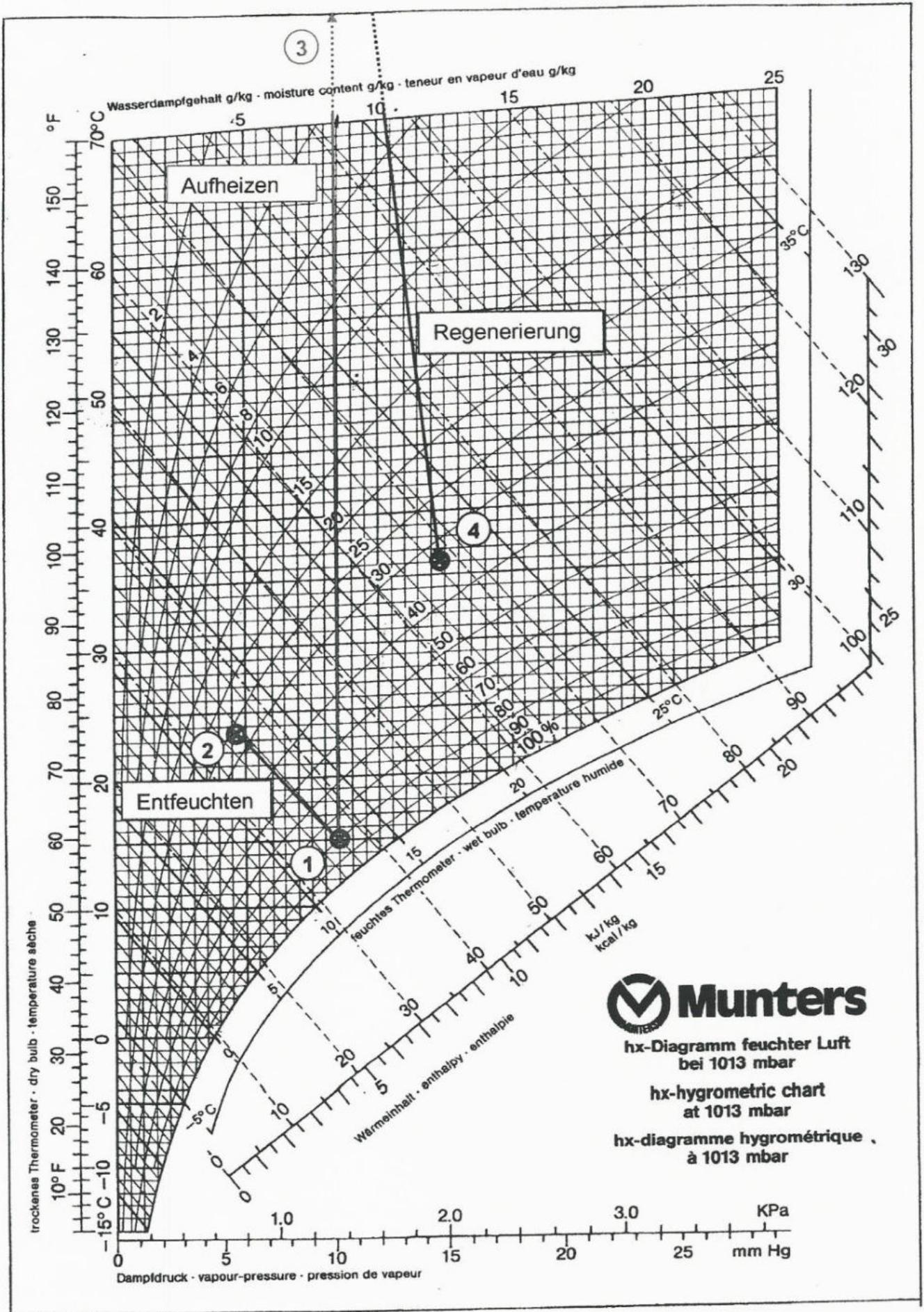


Abbildung 27: Der Entfeuchtungsprozess im h-x-Diagramm

5.1.3 Aufstellung des Sorptionsentfeuchters

Wie bereits erwähnt, sind parallel zur Aufstellung des Sorptionsentfeuchter auch einige Änderungen am Gebäude notwendig.

Da bereits im Kapitel 4.1 auf die Veränderungen am Gebäude eingegangen worden ist, sollen hier nur noch einmal ein paar Anhaltspunkte gegeben werden, die sich vor allem auf die Dichtheit des Gebäudes auswirken.

- Austausch der Lüftungsgitter durch Fenster

- Abdichtung der Wasserradeinhausungen
Zwei Möglichkeiten:
 1. Fall: Die Luftschlitze sollen nicht nur der Belüftung dienen, sondern sollen auch die Lichtverhältnisse innerhalb des Gebäudes verbessern.
Dann: Anbringen von Plexiglasscheiben oder ähnlichem.

 2. Fall: Luftschlitze sollten nur der besseren Durchlüftung dienen, welches sich aber in unserem Fall als nachteilig erwiesen hat.
Dann: Abdichten der Fugen, z.B. durch Holzpanel von innen.

- Abdichtung der Spalten an Türen und zwischen dem Boden und den Holzwänden
 - Abdichtung der Türen durch Anbringen von Dichtungsbändern
 - Schließen des Abstandes zwischen Holzwänden und Erdreich. Dies könnte im einfachsten Fall durch Erdaufschüttung erfolgen.

Aufstellungsort des MLT 1400

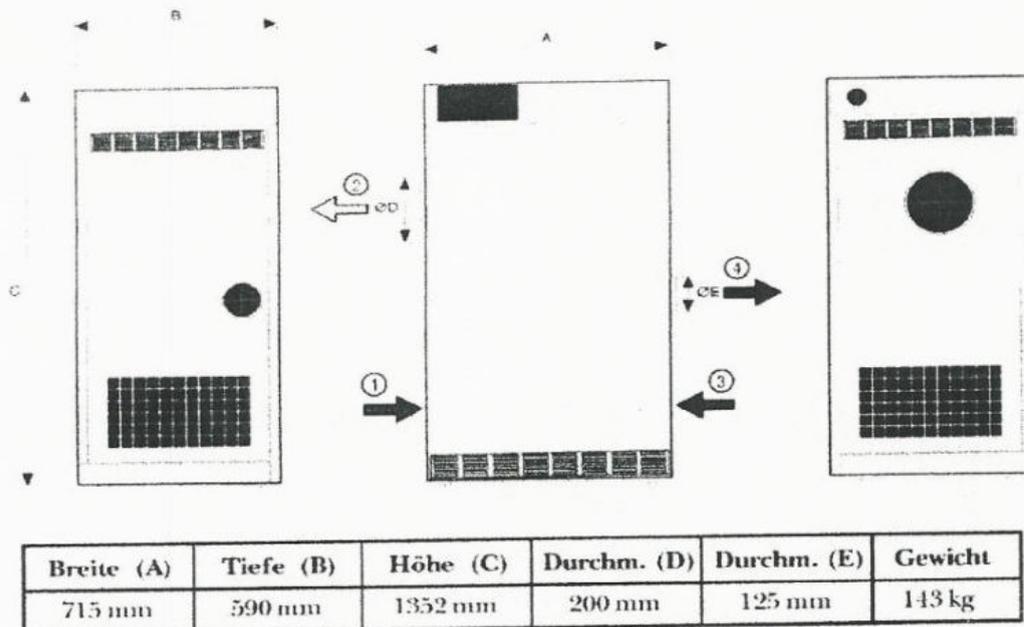
Als Aufstellungsort für den Sorptionsentfeuchter wird der Platz rechts neben dem Glühofen vorgeschlagen (siehe Fotomontage Abbildung 28). Da sich dieser Platz an der Stirnseite des Gebäudes befindet, ist eine relativ gute Luftzirkulation durch die freie Ansaugung garantiert. Es muss dafür jedoch sichergestellt werden, dass sich keine Gegenstände in unmittelbarer Nähe der Ansaugöffnungen befinden, die das Strömungsprofil behindern würden (siehe Stahltrog in Abbildung 28).



Abbildung 28: Mögliche Aufstellungsvariante (hier ohne Anschlüsse)

5.1.4 Anschluss des Sorptionentfeuchters und Installation

In Abbildung 29 sind die Abmaße und Anschlussmaße des MLT 1400 dargestellt.



Erläuterung:

1. Prozessluft Saugseite
2. Prozessluft Druckseite (Trockenluft)
3. Regenerationsluft Saugseite
4. Regenerationsluft Druckseite (Feuchtluft)

Abbildung 29: Abmessungen und Anschlussmaße MLT 1400

Der Anschluss des Gerätes ist relativ problemlos zu bewerkstelligen. Es stehen jedoch mehrere Möglichkeiten zur Auswahl, wie dieser rohleitungstechnisch auszuführen ist.

1. Prozessluft Saugseite:

Der Sorptionentfeuchter kann problemlos auf dem Erdboden aufgestellt werden. Die zu entfeuchtende Luft wird von dem Gerät in unmittelbarer Bodennähe angesaugt. Eine gezielte Zuleitung der Prozessluft, z.B. durch Lüftungskanäle die an verschiedenen Stellen des Gebäudes die Luft ansaugen, sind nach Aussage von Herrn Bloch nicht notwendig, da das Gerät in Bezug auf das Gebäudevolumen einen relativ hohen Luftvolumenstrom fördert. Eine gezielte Zuleitung kann im schlechtesten Fall sogar die Luftzirkulation negativ beeinflussen /11/.

2. Prozessluft Druckseite (entfeuchtete Luft)

Geräteseitig ist ein Anschluss vom Durchmesser DN200 angebracht. Es ist ratsam, die entfeuchtete Luft nach ca. 2/3 der Gebäudelänge in Deckennähe auszublasen. In Bezug auf diesen Einsatzfall müsste mit einer Rohrleitungslänge von ca. 26m kalkuliert werden. Es ist zu empfehlen, die Lüftungsrohre auf den Querbalken der Dachkonstruktion zu verlegen, wodurch sie auf das Gesamterscheinungsbild der Hammerschmiede kaum Einfluss nehmen. Ausführungstechnisch ist es zu empfehlen, die entfeuchtete Luft nicht an einem Punkt auszublasen, sondern dies auf mehrere Punkte zu verteilen. Dadurch wird eine bessere Durchmischung mit der Gebäudeluft realisiert.

3. Regenerationsluft Saugseite

Hier gibt es wiederum zwei Möglichkeiten:

- Ansaugen der Regenerationsluft aus dem Gebäudeinneren
- Ansaugen der Regenerationsluft aus der Umgebung

In Bezug auf unseren Einsatzfall ist von der ersten Möglichkeit abzusehen.

Begründung:

Die Regenerationsluft wird aus dem Gebäude abgesaugt, nach dem Regenerationsprozess jedoch an die Umgebung abgegeben. Dies hat zur Folge, dass im Gebäude immer ein leichter Unterdruck vorhanden ist. Dadurch würde es zu einem verstärkten Lufteintrag von außen kommen.

Auf Grund dessen ist die zweite Variante zu empfehlen. Dafür sind geräteseitig folgende Abschlussmaße vorgesehen (Abbildung 30).

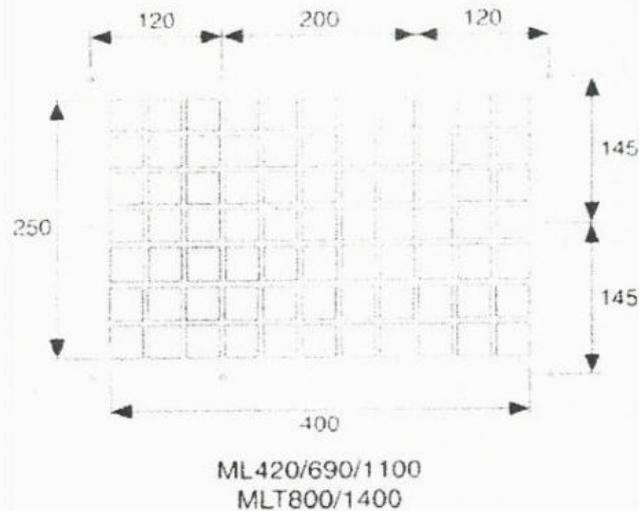


Abbildung 30: Anschlussmaße für Saugseite Regenerationsluft /12/

4. Regenerationsluft Druckseite (mit Feuchtigkeit beladene Luft)

Geräteseitig ist hier ein Anschluss DN125 vorgesehen. Bei der Ausführung sind hier jedoch einige Sachen zu beachten.

Wenn die Regenerationsluft ebenfalls aus der Umgebung angesaugt wird, muss zwischen dem Lufteintritt und –austritt genügend Abstand gelassen werden, damit es zu keinem Kurzschluss der Strömungen kommt.

Ist der Temperaturgradient zwischen Raumluft und Regenerationsluft zu groß und die Rohrleitungslänge länger als 2m (Aussage Herr Bloch (aus Erfahrungswerten)) ist eine Isolation dieser Anschlussleitung nötig, da es sonst zu Taupunktunterschreitungen kommt, und somit das sorbierte Wasser bereits in der Druckleitung der Regenerationsluft auskondensiert.

Elektrischer Anschluss

Zu diesem Punkt kann hier leider nicht viel gesagt werden, da der Aufbau des Stromnetzes und somit auch die Netzleistung nicht bekannt sind. Die Anschlussleistung, sowie Spannung und Stromverbrauch des MLT 1400 sind dem technischen Datenblatt zu entnehmen (Anlage 11).

5.2 Regelung des Entfeuchtungsvorganges

Um nach einer gewissen Ablaufphase eine relativ konstante Luftfeuchte im Gebäude zu erreichen, ist die Installation eines Hygrostaten vorgesehen. Dieser wird direkt über dem Sorptionsentfeuchter angebracht und misst permanent die relative Luftfeuchte und übermittelt diese an den Entfeuchter. Dieser schaltet sich dann je nach Bedarf zu oder ab.

5.3 Kostenkalkulation

Eine genaue Kostenkalkulation kann leider nicht durchgeführt werden, da nur Kostenvoranschläge und Preise in Norwegen ansässiger Firmen eine halbwegs kalkulierbare Kostenanalyse zulassen würden. Diese liegen jedoch nicht vor.

Als grobe Abschätzung sollen hier die Gerätepreise genannt werden:

Preis Sorptionsentfeuchter ML 690:	8335,- Euro (als Alternativgerät)
Preis Sorptionsentfeuchter MLT 1400:	8665,- Euro
Preis Hygrostat (Typ2):	77,- Euro

Dies sind nur die Preise für den Deutschen Markt. Da die Firma Munters auch Niederlassungen in Schweden hat, würde bei eventueller Auftragserteilung der Auftrag über Schweden ausgeführt werden. Die Preise dort sind ebenfalls nicht bekannt.

6 Zusammenfassung

Aufgabe dieses Projektes war es, Konzepte zur Klimatisierung der Hammerschmiede des Naes Jernverk museums in Süd norwegen zu erstellen. Ziel der Klimatisierung soll eine Zustandsstabilisierung der dort vorhandenen technischen Kulturdenkmäler sein. Dafür war es notwendig, die zur Zeit vorherrschenden klimatischen Verhältnisse zu ermitteln und Aussagen über die Gebäudestruktur zu treffen. Als Ergebnis dieser Ermittlungen können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die zur Zeit vorherrschenden klimatischen Verhältnisse entsprechen nicht den geforderten Anforderungen
- Zur Bereitstellung des gewünschten Raumklimas sind teilweise erhebliche bauliche Veränderungen nötig
- Um die Luftfeuchtigkeit zu senken, ist der Einsatz eines Luftentfeuchters vorzusehen

Das ermittelte optimale Klimatisierungskonzept beinhaltet den Einsatz eines Sorptionsentfeuchters einhergehend mit gebäudetechnischen Veränderungen. Es ist so konzipiert, dass der optische Eindruck des Gebäudes nicht wesentlich verändert werden muss, so dass bei der Umsetzung dieses Konzeptes in Bezug auf Denkmalschutzgründe keine Probleme auftreten dürften.

7 Quellenangaben

- /1/ Christian Bode: Exzerpt der Diplomarbeit „Die Hammerschmiede des Naes Jernverkmuseums in Südnorwegen –Erhaltung des Großhammers/Fragen der Klimatisierung-“; Sept. 2002
- /2/ Munters GmbH; Informationsmaterial zum Thema Luftfeuchtigkeit; Information 112-004-013
- /3/ Jankowski, B.: Vorlesungsskript Thermodynamik; 1999
- /4/ Autorenkollektiv: Raumklima in Museen; 1999; Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.
- /5/ www.museumsnett.no/jernverksmuseet/historie.html (20.12.2002)
- /6/ www.odin-dep.no/ud/html/2000/minifakta/t/tys-07.html (05.01.2003)
- /7/ www.munters-luftentfeuchtung.de (18.11.2002)
- /8/ Munters GmbH: Produktinformation -Luftentfeuchter der MK-Serie-
- /9/ Munters GmbH: Luftentfeuchter; Produktprogramm
- /10/ Munters GmbH: Informationsblatt -Luftentfeuchtung-
- /11/ Munters GmbH: Wirtschaftliche Lagerung durch Entfeuchtung
- /12/ Munters GmbH: Informationsblatt -Luftentfeuchter ML/MLT-

Anlagen

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: h-x-Diagramm	III
Anlage 2: Tagebuch über die Tätigkeiten während des Aufenthaltes	IV
Anlage 3: Verwendete Messgeräte	VI
Anlage 4: Skizze des Hammergebäudes mit den Messpunkten der Wochen- und Detailmessung	VII
Anlage 5: Messwerte der Wochenmessung	VIII
Anlage 6: Messwerte der Detailmessung	IX
Anlage 7: Skizze mit Messpunkten zur Bestimmung der Strömungsrichtung, Probenahmestellen für die Mikrobiologie, Angabe der Punkte DATA-Logger ...	XII
Anlage 8: Beschreibung der Probenahmestellen der mikrobiologischen Untersuchung und Auswertung einiger Proben	XIII
Anlage 9: Ergebnisse der rechnergestützten Auslegung des Sorptionstfeuchters	XIV
Anlage 10: Datenblatt ML 690	XVII
Anlage 11: Datenblatt MTL 1400	XIX

Anlage 2: Tagebuch über die Tätigkeiten während des Aufenthaltes

Mittwoch, 13.11.2002

- Wetter:
 - Schneefall, bedeckter Himmel, schwacher Wind, Tagestemperatur ca. – 2°C
- Tätigkeiten:
 - Videovorführung und geführter Rundgang durch das Museum
 - Inspektion und Bestandsaufnahme des Hammerwerkes
 - Aufnahme der Messwerte für die Wochenmessung
 - Planung der Messpunkte und des Messablaufs für die Detailmessung
 - Hilfestellung für Christian

Donnerstag, 14.11.2002

- Wetter:
 - teilweise leichter Schneefall, Himmel bedeckt, schwacher Wind, Temperaturen tagsüber ca. –1°C, zum Abend Nieselregen
- Tätigkeiten:
 - Aufnahme der Messwerte für die Wochenmessung
 - Messwertaufnahme für die Detailmessung bis Punkt 188, dann Abbruch wegen Wetterumschwung
 - Hilfestellung für Christian

Freitag, 15.11.2002

- Wetter:
 - teilweise leichter Nieselregen, Himmel bedeckt, schwacher Wind, Temperaturen tagsüber ca. 1 bis 2°C
- Tätigkeiten:
 - Aufnahme der Messwerte für die Wochenmessung
 - Messwertaufnahme für die Detailmessung von Punkt 189 bis 234
 - Leerpumpen der Wasserlöcher
 - Volumenstrombestimmung des Wasserzulaufs unterhalb der Wasserradeinhausung

Samstag, 16.11.2002

- Wetter:
 - teilweise Nieselregen, Himmel bedeckt, windstill, Temperaturen tagsüber ca. 1 bis 2°C
- Tätigkeiten:
 - Aufnahme der Messwerte für die Wochenmessung
 - Aufnahme einer Videodokumentation über das Museum
 - Freischaufeln des Kanals zwischen Wasserradeinhausung und Fluss
 - Aufmassarbeiten
 - Festlegen der Punkte für Datenlogger und programmieren der Geräte
 - Probenahme für die Mikrobiologie
 - Hilfestellung für Christian

Sonntag, 17.11.2002

- Wetter:
 - kein Niederschlag, früh bedeckter Himmel, nachmittags sonnig, windstill, Temperaturen tagsüber ca. 1 bis 2°C
- Tätigkeiten:
 - Aufnahme der Messwerte für die Wochenmessung
 - Anbringen der Datenlogger
 - Hilfestellung für Christian

Montag, 18.11.2002

- Wetter:
 - kein Niederschlag, leicht bewölkt, sonnig, windstill, Temperaturen tagsüber ca. -1°C
- Tätigkeiten:
 - Aufnahme der Messwerte für die Wochenmessung
 - Bestimmung der Strömungsrichtung der Luft im Gebäude
 - Hilfestellung für Christian

Anlage 3: Verwendete Messgeräte

Messkoffer mit Testo 400

Dieser Koffer beinhaltet alle Sensoren, welche für die Messung von Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Strömungsgeschwindigkeit benutzt wurden.

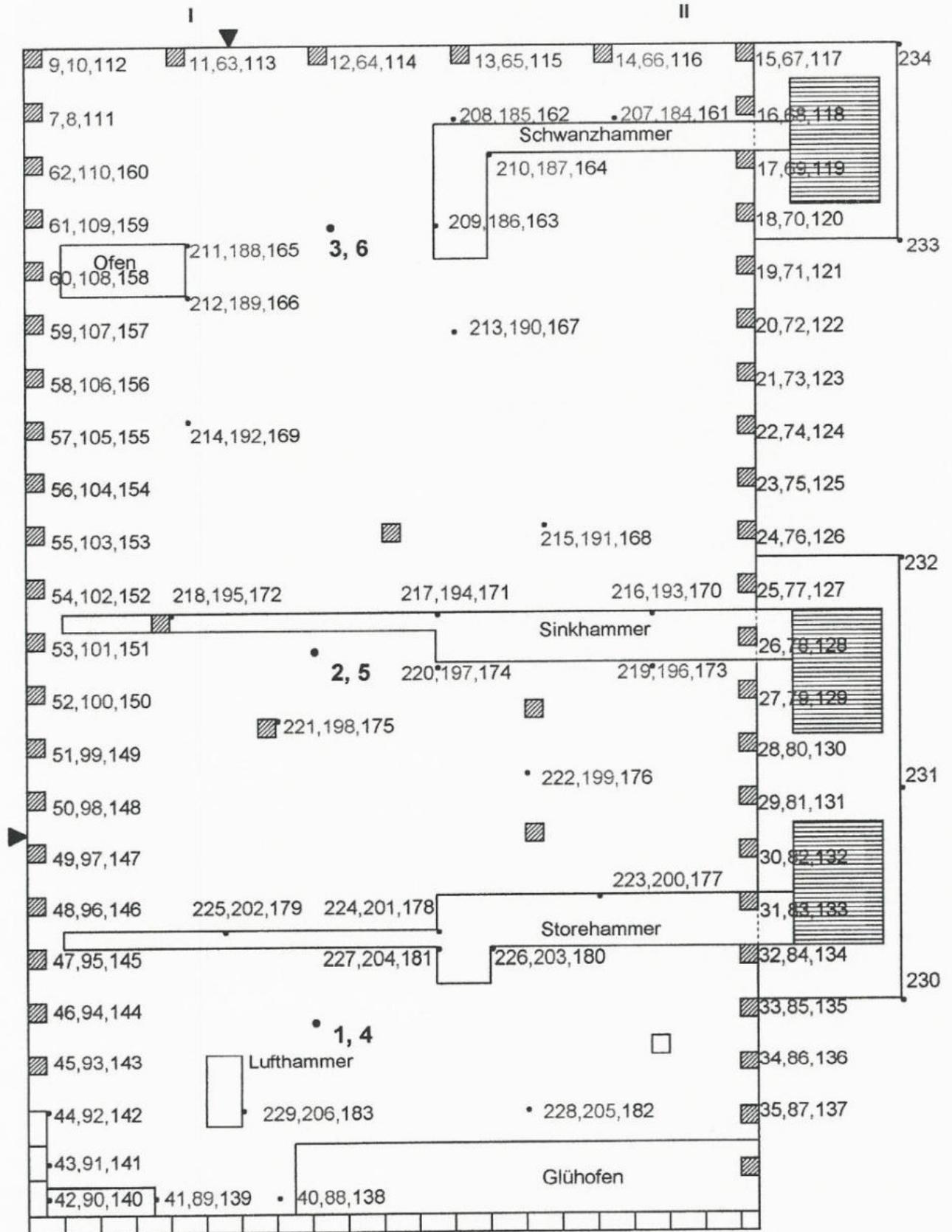
Die Strömungsgeschwindigkeit wurde je nach Anwendungsfall mit verschiedenen Anemometern gemessen:

- Flügelradanemometer (100mm)
- Flügelradanemometer (16mm)
- Hidrahtanemometer

Dräger Flow Check

Dieses Gerät wurde für die qualitative Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit genutzt. Es arbeitet mit Nebelpatronen, welche Parafinöl enthalten.

Anlage 4: Skizze des Hammergebäudes mit den Messpunkten der Wochen- und Detailmessung

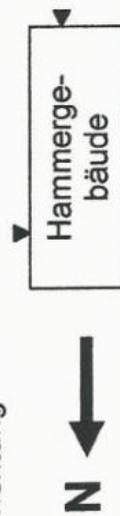


Legende: schwarze Zahlen: Messstellen in Bodennähe
 grüne Zahlen: Messstellen in ca. 1,5 Meter Höhe
 rote Zahlen: Messstellen in ca. 2,7 Meter Höhe

Anlage 5: Messwerte der Wochenmessung

Messpunkt	Datum	13.11.2002	14.11.2002	15.11.2002	16.11.2002	17.11.2002	18.11.2002
1	Luftdruck [hPa]	990	992	994	1002	999	1006
	Windgeschw. [m/s]	1,3	0,9	1,0	1,1	0,2	0,2
2	Messgerät	Flügelradan.	Flügelradan.	Flügelradan.	Hitzdrahtan.	Hitzdrahtan.	Hitzdrahtan.
	rF in %	81,7	80,1	94,4	90,8	93,7	89,4
	T in °C	-1,8	-1,6	1,1	1,1	1,1	0,1
	rF in %	79,0	79,1	93,8	92,3	95,8	89,9
3	T in °C	-1,7	-1,5	0,9	1,0	1,2	-0,1
	rF in %	80,3	79,9	93,4	92,2	94,6	91,0
	T in °C	-1,9	-1,5	0,9	0,9	1,0	-0,1
	rF in %	81,1	81,5	93,9	91,0	93,8	89,4
4	T in °C	-1,7	-1,2	1,0	1,1	1,1	0,1
	rF in %	80,1	79,1	93,7	92,2	93,7	90,1
	T in °C	-1,9	-1,4	0,9	1,0	0,9	0,0
	rF in %	80,8	79,3	94,1	92,2	94,2	90,4
5	T in °C	-1,9	-1,4	1,0	0,9	1,0	0,0
	rF in %	78,4	76,0	93,6	Regen	93,7	90,4
	T in °C	-2,3	-2,0	1,2	1,1	1,0	-0,5
	Windrichtung*	SWW	SWW	SWW	SWW	SWW	SWW
I	rF in %	78,5	75,2	93,7	Regen	96,8	90,6
	T in °C	-2,2	-2,0	1,2	1,1	0,8	-0,4
II	Windrichtung*	SWW	SWW	SWW	SWW	SWW	SWW

* Orientierung Windrichtung



Anlage 6: Messwerte der Detailmessung

Punkt	T in °C	rF in %	v _L in m/s
7	-1,4	79,8	0,06
8	-1,8	78,3	1,38
9	-1,7	80,4	0,06
10	-1,1	80,1	0,02
11	-1,5	81,2	0,27
12	-1,4	8,8	0,07
13	-1,2	81,0	0,09
14	-1,1	81,0	0,09
15	-1,3	81,3	0,11
16	-1,4	81,4	0,02
17	-1,4	80,5	0,07
18	-1,5	80,0	0,12
19	-1,6	79,3	0,12
20	-1,5	80,2	0,02
21	-1,5	79,4	0,10
22	-1,5	79,1	0,06
23	-1,5	79,7	0,06
24	-1,4	81,3	0,09
25	-1,4	80,3	0,08
26	-1,5	79,1	0,16
27	-1,5	79,1	0,15
28	-1,3	79,8	0,12
29	-1,4	80,0	0,07
30	-1,4	80,1	0,03
31	-1,3	80,2	0,08
32	-1,3	81,7	0,13
33	-1,3	81,1	0,06
34	-1,2	81,8	0,06
35	-1,4	81,5	0,09
36			
37	kein Zugang zu den Messstellen, da hinter dem Glühofen		
38			
39			
40	-1,2	81,0	0,03
41	-1,2	81,3	0,06
42	-1,0	81,9	0,07
43	-0,9	81,3	0,07
44	-1,4	79,8	0,06
45	-1,4	80,0	0,01
46	-1,2	81,4	0,08
47	-0,9	83,7	0,10
48	-1,1	81,5	0,10
49	-0,9	81,1	0,11
50	-0,8	79,8	0,16
51	-1,0	78,5	0,05
52	-1,2	80,8	0,05
53	-1,1	81,6	0,07
54	-1,3	80,4	0,06
55	-1,2	82,4	0,06
56	-1,3	81,2	0,08
57	-1,3	81,1	0,04

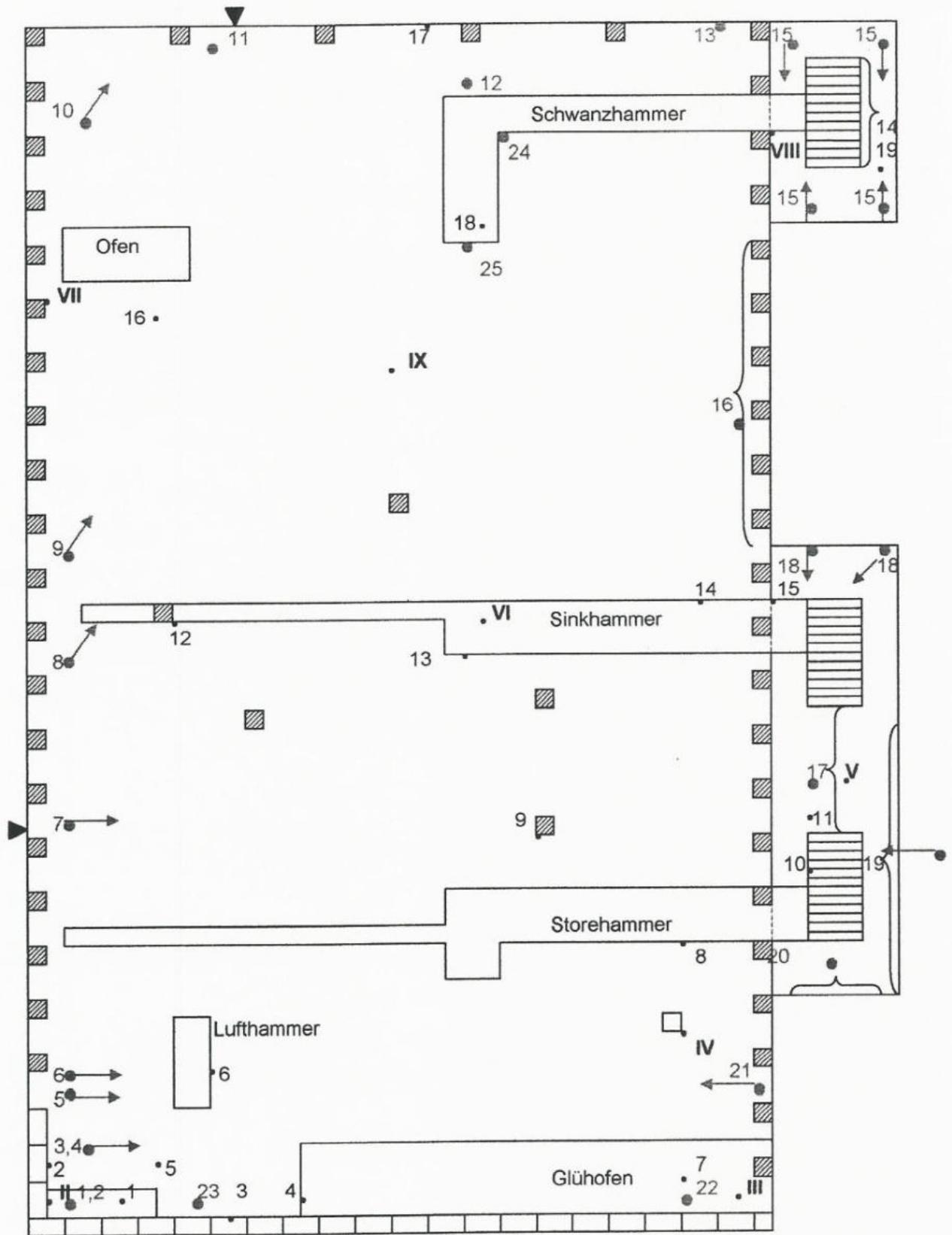
Punkt	T in °C	rF in %	v _L in m/s
58	-1,2	81,7	0,06
59	-1,2	81,6	0,05
60	-1,3	81,3	0,06
61	-1,3	1,2	0,03
62	-1,1	81,1	0,04
63	-1,0	80,2	0,10
64	-0,9	80,6	0,07
65	-0,7	80,7	0,07
66	-0,8	80,0	0,11
67	-0,8	80,2	0,10
68	-0,9	79,3	0,04
69	-1,0	79,9	0,09
70	-1,1	80,0	0,03
71	-1,1	80,1	0,10
72	-1,1	80,2	0,02
73	-1,1	80,4	0,09
74	-1,1	80,7	0,01
75	-1,1	80,4	0,05
76	-1,1	80,4	0,70
77	-1,0	82,7	0,01
78	-1,1	80,9	0,07
79	-1,1	80,9	0,07
80	-1,0	81,3	0,08
81	-1,0	82,0	0,07
82	-1,0	81,5	0,06
83	-1,0	81,6	0,08
84	-1,0	82,1	0,08
85	-1,0	82,6	0,05
86	-1,0	82,4	0,02
87	-1,0	82,4	0,08
88	-1,1	82,4	0,08
89	-0,9	82,7	0,11
90	-0,8	84,2	0,04
91	-1,0	83,1	0,06
92	-1,0	81,5	0,12
93	-1,0	81,5	0,07
94	-1,0	81,8	0,06
95	-1,0	81,0	0,46
96	-0,8	80,8	0,06
97	-0,8	81,5	0,06
98	-1,1	79,3	0,17
99	-1,0	80,0	0,06
100	-0,9	80,3	0,11
101	-1,1	79,5	0,21
102	-0,9	80,9	0,11
103	-1,1	79,4	0,48
104	-1,0	80,8	0,05
105	-0,9	81,7	0,10
106	-0,9	81,4	0,05
107	-1,0	81,3	0,05
108	-1,1	80,8	0,16

Punkt	T in °C	rF in %	v _L in m/s
109	-1,0	80,9	0,10
110	-1,0	81,0	0,12
111	-0,8	79,5	0,01
112	-0,8	79,8	0,04
113	-0,8	80,9	0,24
114	-0,7	81,6	0,14
115	-0,7	81,4	0,07
116	-0,7	81,2	0,09
117	-0,7	81,6	0,07
118	-0,7	82,0	0,10
119	-0,9	81,0	0,11
120	-0,9	81,1	0,06
121	-0,9	80,8	0,07
122	-0,9	80,5	0,05
123	-0,9	80,6	0,08
124	-0,8	80,8	0,07
125	-0,8	80,6	0,12
126	-0,8	81,2	0,05
127	-0,8	80,4	0,18
128	-0,8	80,0	0,06
129	-0,9	80,4	0,05
130	-0,8	80,6	0,03
131	-0,7	81,3	0,08
132	-0,8	81,3	0,06
133	-0,8	81,4	0,06
134	-0,8	82,1	0,07
135	-0,8	82,6	0,02
136	-0,8	83,0	0,07
137	-0,9	83,3	0,02
138	-0,8	82,6	0,09
139	-0,8	82,6	0,03
140	-0,7	83,2	0,04
141	-0,6	84,8	0,06
142	-0,8	3,7	0,04
143	-0,8	81,7	0,08
144	-0,8	81,9	0,07
145	-0,7	81,8	0,05
146	-0,8	81,6	0,06
147	-0,8	81,3	0,41
148	-0,8	80,8	0,56
149	-0,9	0,2	0,05
150	-0,6	82,1	0,07
151	-0,6	82,3	0,11
152	-0,6	82,3	0,03
153	-0,7	82,7	0,05
154	-0,7	83,0	0,06
155	-0,7	83,2	0,05
156	-0,7	82,8	0,05
157	-0,7	82,9	0,03
158	-0,8	83,0	0,03
159	-0,7	83,0	0,04
160	-0,8	82,8	0,04
161	-0,7	83,3	0,08
162	-0,7	83,3	0,07
163	-0,7	83,4	0,09
164	-0,7	83,5	0,10

Punkt	T in °C	rF in %	v _L in m/s
165	-0,7	83,9	0,09
166	-0,7	85,3	0,08
167	-0,7	84,0	0,07
168	-0,7	83,5	0,08
169	-0,6	83,7	0,04
170	-0,4	82,2	0,02
171	-0,5	82,6	0,11
172	-0,6	83,4	0,08
173	-0,7	83,1	0,05
174	-0,7	83,0	0,07
175	-0,7	83,6	0,04
176	-0,4	84,2	0,07
177	-0,5	82,1	0,15
178	-0,5	83,6	0,04
179	-0,6	83,8	0,10
180	-0,6	83,8	0,09
181	-0,6	84,5	0,09
182	-0,6	84,3	0,03
183	-0,6	84,3	0,11
184	-0,8	83,8	0,03
185	-0,8	83,7	0,04
186	-0,8	83,8	0,06
187	-0,8	83,8	0,08
188	-0,8	83,8	0,13
Abbruch am 14.11			
189	1,1	93,5	0,02
190	1,0	93,6	0,04
191	1,0	93,8	0,04
192	1,0	93,7	0,06
193	1,2	94,3	0,06
194	1,1	94,0	0,02
195	1,1	93,5	0,08
196	1,1	93,6	0,10
197	1,1	93,7	0,11
198	1,1	93,8	0,08
199	1,1	93,7	0,10
200	1,1	93,6	0,03
201	1,1	93,5	0,05
202	1,1	93,6	0,05
203	1,1	93,6	0,04
204	1,1	93,5	0,03
205	1,0	93,6	0,02
206	1,0	93,6	0,06
207	1,0	93,0	0,03
208	1,0	93,0	0,04
209	1,0	92,7	0,05
210	1,0	92,7	0,06
211	1,1	93,3	0,08
212	1,0	93,3	0,04
213	1,0	93,2	0,07
214	1,0	93,3	0,04
215	1,0	93,2	0,05
216	1,1	93,3	0,06
217	1,1	93,3	0,05
218	1,1	93,4	0,09
219	1,2	94,1	0,04

Punkt	T in °C	rF in %	v _L in m/s
219	1,2	94,1	0,04
220	1,2	93,8	0,05
221	1,2	93,7	0,05
222	1,2	93,7	0,06
223	1,3	93,6	0,06
224	1,2	93,1	0,05
225	1,2	93,0	0,07
226	1,1	93,2	0,04
227	1,2	93,5	0,09
228	1,1	93,4	0,06
229	1,3	93,6	0,06
230	1,6	94,5	0,06
231	1,5	92,9	0,10
232	1,4	92,6	0,04
233	1,3	93,6	0,03
234	1,3	91,9	0,06

Anlage 7: Skizze mit Messpunkten zur Bestimmung der Strömungsrichtung, Probenahmestellen für die Mikrobiologie, Angabe der Punkte DATA-Logger



Legende:

rote Markierung:	Zahl:	Messpunkte für die Strömungsrichtung
	Pfeil:	Angabe der Strömungsrichtung
	Punkt:	Strömungsrichtung nach oben
schwarze Zahlen:		Probenahmestellen für Mikrobiologie
Römische Ziffern:		Anbringung der DATA-Logger

Anlage 8: Beschreibung der Probenahmestellen der mikrobiologischen Untersuchung und Auswertung einiger Proben

Im folgenden werden die Probenahmestellen beschrieben:

Probennummer	Beschreibung der Probenahmestelle
1	Holzschrank, Bodennähe
2	Steinmauer, H = 1,80 m (Höhe über dem Erdboden)
3	Steinmauer, H = 1,80 m
4	Glühofen, Eisen, H = 1,50 m
5	Bodenprobe
6	Holz, im Wasserloch, H = -0,30 m
7	Stein, Wasserrinnsaal, H = 1,50 m
8	Holz, Hammer
9	Holz, H = 1,50 m
10	Holz, Wasserrad, H = 1,50 m
11	Stein im Wasserloch, H = -0,20 m
12	Holz, Hammerbalken, H = 0,20 m
13	Holz, Hammer, H = 1,30 m
14	Holz, Hammer, H = 1,30 m
15	nasser Stein, H = -1,30
16	Holzpfehl H = 0,20 m
17	Steinmauer, H = 0,30 m
18	morsche Stelle am Hammer, H = 1,00 m
19	Holz, Auflage der Wasserradachse, H = 0,60 m

Die Auswertung mittels Auflichtmikroskop ergab folgende Ergebnisse:

Probennummer	Auswertung
1	Spinnen Pilzsporen von Schimmelpilzen
6	eventuell Staublaus
8	Pilzsporen mit Mycel (eventuell Holzpilz) Pilz lässt sich mit Laktophenolblau nicht anfärben Kiefernpollen größere Ansammlung von Pilzsporen in der Cellulose
10	Ansammlung von Pilzsporen um einen Holzsplitter herum Pilz am Holz und im Holz; Pilzmycel spaltet sich auf
12	Nadelholzpollen Schimmelpilzsporen
18	keine Pilze nur Materialspuren

MLT 1400 dtSCH**1 Stck. MUNTERS-Luftentfeuchter, Typ MLT 1400**

Sorptionsentfeuchter in kompakter betriebsfertiger Ausführung besonders geeignet für hohe Entfeuchtungsleistung bei niedrigem Energiebedarf mit:

- Gehäuse aus verzinktem Stahlblech, lackiert, einschl. Schlauchanschlußstutzen,
- Titanium-Silikagel-Sorptionsrotor bestehend aus abriebfestem Sorptionsmittel mit speziell entwickelter Mikroporenstruktur und hoher innerer Stabilität, besonders geeignet für den thermodynamischen Entfeuchtungsprozeß, einsetzbar auch bei freiem Wasser im Luftstrom, unbrennbar und mit Wasser zu reinigen, mit außenliegendem Zahnkranz für den Antrieb,
- Wärmerückgewinnungssektor zur anteiligen Vorerwärmung der Regenerations-Zuluft,
- Rotordichtungen, abriebfest, für die Trennung der beiden Luftströme oben und unten,
- Getriebemotor mit Riemenscheibe und Zahnriemen für Rotorantrieb,
- Filtermatten, Güteklasse G3, im Prozeß- und Regenerationsluft-Ansaug,
- Radialventilatoren für den Prozeß- und Regenerationsluftstrom mit getrennten Antriebsmotoren und abgedichtetem internen Luftführungssystem, Prozeßluftventilator in verstärkter Ausführung für den Betrieb mit erhöhter Luftmenge,
- Erhitzer, elektrisch, in 2-stufiger Ausführung für die Erwärmung der Regenerations-Zuluft,
- Übertemperatur-Sicherheitssystem (HTCO) mit zwei Thermostaten automatisch bzw. von Hand rückstellbar gemäß IEC-Bestimmungen,
- Erweitertes-Kontroll- und Anzeigepanel mit Meldeleuchten für NETZ/BETRIEB/STÖRUNG, 7 LED's für Betrieb der Motore und des Erhitzers sowie Störung für Filterverschmutzung, zusätzlich Anzeige der Regenerationstemperatur,
- Wahlschalter MAN/AUTO für den wahlweisen Betrieb mit einem externen Feuchtemesser,
- Externe EIN-/AUS-Schaltung sowie Störungsmeldung über potentialfreie Kontakte möglich,
- Steuerung entsprechend den einschlägigen EG-Normen gefertigt und anschlussfertig verdrahtet.

Technische Daten:**Prozeßluft**

Luftmenge, frei ausblasend:

1500 m³/h

Luftmenge, nominal:

1400 m³/h

Pressung, extern verfügbar, nominal, Pst. ca.:	min. 300 Pa
Regenerationsluft	
Luftmenge, nominal:	254 m ³ /h
Pressung, extern verfügbar, nominal, Pst. ca.:	min. 300 Pa
Entfeuchtungsleistung	
Eintrittszustand der Prozeßluft 20°C, 60% r.F.:	145,0 l/24h
Energiebedarf	
E-Anschluß:	3 x 400V, 50Hz, 8,4 kW
Abmessungen und Gewicht:	
Höhe:	1352 mm
Breite:	715 mm
Tiefe:	590 mm
Gewicht:	143 kg
Geräuschpegel	
Maximaler Geräuschpegel ohne Luftleitungen	80 dB(A)

Weitere Informationen entnehmen Sie bitte dem Typenblatt

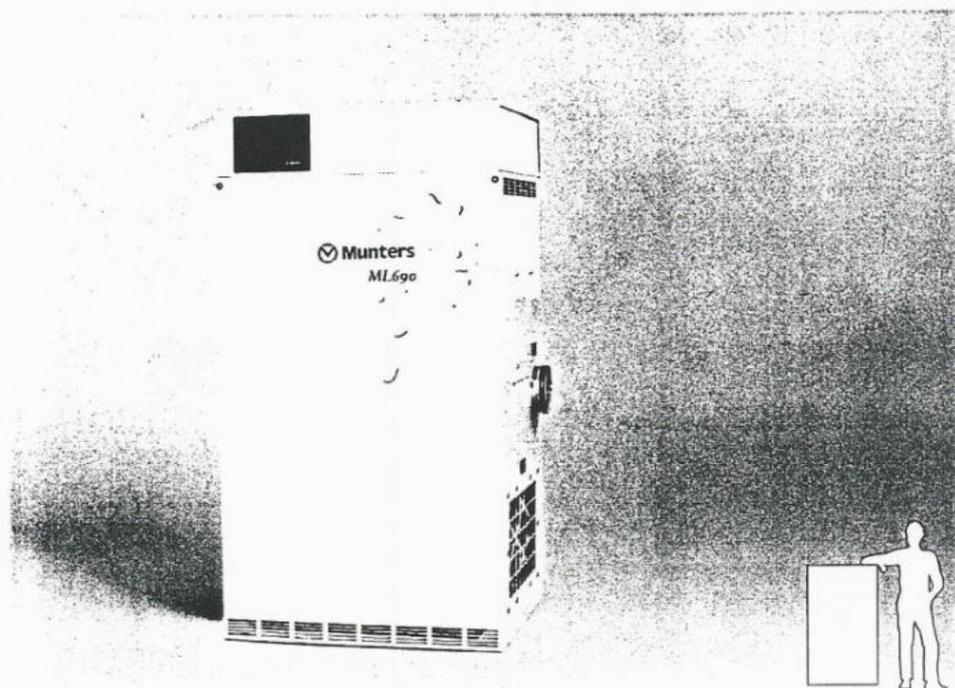
Preis

EUR

Entfeuchter der ML-Serie

Entfeuchtungsaggregate – komplett und betriebsbereit

ML690



Hoher Wirkungsgrad und hohe Betriebssicherheit

- Sorptionsentfeuchtung – hoher Wirkungsgrad auch unter 0°C
- Fortschrittliche Rotortechnik - hohe Kapazität und geringe Betriebskosten
- Geschlossene und dichte Rotoreinheit – entfeuchtet auf niedrige Taupunkte
- Rotorabdeckungen aus gehärtetem Kunststoff – korrosions-sichere Konstruktion
- Wohldimensioniertes elektrisches System – höhere Betriebssicherheit

Produktbeschreibung

ML690 ist ein Sorptionsentfeuchter für die effektive Entfeuchtung von Luft auf einen geringen Feuchtigkeitsgehalt. Die Entfeuchter der ML-Serie sind so konstruiert, daß die gesamte Luftbehandlung in einer geschlossenen Rotoreinheit erfolgt. Diese hat dicht schließende Rotorabdeckungen aus wärmebeständigem, gehärtetem Kunststoff mit getrennten Sektoren für die Führung aller Luftströme – Entfeuchtung, Regeneration und Wärmerückgewinnung. Festigkeit und Korrosionsschutz der Entfeuchter wurden mit der serienmäßigen Fertigung des Rahmens und der abnehmbaren Außen-

paneele aus einbrennlackiertem ALUZINK® optimiert.

Die elektrische Ausrüstung entspricht dem Standard EN 60204 (IEC204). Die auf Sammelschienen montierten elektrischen Komponenten bestehen aus halogenfreiem Kunststoff. Das elektrische System ist für Spannungen bis 690V und eine Umgebungstemperatur von 60°C dimensioniert.

Die Entfeuchter der ML-Serie werden gemäß den für die CE-Kennzeichnung erforderlichen harmonisierten europäischen Standards und technischen Spezifikationen hergestellt.

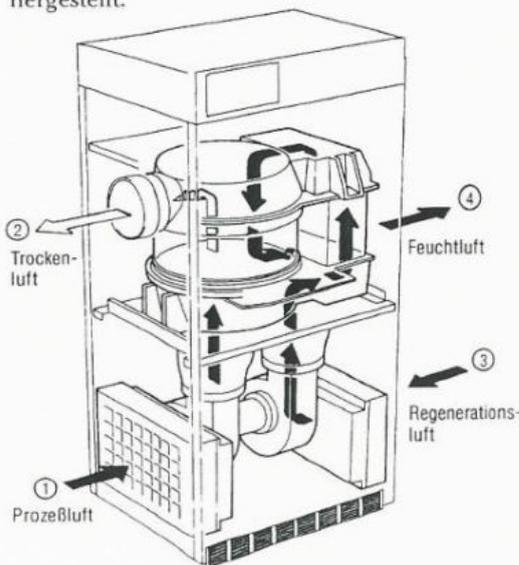
Problemlose Installation und einfacher Gebrauch

- Fortschrittliches Bedienfeld – diagnostische Fehleranzeige als Hilfestellung für Servicearbeiten
- Fernanzeige und -steuerung – Flexibilität bei der Planung
- Hygrostatregelung – wahlweise für das gesamte Aggregat oder nur für die Reg. Luftheizung
- Abnehmbare Paneele - rasche Installation und Wartung
- Austauschbare G3-Filter (EU3) – verbesserte Luftqualität
- Das Aggregat beansprucht wenig Bodenfläche - für die Installation in engen Räumen
- Luftanschlüsse Standard ISO 7807 – problemlose Installation von Luftkanälen
- Austauschbare Vorder- und Rückseiten – Trockenluft-Seite frei wählbar

Munters Rotortechnologie

Munters Sorptionsrotoren werden aus hoch wirksamen feuchtigkeitsaufnehmenden Stoffen hergestellt. Jeder Munters Entfeuchter ist mit einer eigens für diesen Typ entwickelten Rotortechnik versehen, d.h. Luftströme, Luftzustand, Rotorsektoren und Rotordrehzahl wurden optimiert, um dem Einsatzbereich des Entfeuchters gerecht zu werden. Die durchdachte Regeltechnik ermöglicht eine wirtschaftlichere Nutzung der zugeführten Energie.

Die Rotortechnik der ML-Serie zeichnet sich durch einen zusätzlichen Rotorsektor aus. Damit wird einerseits mehr Kapazität geschaffen und andererseits eine Wärmerückgewinnung ermöglicht, wodurch die erforderliche Anschlußleistung gering bleibt.

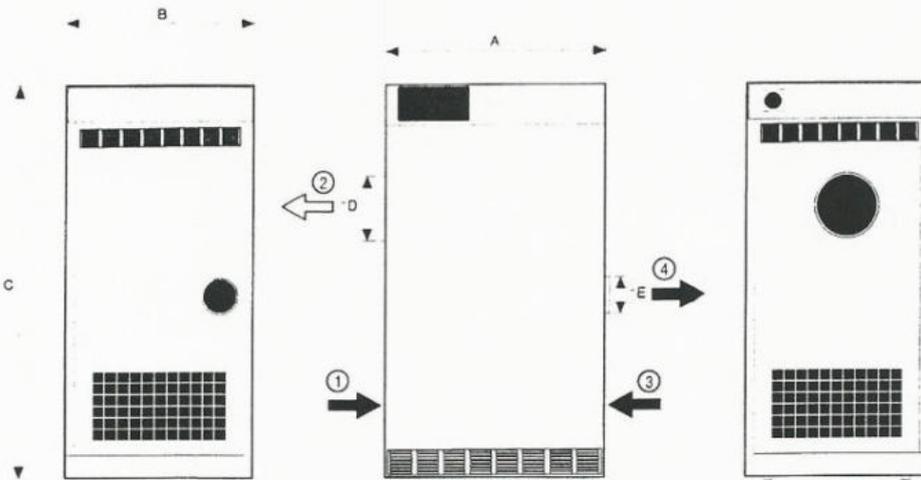


 **Munters**

Modell ML690

Der nachstehende Plan dient lediglich als Referenz für die Maßtabelle.

Maßstabgetreue und beschriftete AutoCad Pläne stehen im Munters DryCap Programm zur Verfügung.

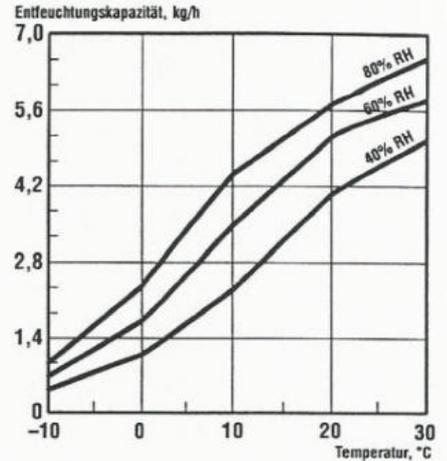


Breite (A)	Tiefe (B)	Höhe (C)	Durchm. (D)	Durchm. (E)	Gewicht
715 mm	590 mm	1352 mm	200 mm	125 mm	143 kg

Entfeuchtungskapazität

Vereinfachtes Diagramm mit ungefähren Kapazitätsangaben in kg/h. Für weitere Angaben wenden Sie sich bitte an Ihr nächstgelegenes Munters-Büro oder verwenden Sie das Munters DryCap-Programm.

1. Temperatur Prozebluft, °C
2. Relative Feuchtigkeit Prozebluft, % RH
3. Entfeuchtung, kg/h (entferntes Wasser kg pro Stunde)



Technische Spezifikation

Prozebluft¹

Nomineller Luftstrom (m³/s) _____ 0,192
 Nomineller Luftstrom (m³/h) _____ 690
 Verfügbarer statischer Druck (Pa) _____ 300
 Leistung Ventilatormotor (kW) _____ 0,55

Regenerationsluft¹

Nomineller Luftstrom (m³/s) _____ 0,071
 Nomineller Luftstrom (m³/h) _____ 254
 Verfügbarer statischer Druck (Pa) _____ 300
 Leistung Ventilatormotor (kW) _____ 0,37

Anschlußleistung,

Spannung und Stromverbrauch

Anschlußleistung (kW) _____ 7,82
 200V 3~50Hz (A) _____ 24,1
 200V 3~60Hz (A) _____ -
 220V 3~50Hz (A) _____ -
 230V 3~50Hz (A) _____ 21,0
 380V 3~50Hz (A) _____ 12,7
 400V 3~50Hz (A) _____ 12,1
 415V 3~50Hz (A) _____ 11,6
 440V 3~60Hz (A) _____ 11,0

Heizelement für die Regenerationsluft

Heizleistung (kW) _____ 6,9
 Temperaturanstieg über dem
 Heizelement (°C) _____ 95

Sonstige technische Daten

Normaler Arbeitsbereich (°C) -20 / +40
 Leistung Antriebsmotor (W) _____ 10
 Max. Geräuschpegel ohne
 Luftkanäle (dBA) _____ 74
 Luftfilter, Standard _____ G3
 Elektrische Schutzklasse
 (Gehäuse) _____ IP44
 Elektrische Schutzklasse
 (elektrische Steuerung) _____ IP54
 Isolierklasse Ventilatormotor _____ F
 Isolierklasse Antriebsmotor _____ F
 Wert Übertemperaturschutz (°C) 160±5
 Anschluß,
 Fernsteuerung _____ 2A, 250 VAC (max)
 Alarm _____ 2A, 250 VAC (max)
 Spannung Kontaktpulen _____ 24 VAC

Zusatzrüstung

- Stundenzähler für die Anzeige der Betriebsstunden
- Alarm für verstopften Filter
- Alarm für Rotorstillstand
- Elektronisches Feuchtigkeitsregelsystem mit Alarm und Display
 Siehe Produktdatenblatt für RH98
- Luftgekühlter Kondensator
 Siehe Produktdatenblatt für ML690L
- Der Entfeuchter ist auch mit gebürstetem Edelstahlgehäuse lieferbar

¹ Die angeführten Werte beziehen sich auf 20°C und eine Luftdichte von 1,2 kg/m³



Munters Europe AB
 www.munters.com

Munters GmbH
 Postfach 80 07 80
 (Hans-Duncker-Str. 14)
 21007 Hamburg
 Tel 40 73416 01
 Fax 40 73416 131

Ansprechpartner

DH/MEA/PDE-0021-09/98

XVIII

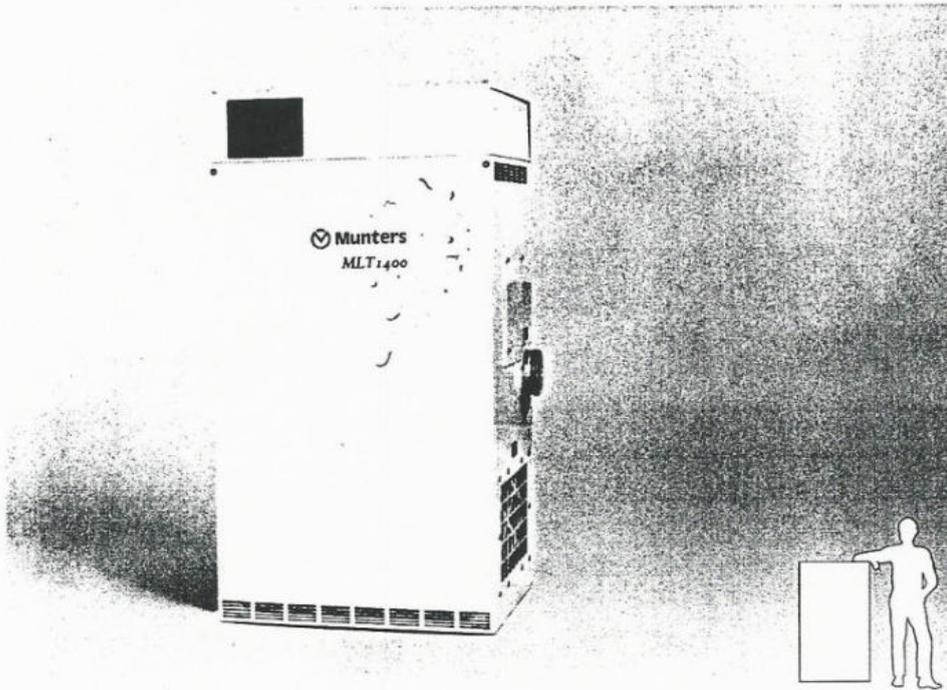
Änderungen ohne Vorankündigung vorbehalten

Hergestellt von Munters, Uppsala, Schweden
 Dra Aaa Inc. Lizenz 341101

Entfeuchter der MLT-Serie

Entfeuchtungsaggregate – komplett und betriebsbereit

MLT1400



Produktbeschreibung

MLT1400 ist ein Sorptionsentfeuchter mit äußerst geringem Energieverbrauch für die Entfeuchtung großer Luftströme. Die Entfeuchter der MLT-Serie sind so konstruiert, daß die gesamte Luftbehandlung in einer geschlossenen Rotoreinheit erfolgt. Diese hat dicht schließende Rotorabdeckungen aus wärmebeständigem, gehärtetem Kunststoff mit getrennten Sektoren für die Führung aller Luftströme – Entfeuchtung, Regeneration und Wärmerückgewinnung. Festigkeit und Korrosionsschutz der Entfeuchter wurden mit der serienmäßigen Fertigung des Rahmens und

der abnehmbaren Außenpaneele aus einbrennlackiertem ALUZINK® optimiert.

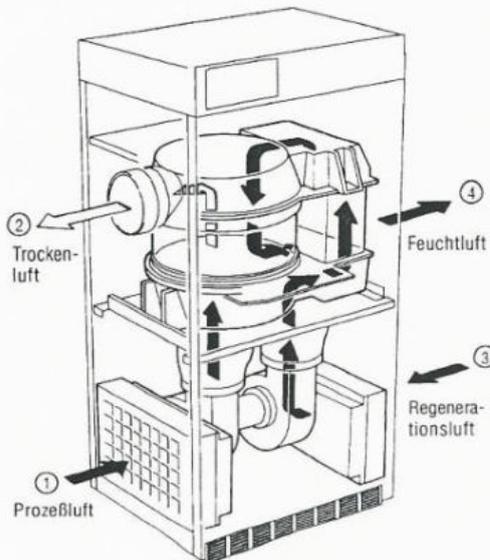
Die elektrische Ausrüstung entspricht dem Standard EN 60204 (IEC204). Die auf Sammelschienen montierten elektrischen Komponenten bestehen aus halogenfreiem Kunststoff. Das elektrische System ist für Spannungen bis 690V und eine Umgebungstemperatur von 60°C dimensioniert.

Die Entfeuchter der MLT-Serie werden gemäß den für die CE-Kennzeichnung erforderlichen harmonisierten europäischen Standards und technischen Spezifikationen hergestellt.

Munters Rotortechnologie

Munters Sorptionsrotoren werden aus hoch wirksamen feuchtigkeitsaufnehmenden Stoffen hergestellt. Jeder Munters Entfeuchter ist mit einer eigens für diesen Typ entwickelten Rotortechnik versehen, d.h. Luftströme, Luftzustand, Rotorsektoren und Rotordrehzahl wurden optimiert, um dem Einsatzbereich des Entfeuchters gerecht zu werden. Die durchdachte Regeltechnik ermöglicht eine wirtschaftlichere Nutzung der zugeführten Energie.

Die Rotortechnik der MLT-Serie zeichnet sich durch einen zusätzlichen Rotorsektor aus. Damit wird einerseits mehr Kapazität geschaffen und andererseits eine Wärmerückgewinnung ermöglicht, wodurch die erforderliche Anschlußleistung gering bleibt.



Hoher Wirkungsgrad und hohe Betriebssicherheit

- Sorptionsentfeuchtung – hoher Wirkungsgrad auch unter 0°C
- Fortschrittliche Rotortechnik – hohe Kapazität und geringe Betriebskosten
- Rotorabdeckungen aus gehärtetem Kunststoff – korrosionssichere Konstruktion
- Wohldimensioniertes elektrisches System – höhere Betriebssicherheit

Problemlose Installation und einfacher Gebrauch

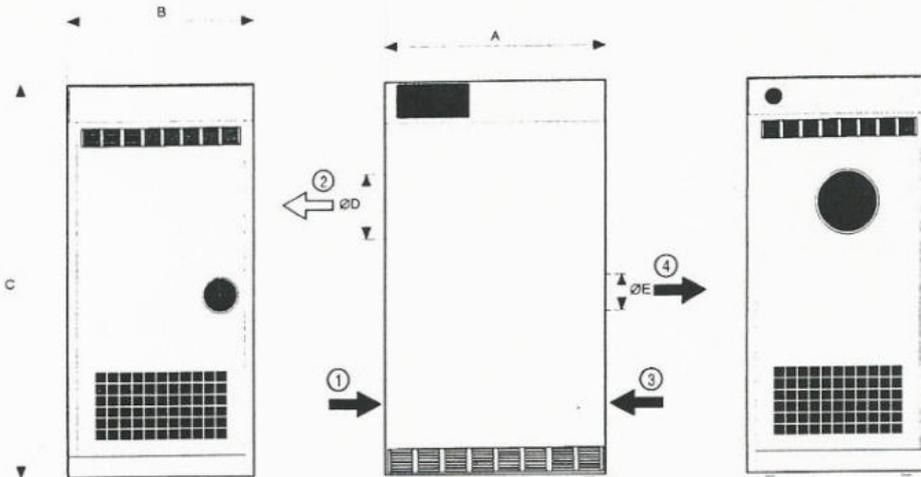
- Fortschrittliches Bedienfeld – diagnostische Fehleranzeige als Hilfestellung für Servicearbeiten
- Fernanzeige und -steuerung – Flexibilität bei der Planung
- Hygrostatregelung – wahlweise für das gesamte Aggregat oder nur für die Reg. Luftheizung
- Abnehmbare Paneele – rasche Installation und Wartung
- Austauschbare G3-Filter (EU3) – verbesserte Luftqualität
- Das Aggregat beansprucht wenig Bodenfläche – für die Installation in engen Räumen
- Luftanschlüsse Standard ISO 7807 – problemlose Installation von Luftkanälen
- Austauschbare Vorder- und Rückseiten – Trockenluft-Seite frei wählbar

 **Munters**

Modell MLT1400

Der nachstehende Plan dient lediglich als Referenz für die Maßtabelle

Maßstabgetreue und beschriftete AutoCad Pläne stehen im Munters DryCap Programm zur Verfügung



Breite (A)	Tiefe (B)	Höhe (C)	Durchm. (D)	Durchm. (E)	Gewicht
715 mm	590 mm	1352 mm	200 mm	125 mm	143 kg

Technische Spezifikation

Prozeßluft¹

Nomineller Luftstrom (m³/s) _____ 0,388
 Nomineller Luftstrom (m³/h) _____ 1400
 Verfügbarer statischer Druck (Pa) _____ 300
 Leistung Ventilatormotor (kW) _____ 1,1

Regenerationsluft¹

Nomineller Luftstrom (m³/s) _____ 0,071
 Nomineller Luftstrom (m³/h) _____ 254
 Verfügbarer statischer Druck (Pa) _____ 300
 Leistung Ventilatormotor (kW) _____ 0,37

Anschlußleistung,

Spannung und Stromverbrauch

Anschlußleistung (kW) _____ 8,37
 200V 3~50 Hz (A) _____ 26,3
 200V 3~60 Hz (A) _____ -
 220V 3~50 Hz (A) _____ -
 230V 3~50 Hz (A) _____ 22,8
 380V 3~50 Hz (A) _____ 13,8
 400V 3~50 Hz (A) _____ 13,2
 415V 3~50 Hz (A) _____ 12,8
 440V 3~60 Hz (A) _____ -

Heizelement für die Regenerationsluft

Heizleistung (kW) _____ 6,9
 Temperaturanstieg über dem Heizelement (°C) _____ 95

Sonstige technische Daten

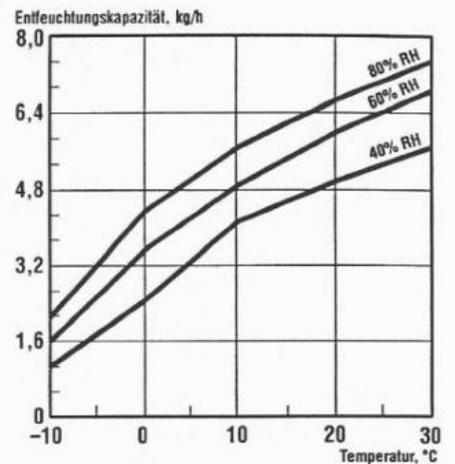
Normaler Arbeitsbereich (°C) _____ -20/+40
 Leistung Antriebsmotor (W) _____ 10
 Max. Geräuschpegel ohne Luftkanäle (dBA) _____ 80
 Luftfilter, Standard _____ G3
 Elektrische Schutzklasse (Gehäuse) _____ IP44
 (elektrische Steuerung) _____ IP54
 Isolierklasse Ventilatormotor _____ F
 Isolierklasse Antriebsmotor _____ F
 Wert Übertemperaturschutz (°C) _____ 160±5
 Anschluß,
 Fernsteuerung _____ 2 A, 250 VAC(max)
 Alarm _____ 2 A, 250 VAC(max)
 Spannung Kontaktpulen _____ 24 VAC

¹ Die angeführten Werte beziehen sich auf 20°C und eine Luftdichte von 1,2 kg/m³

Entfeuchtungskapazität

Vereinfachtes Diagramm mit ungefähren Kapazitätsangaben in kg/h. Für weitere Angaben wenden Sie sich bitte an Ihr nächstgelegenes Munters-Büro oder verwenden Sie das Munters DryCap Programm

1. Temperatur Prozeßluft, °C
2. Relative Feuchtigkeit Prozeßluft, % RH
3. Entfeuchtung, kg/h (entferntes Wasser kg pro Stunde)



Zusatzrüstung

- Stundenzähler für die Anzeige der Betriebsstunden.
- Alarm für verstopften Filter
- Alarm für Rotorstillstand
- Elektronisches Feuchtigkeitsregelsystem mit Alarm und Display Siehe Produktdatenblatt für RH98
- Luftgekühlter Kondensator Siehe Produktdatenblatt für MLT1400L
- Der Entfeuchter ist auch mit gebürstetem Edelstahlgehäuse lieferbar.



Munters Europe AB
 www.munters.com

Munters GmbH
 Postfach 80 07 80
 (Hans-Duncker-Str. 14)
 21007 Hamburg
 Tel 40 73416 01
 Fax 40 73416 131

Ansprechpartner

DH/MEA/PDE-0025-09/98

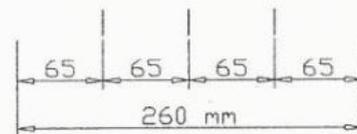
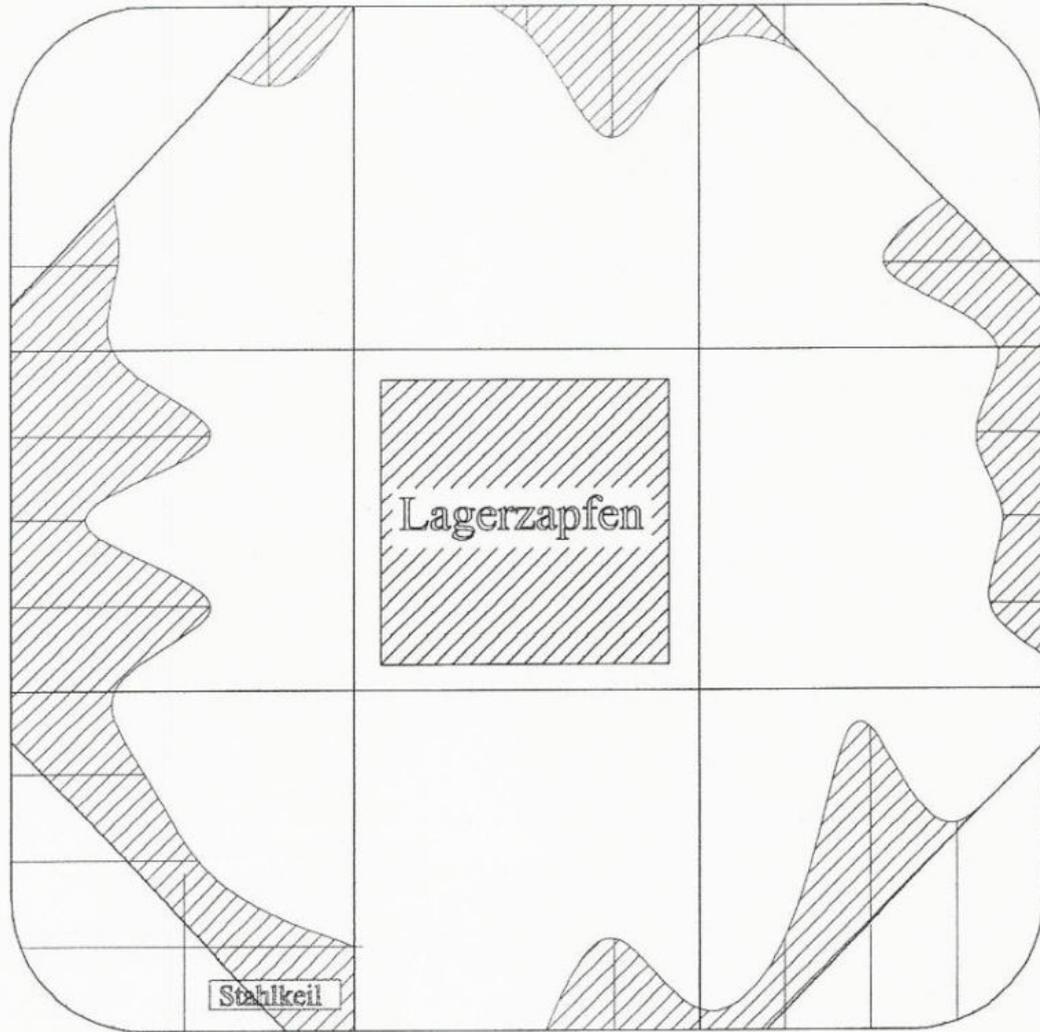
XX

Anhang II

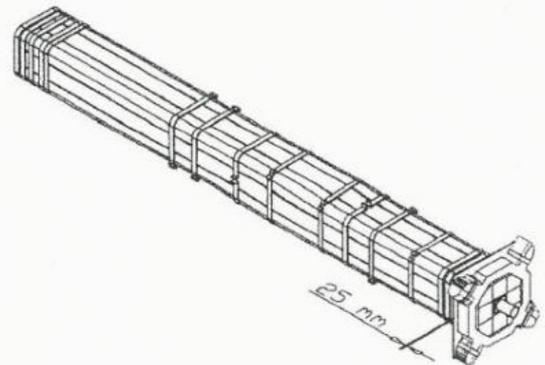
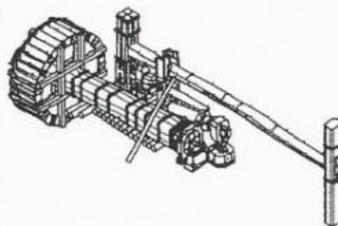
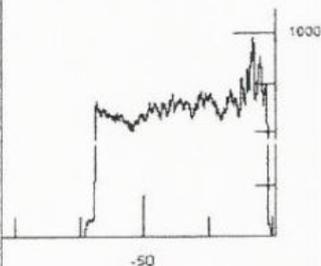
Diagnose der Hammerkonstruktion des Storhammers durch die Bohrwiderstandmessung

Verzeichnis Schnittzeichnungen

1. Welle	Blätter 1-18
2. Drumstütze-Ost	1-9
3. Drumquerbalken	1-12
4. Hammerstiel	1-6
5. Prellholz	1-9
6. Drumbalken-West	1-8
7. Wasserradstreben	1-10



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
 Die Hammerschmiede des
 Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
 C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
 2002/3

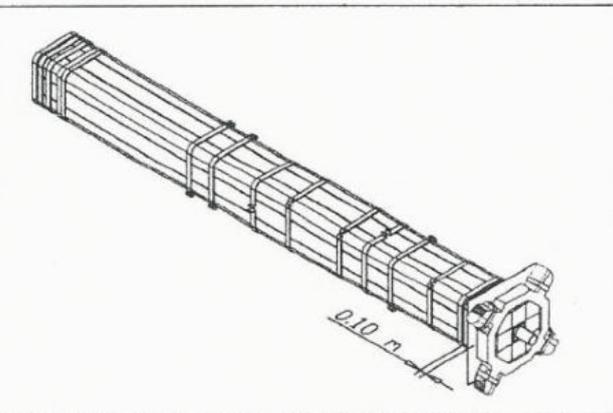
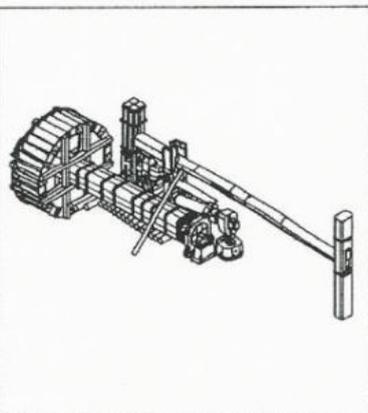
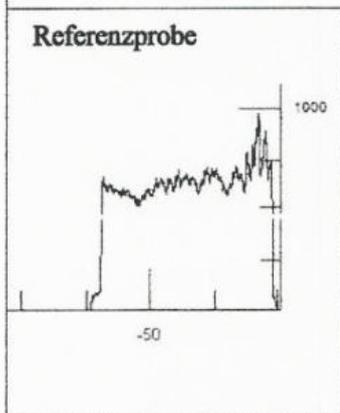
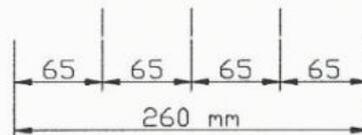
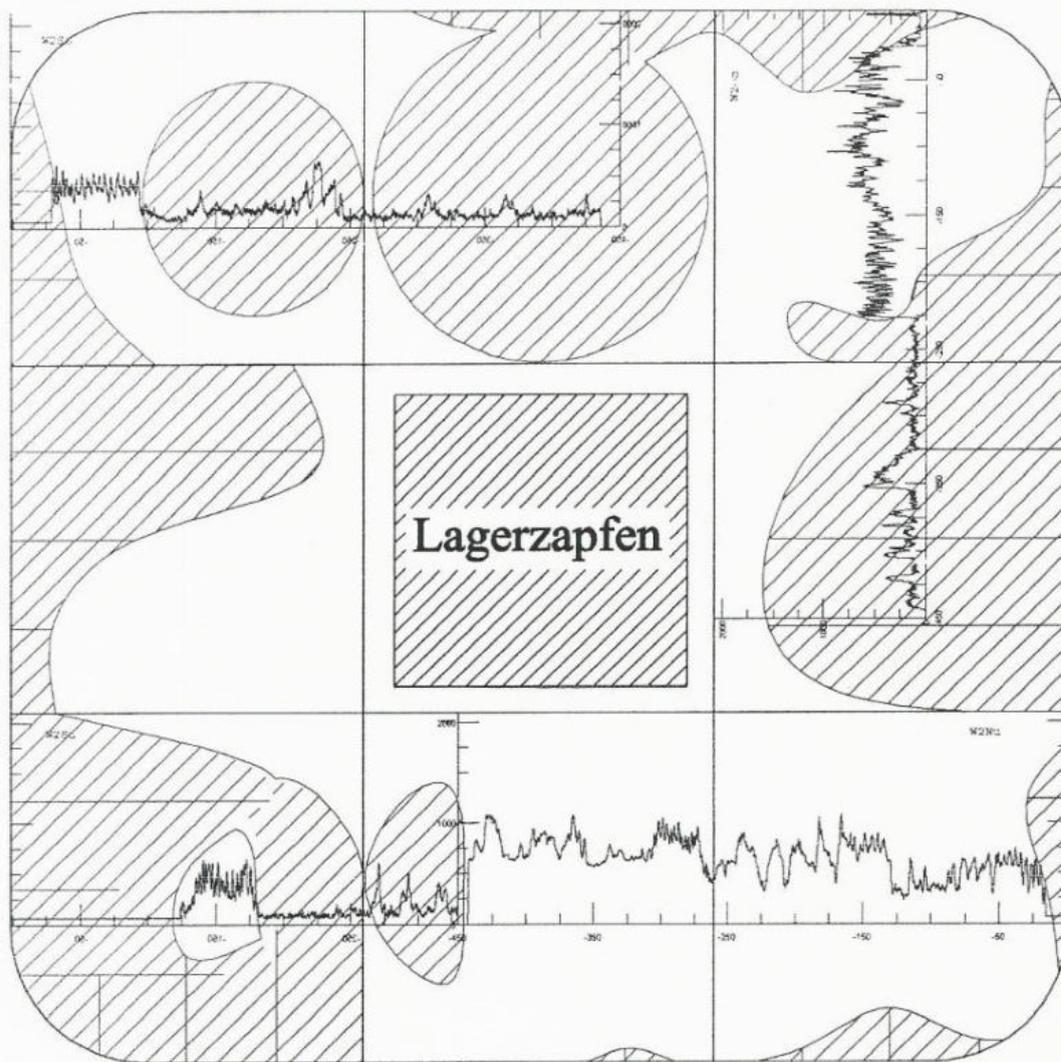
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

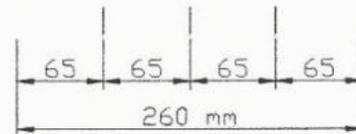
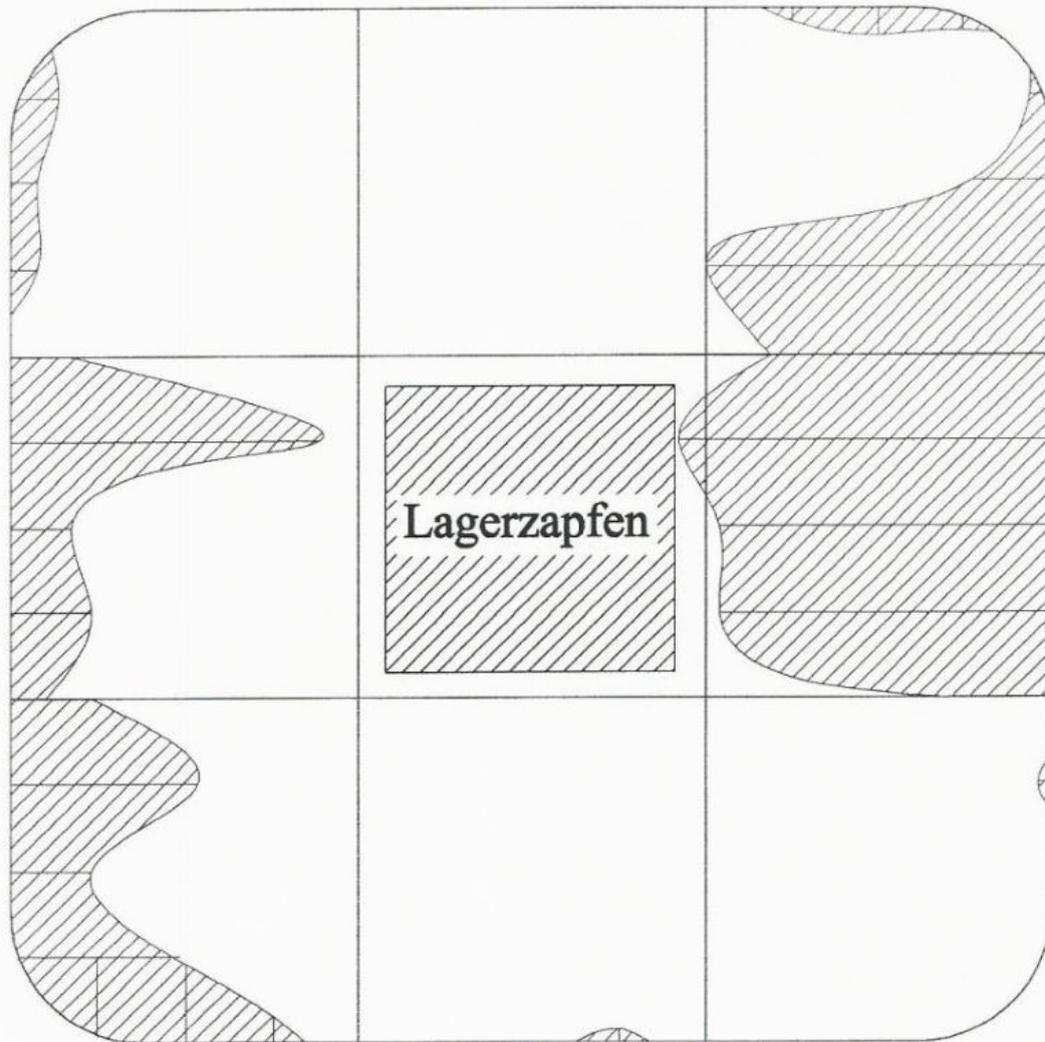
Titel:
 Welle
 Schnitt 1

Bemerkung:
 Diagnose durch Ein-
 dring- und Bohrwider-
 standsmessung

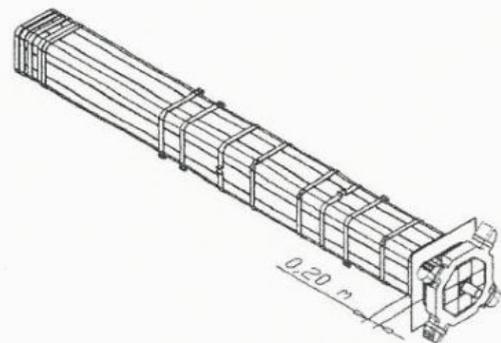
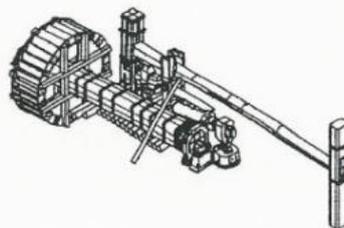
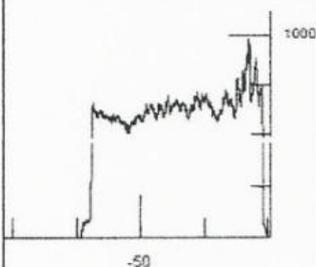
Datei:
 Welle Schnitt 1
 Blatt:
 1/18



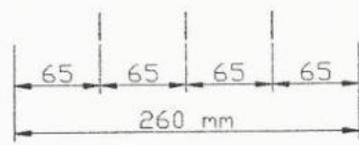
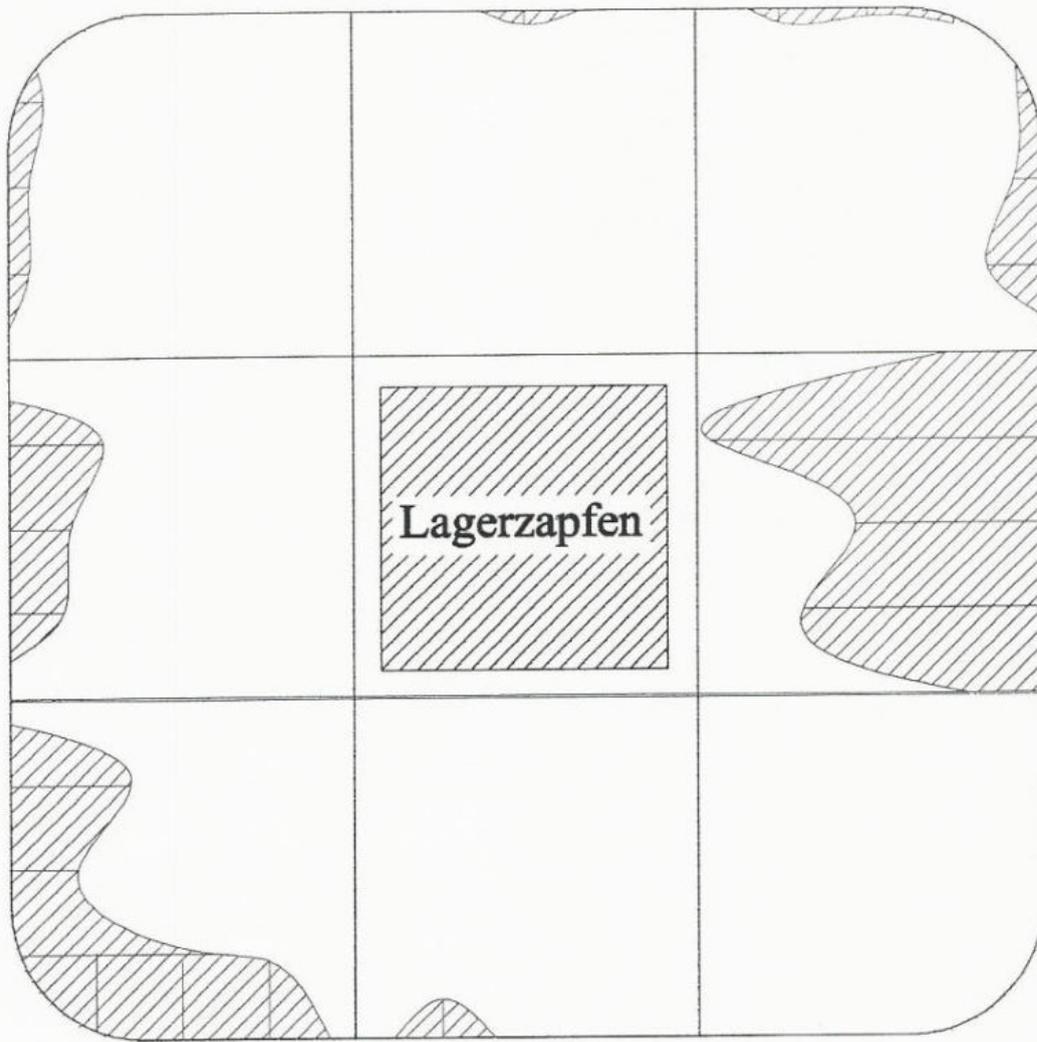
<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p> <p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>			<p>Titel: Welle Schnitt 2</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung</p> <p>Datei: Welle Schnitt 2</p> <p>Blatt: 2/18</p>



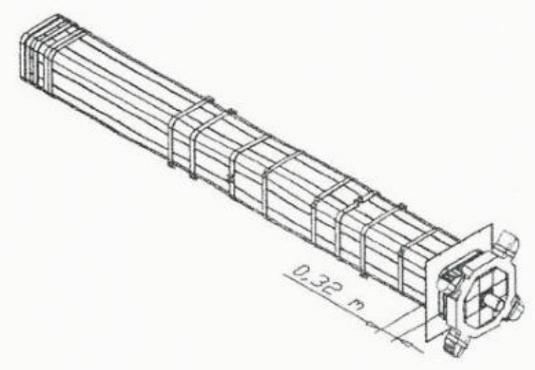
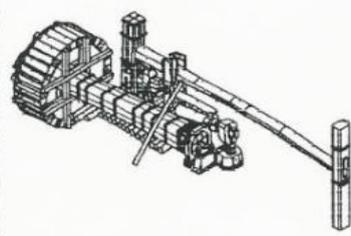
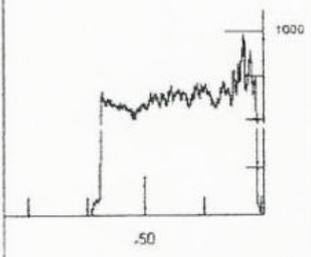
Referenzprobe



<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p> <p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>			<p>Titel: Welle Schnitt 3</p>	<p>Bemerkung: Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung</p>	<p>Datei: Welle Schnitt 3</p> <p>Blatt: 3/18</p>



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung
 FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

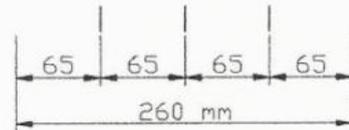
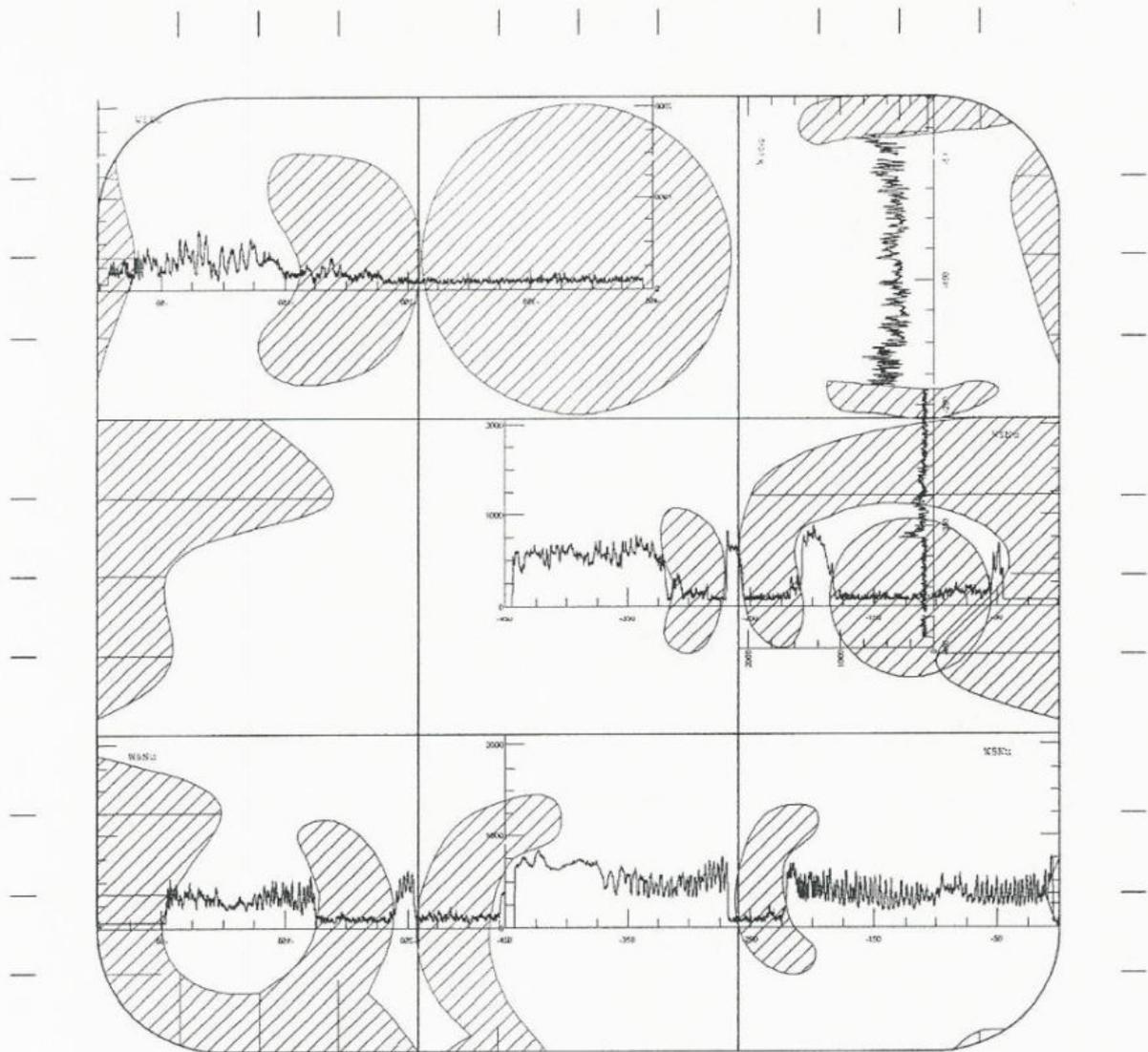
Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

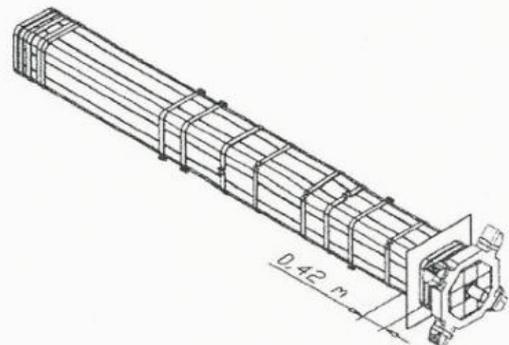
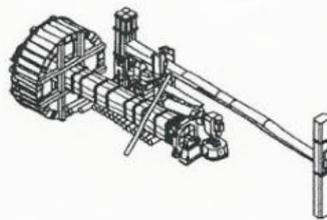
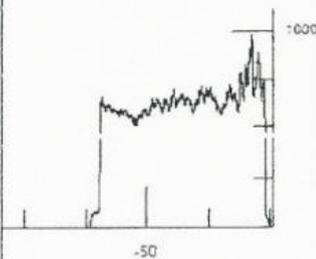
Titel:
Welle Schnitt 4

Bemerkung:
 Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

Datei:
 Welle Schnitt 4
 Blatt:
 4/18



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

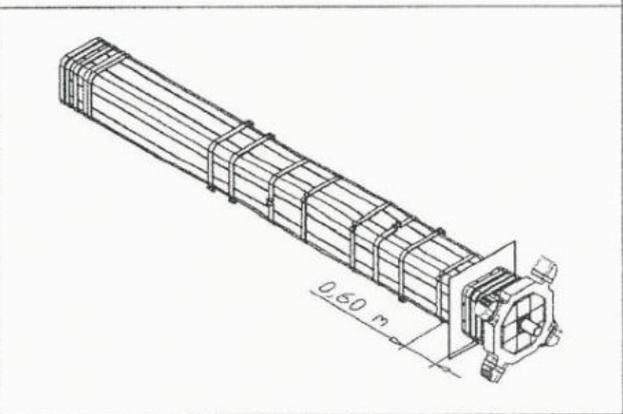
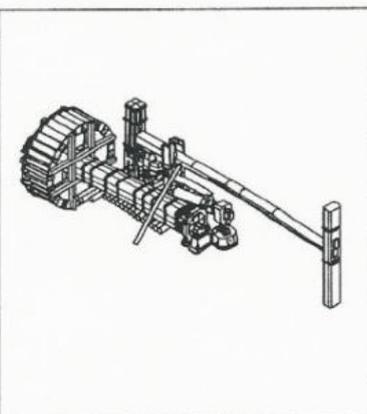
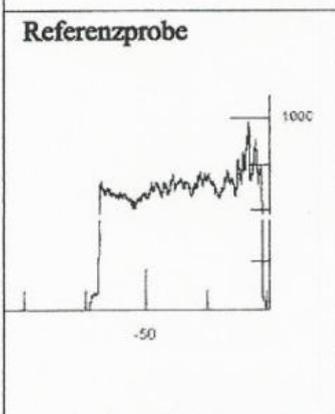
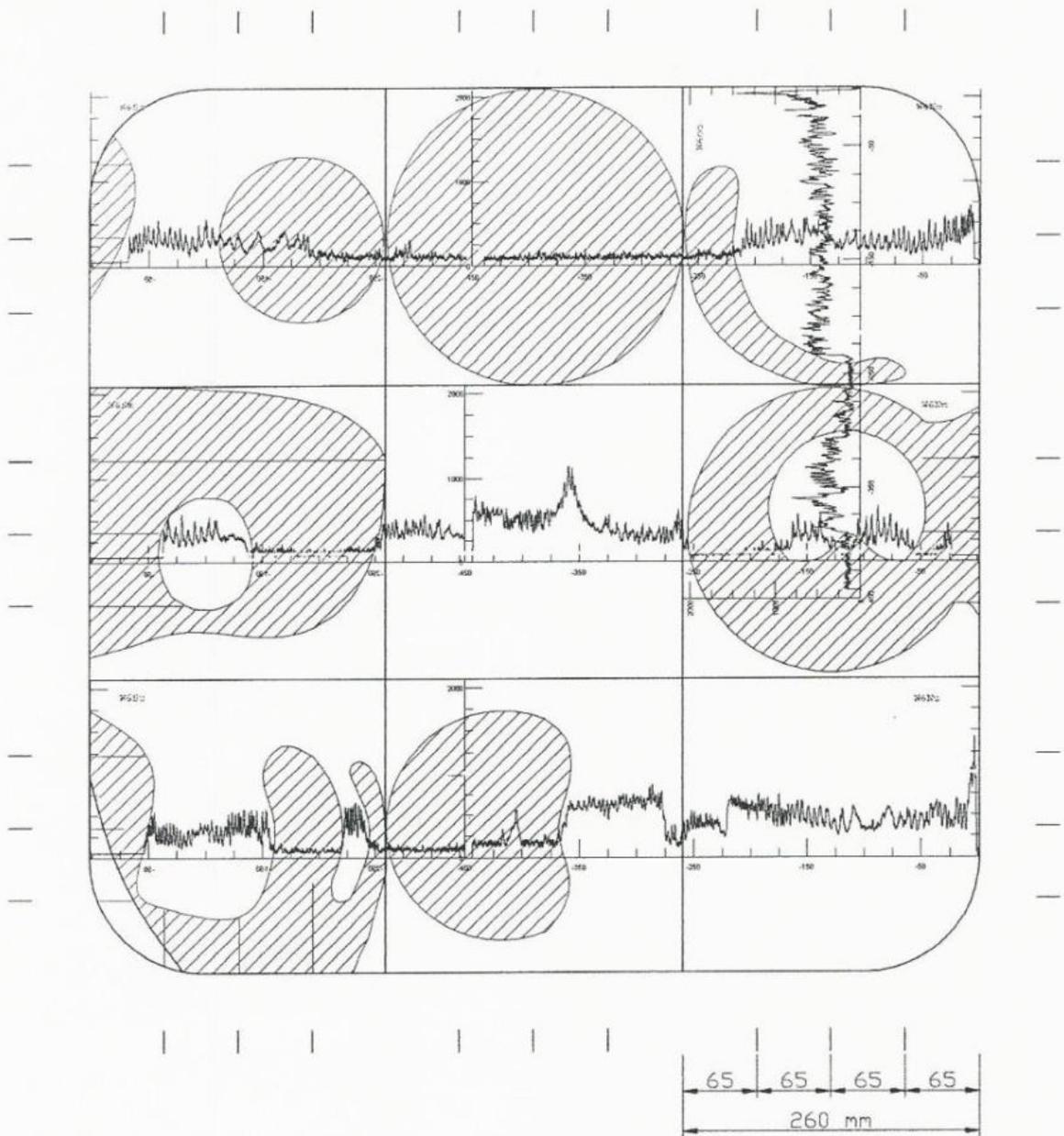
Datum:
2002/3

Titel:
Welle Schnitt 5

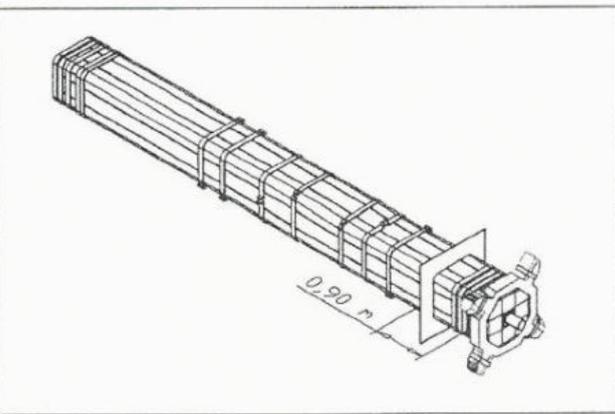
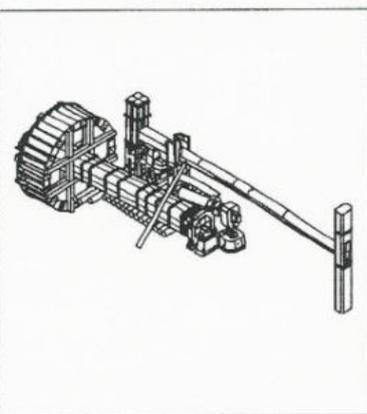
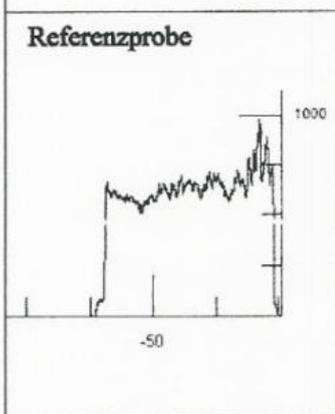
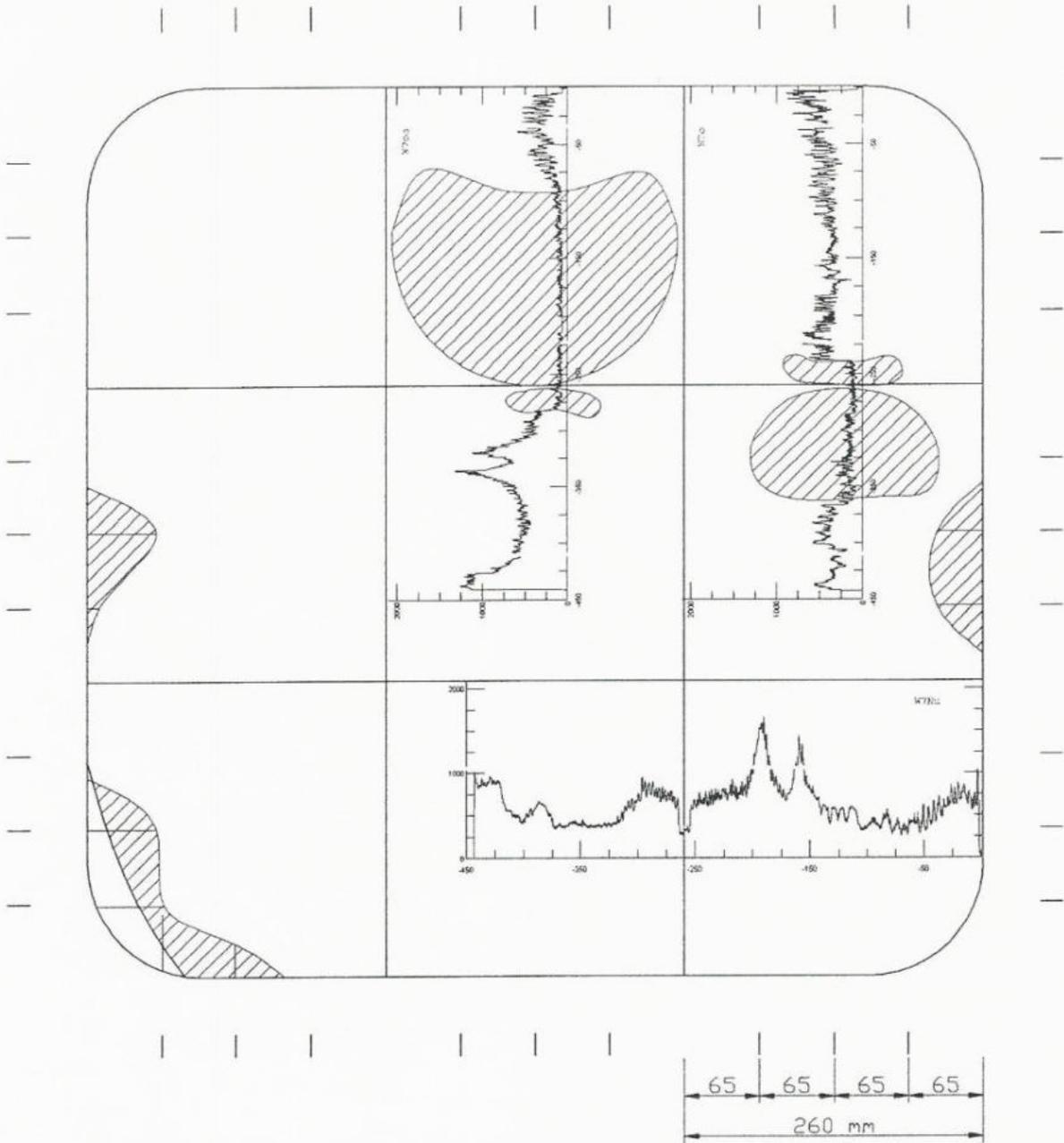
Bemerkung:
 Diagnose durch Eindring- und Bohrwid-
 standsmessung

Detail:
 Welle Schnitt 5
 Blatt:
 5/18

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwid-
 stand



<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>	
<p>Abszissensachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>		<p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>Titel: Welle Schnitt 6</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Eindring- und Bohrwid- standsmessung</p>	<p>Datei: Welle Schnitt 6 Blatt: 6/18</p>



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung
 FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

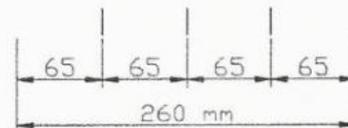
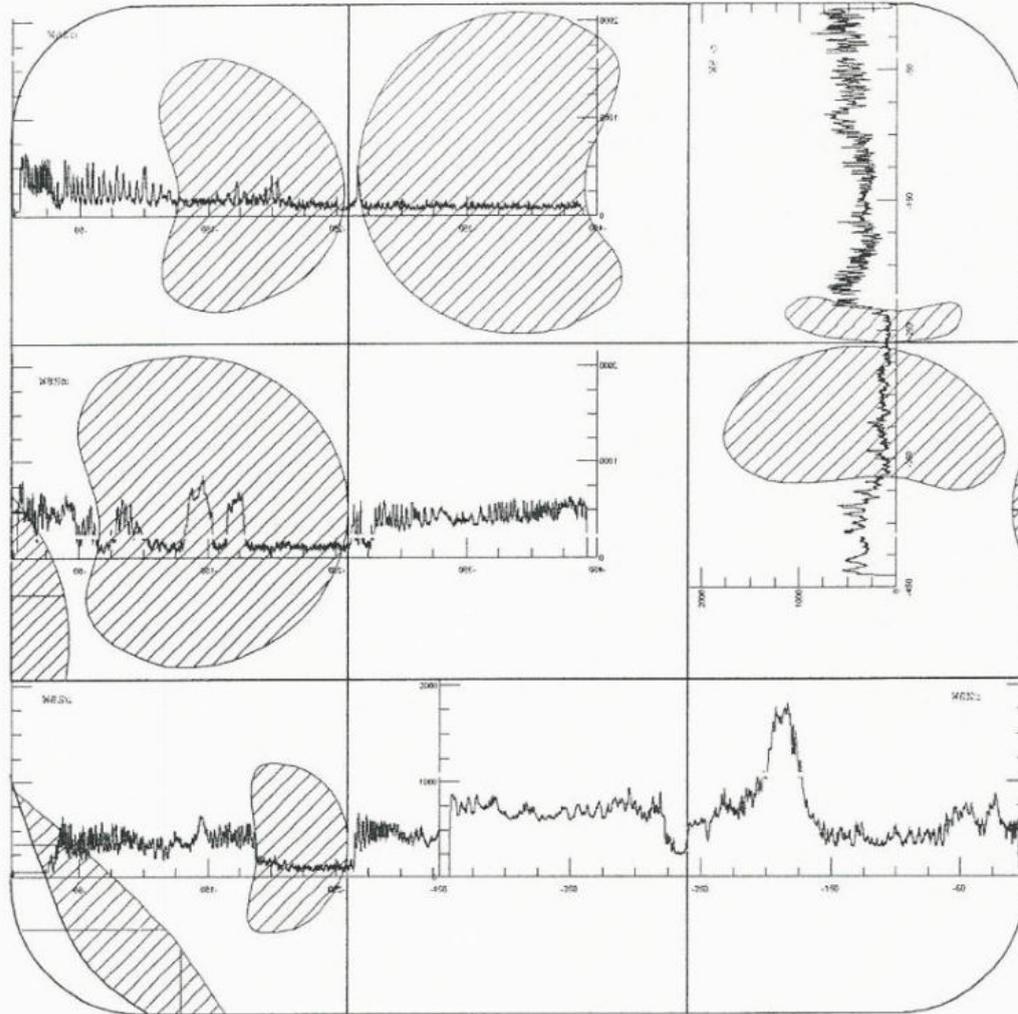
Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

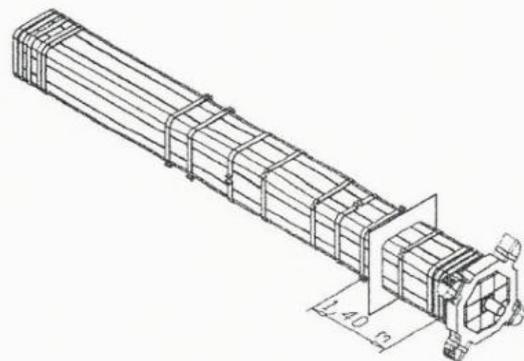
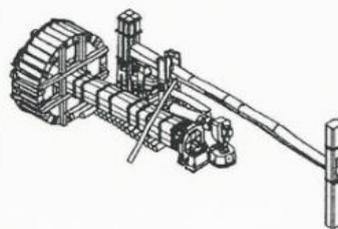
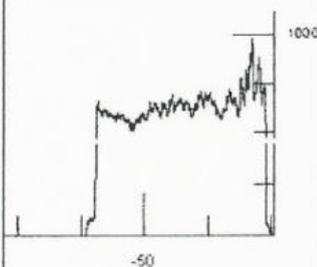
Titel:
Welle Schnitt 7

Bemerkung:
 Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

Datei:
 Welle Schnitt 7
 Blatt:
 7/18



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

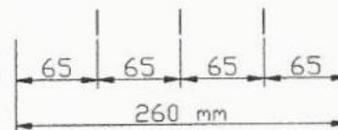
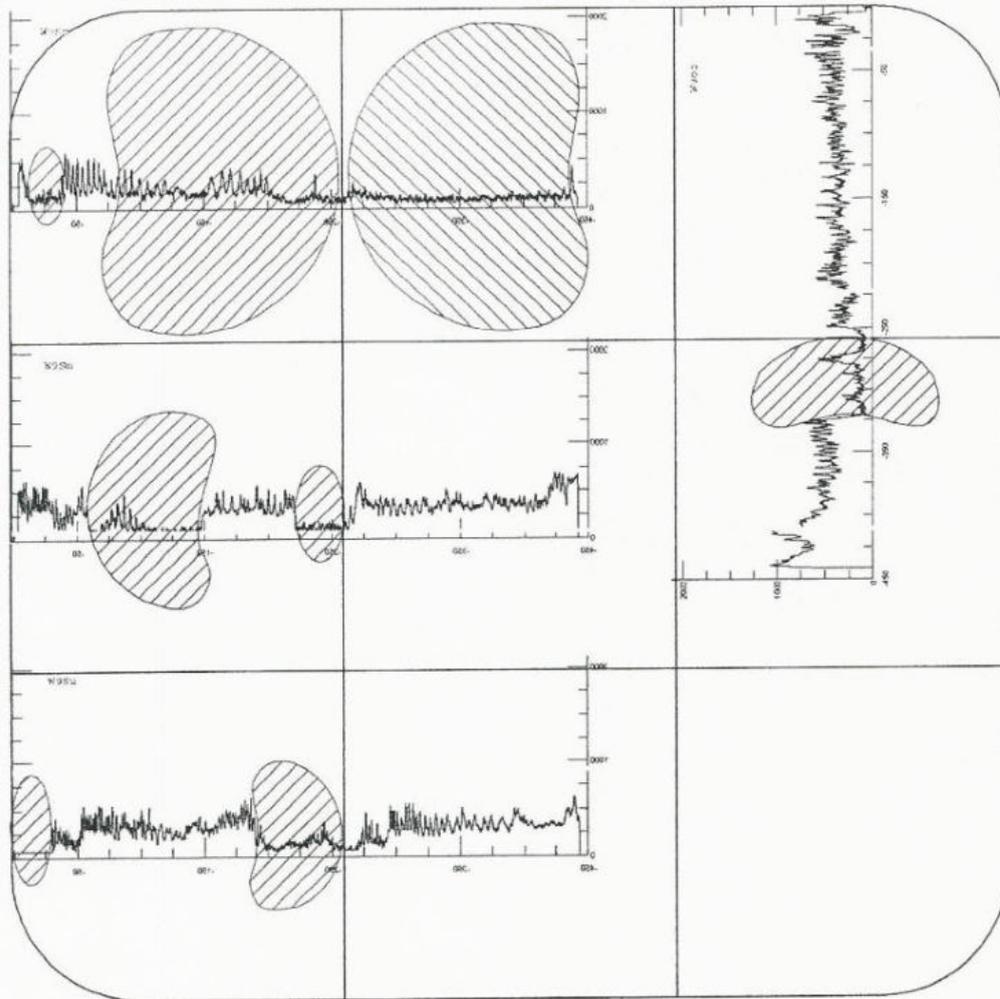
Abzissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

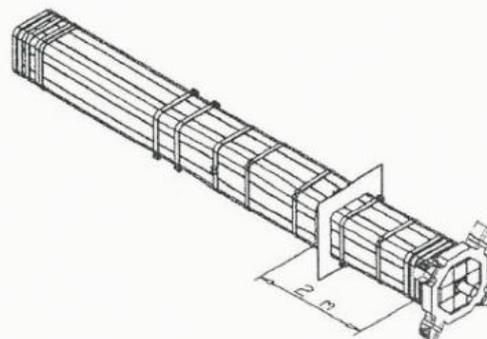
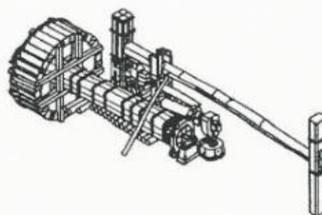
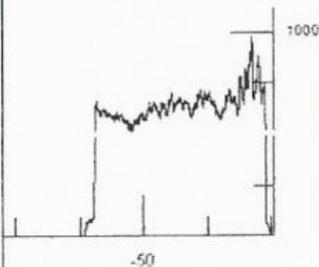
Titel:
Welle Schnitt 8

Bemerkung:
 Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

Datei:
 Welle Schnitt 8
 Blatt:
 8/18



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
 2002/3

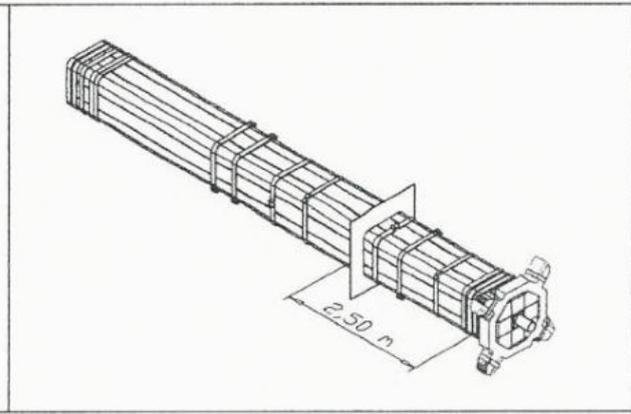
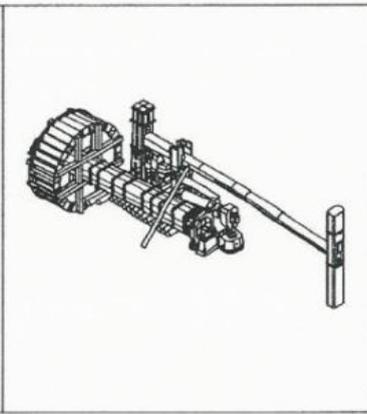
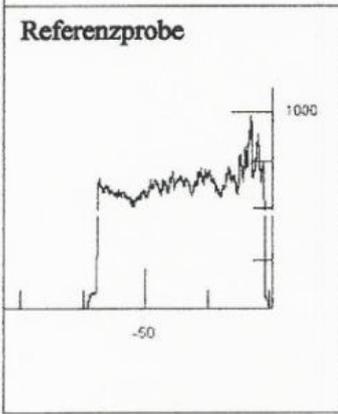
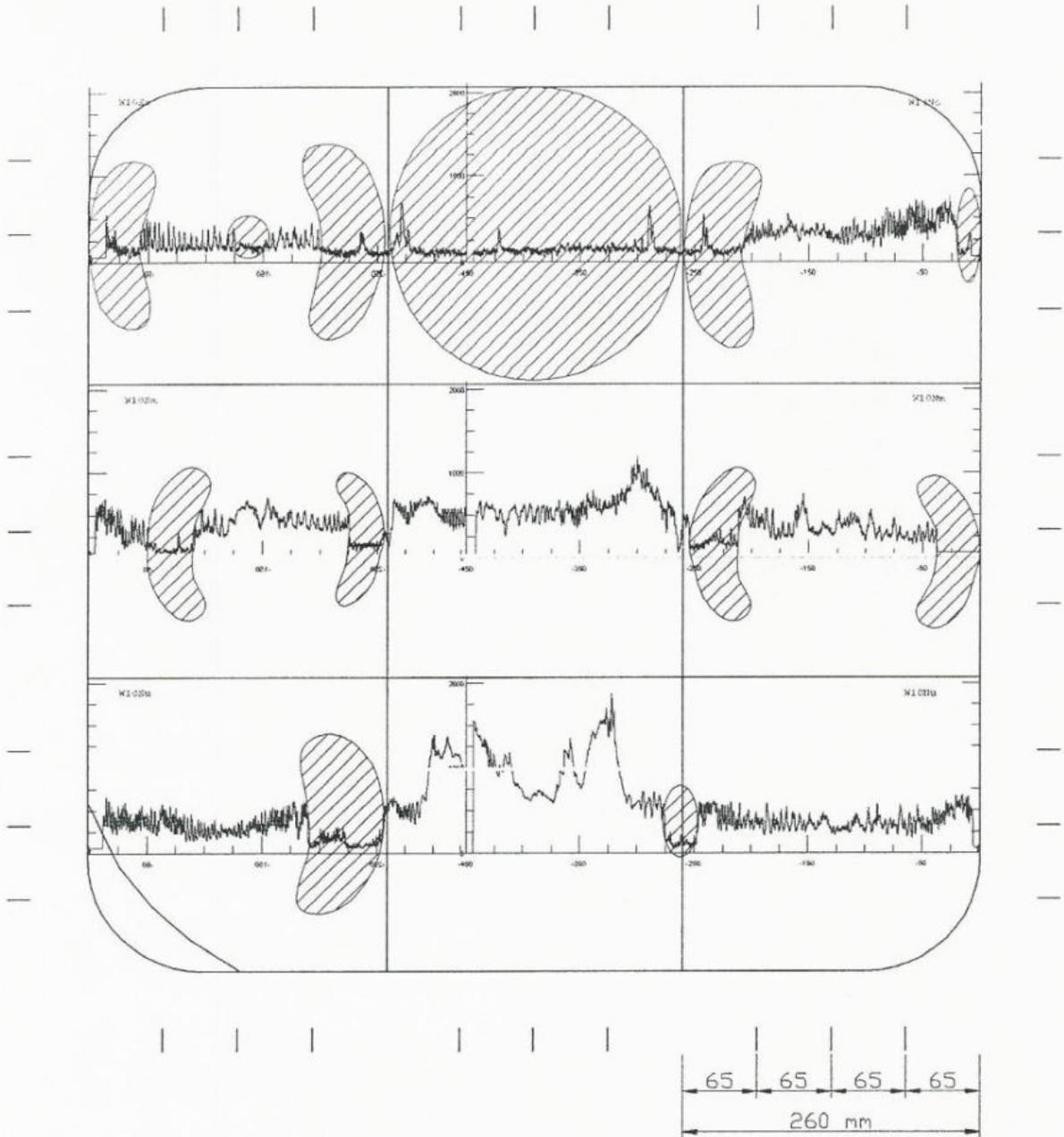
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

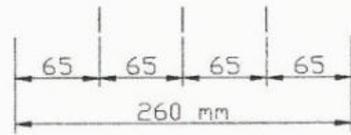
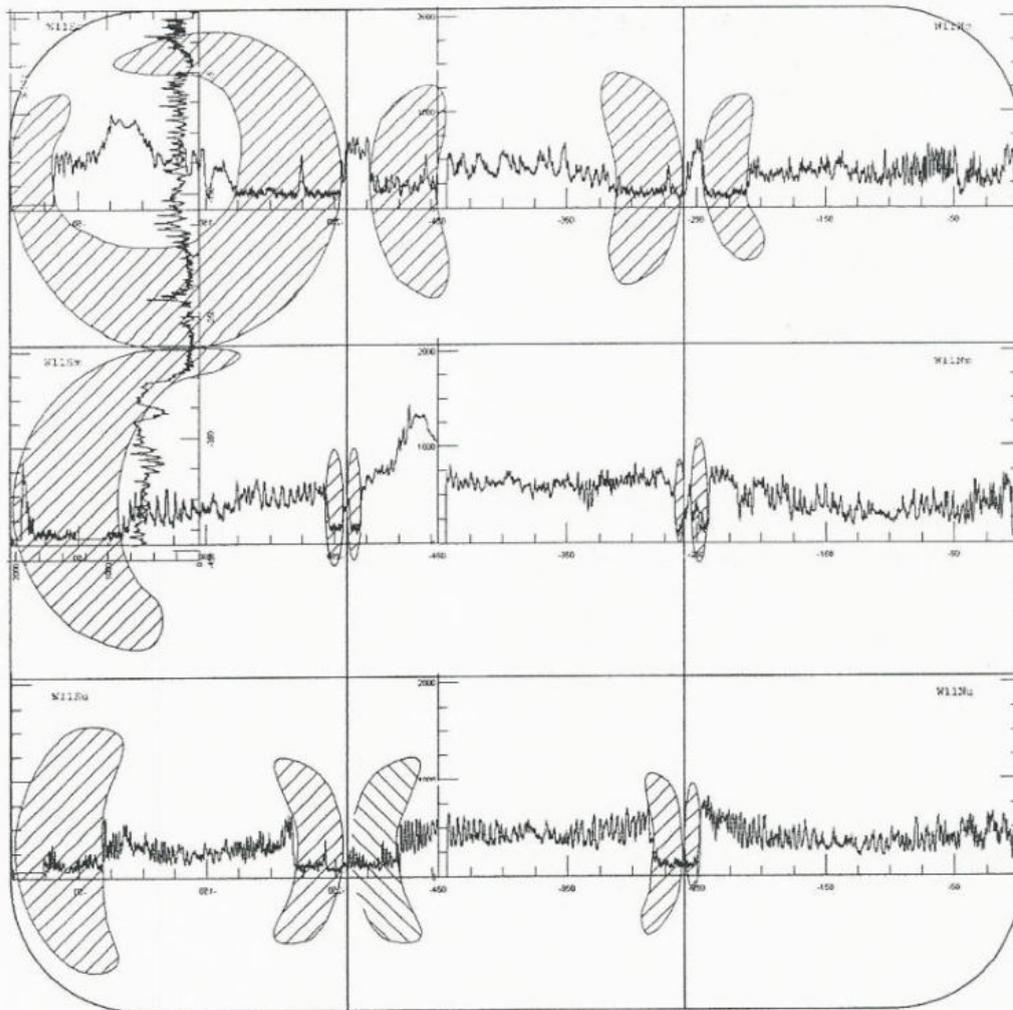
Titel:
Welle Schnitt 9

Bemerkung:
 Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

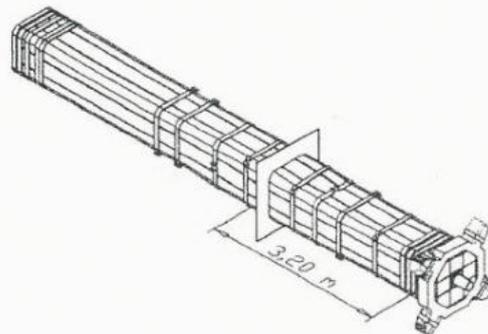
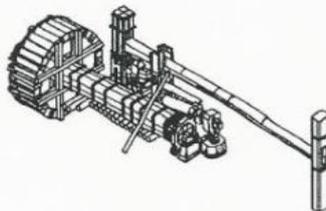
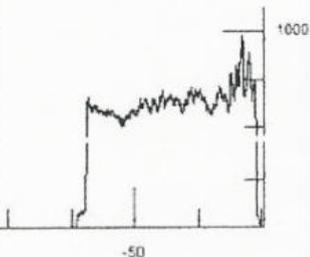
Detail:
 Welle Schnitt 9
 Blatt:
 9/18



<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Kiefer	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Titel: Welle Schnitt 10	Bemerkung: Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung	Datol: Welle Schnitt 10 Blatt: 10/18
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand					



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

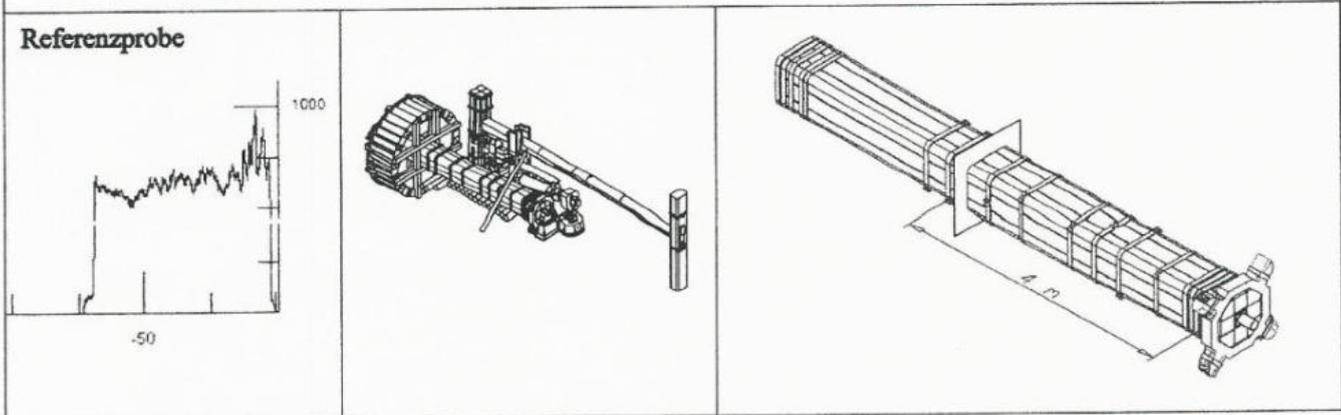
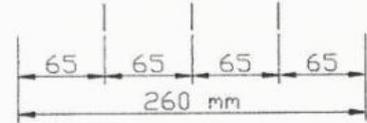
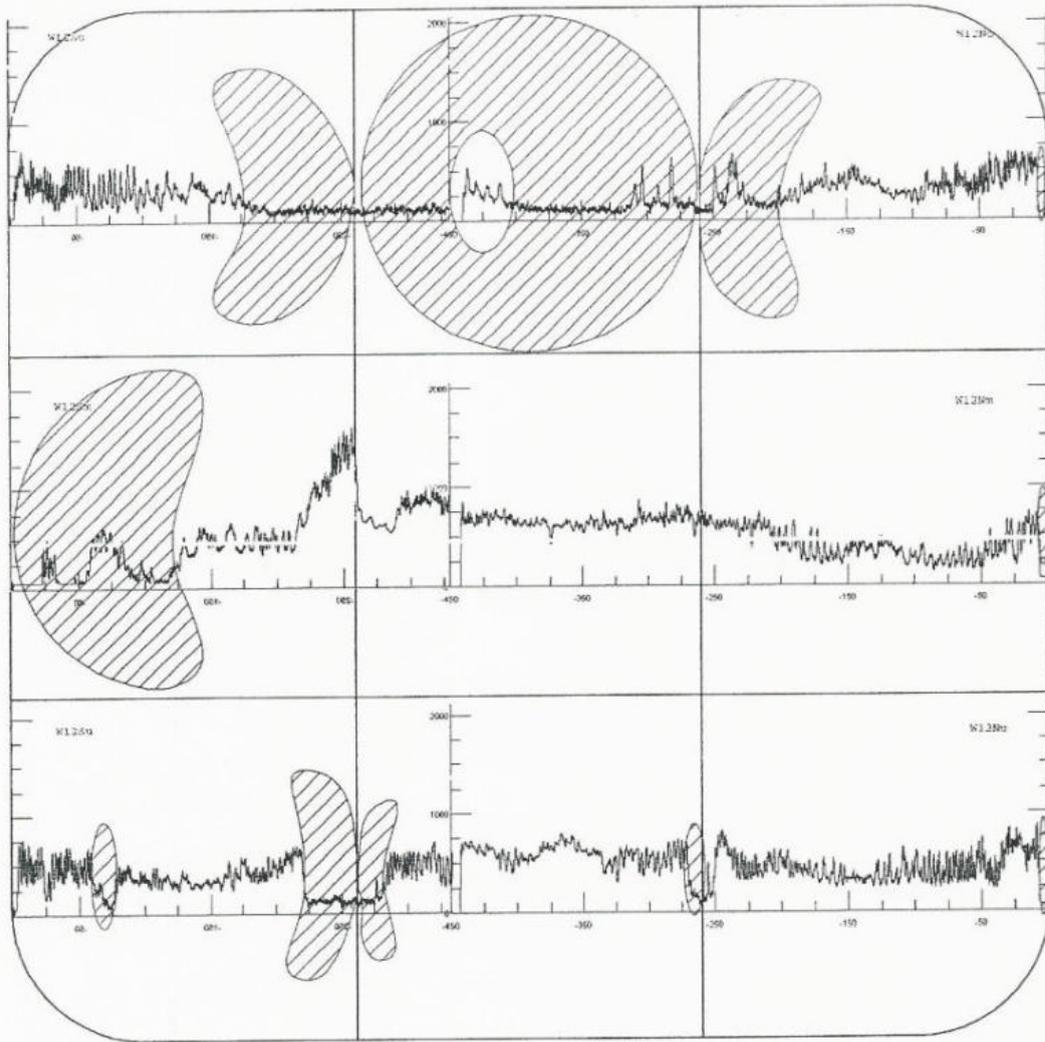
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

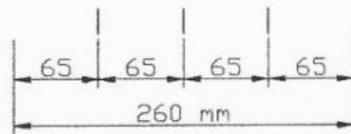
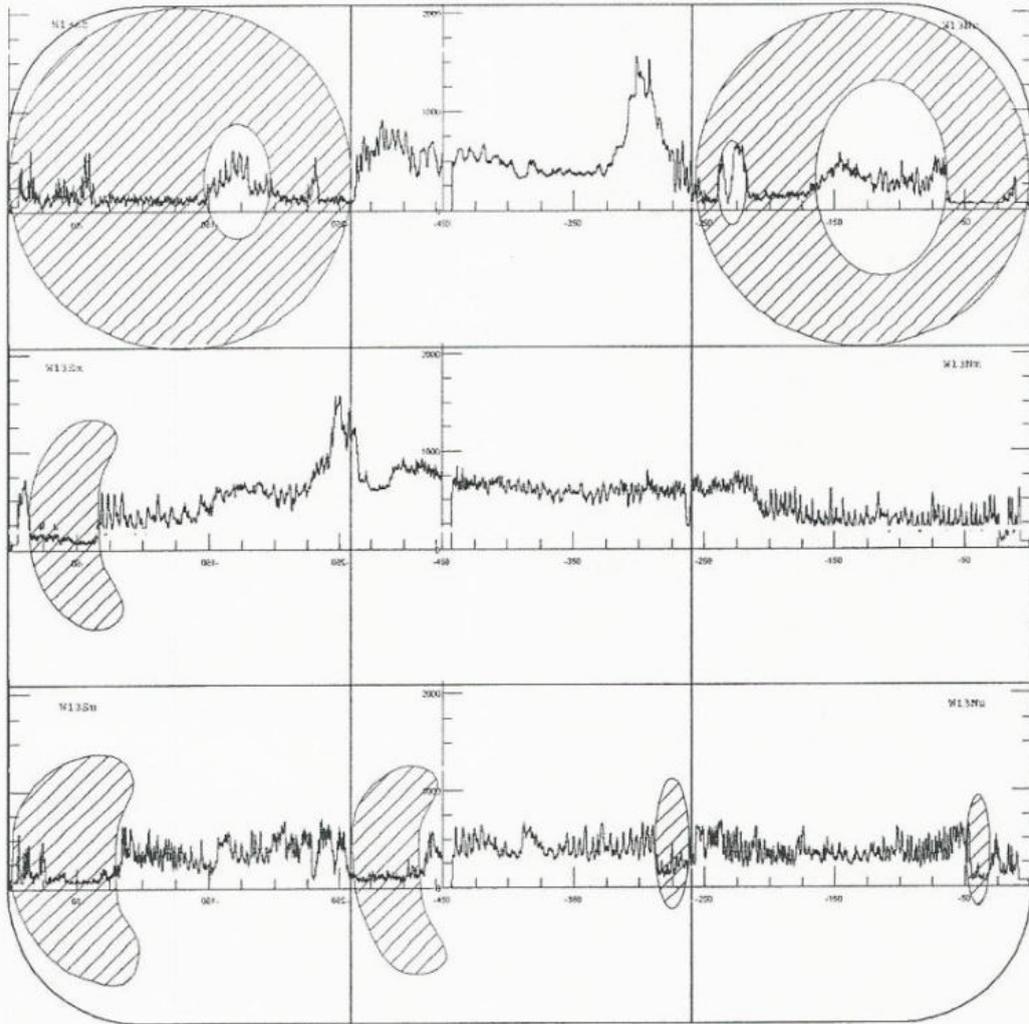
Titel:
**Welle
Schnitt 11**

Bemerkung:
Diagnose durch Ein-
dring- und Bohrwider-
standsmessung

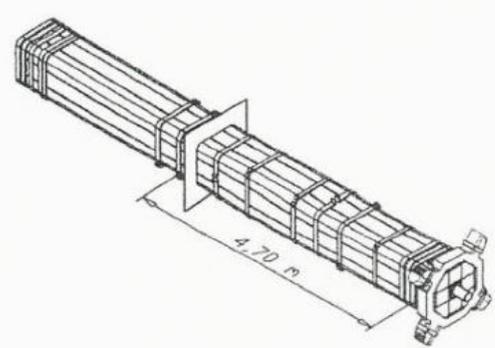
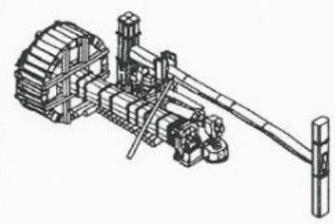
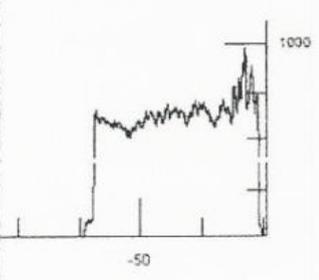
Datei:
Welle Schnitt 11
Blatt:
11/18



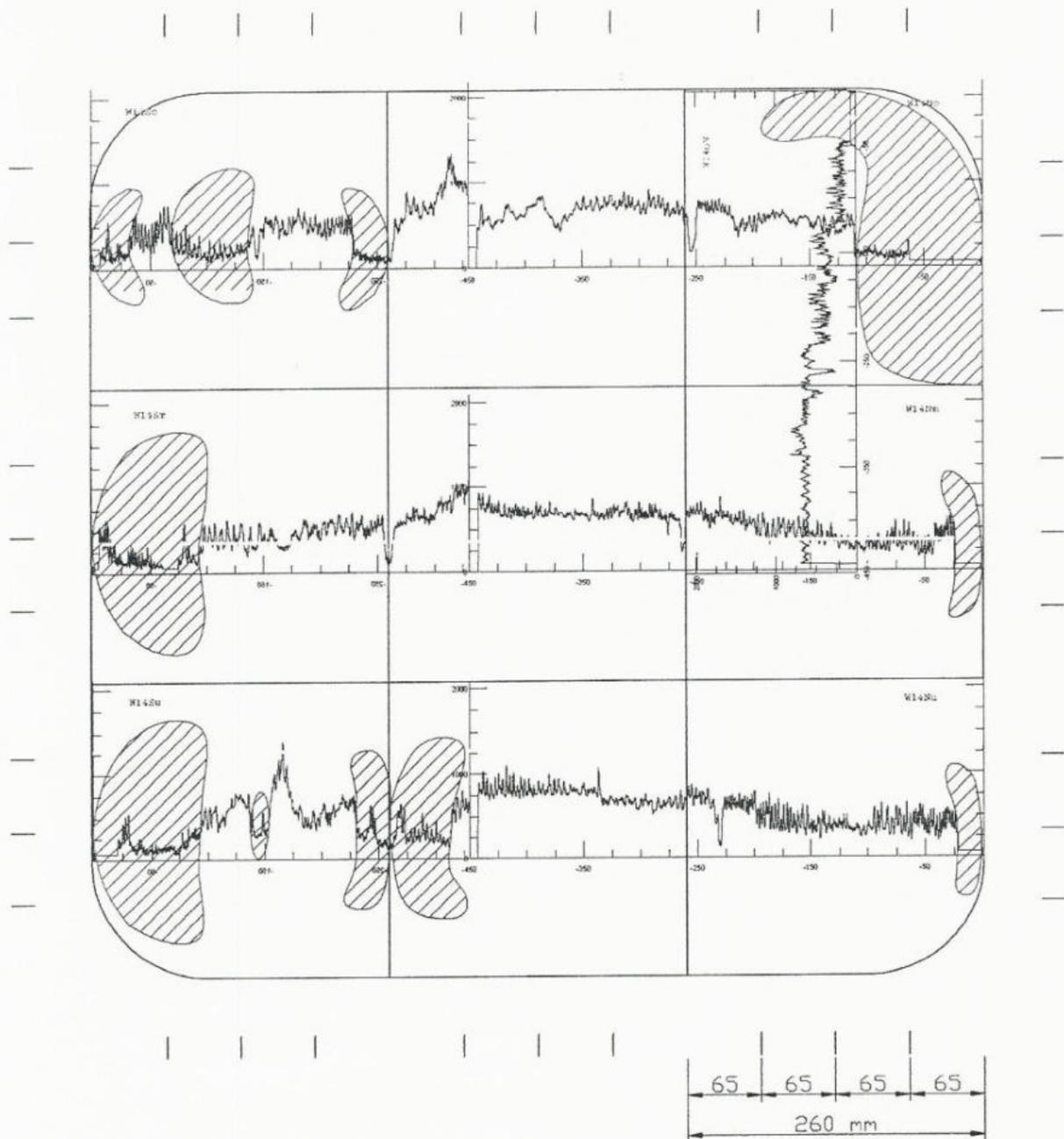
<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Kiefer	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Titel: Welle Schnitt 12		Bemerkung: Diagnose durch Eindring- und Bohrwidstandsmessung
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwidstand					



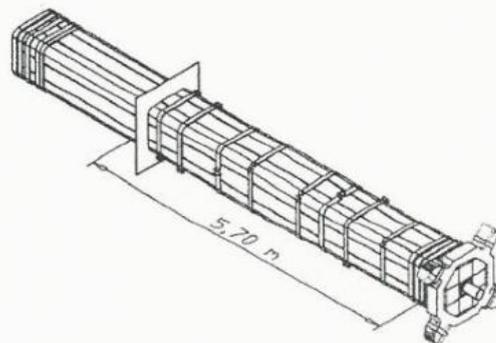
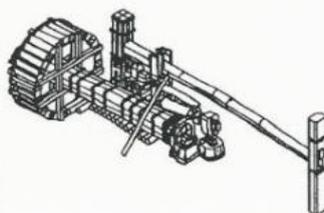
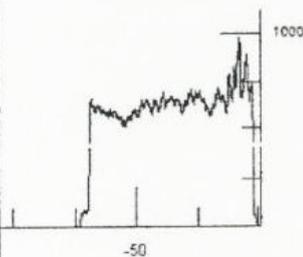
Referenzprobe



<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>			<p>Titel: Welle Schnitt 13</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung Blatt: 13/18</p>



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

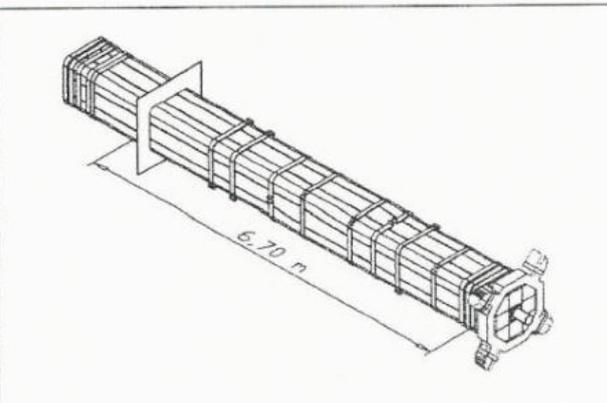
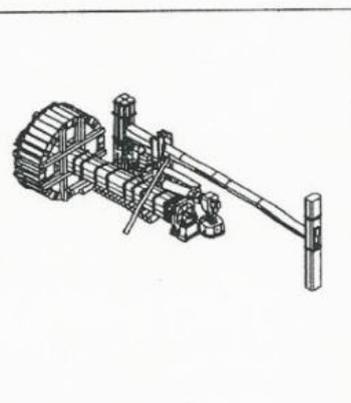
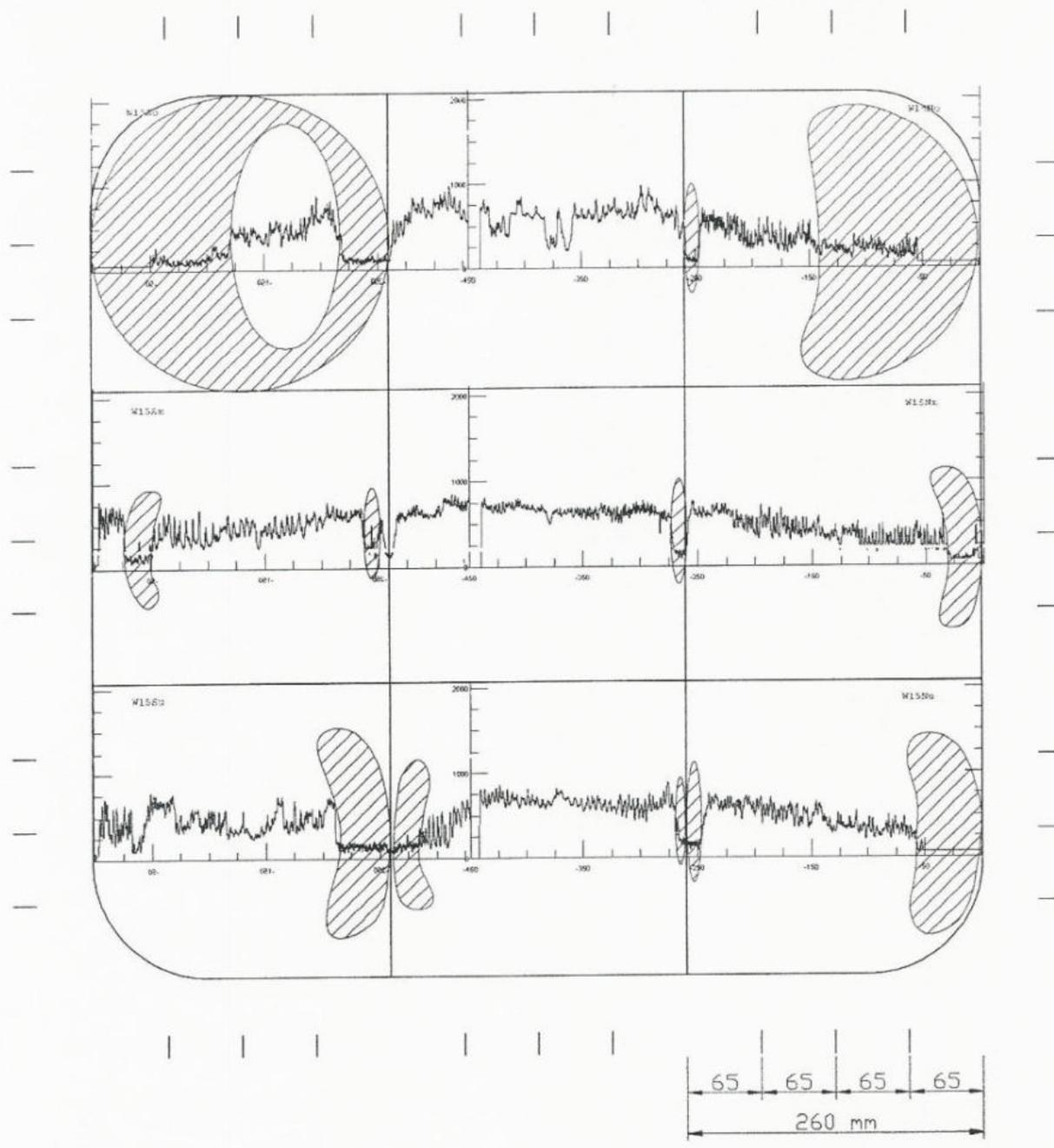
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

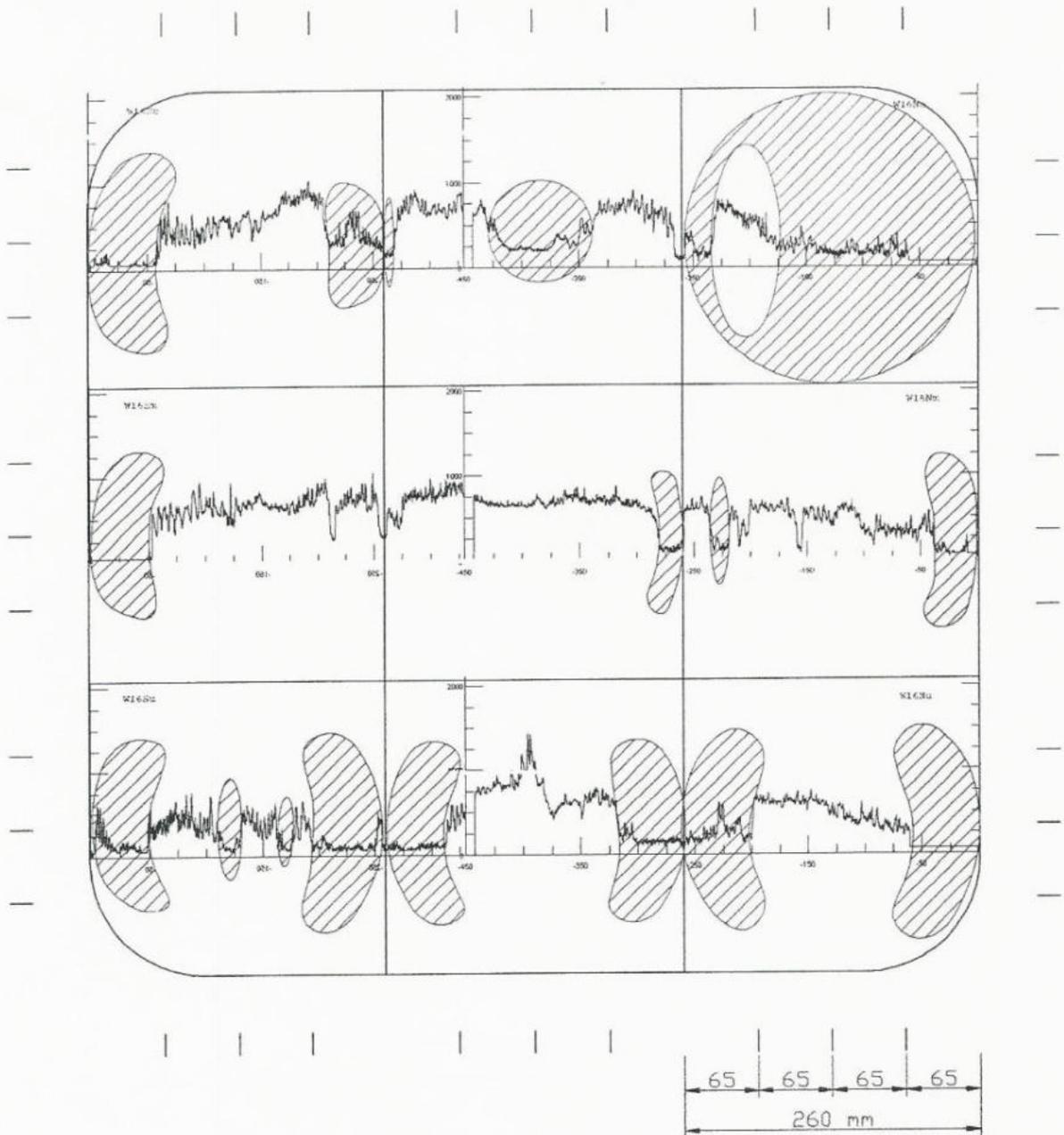
Titel:
Welle Schnitt 14

Bemerkung:
Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

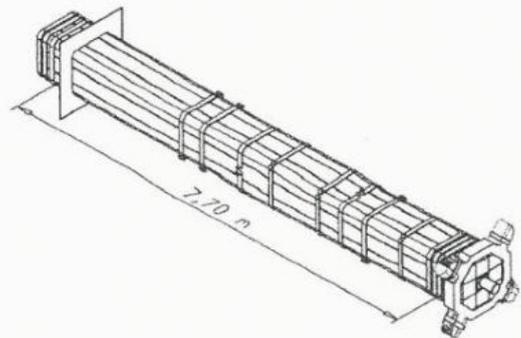
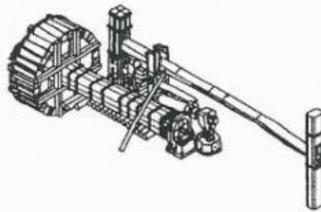
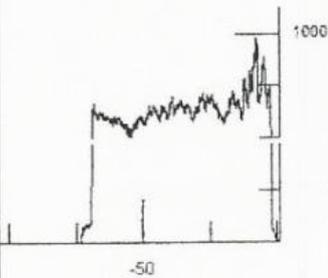
Datei:
Welle Schnitt 14
Blatt:
14/18



<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Kiefer	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Titel: Welle Schnitt 15	Bemerkung: Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung	Datei: Welle Schnitt 15 Blatt: 15/18
Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand					



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

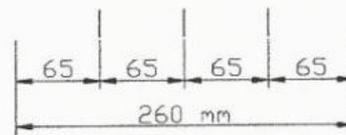
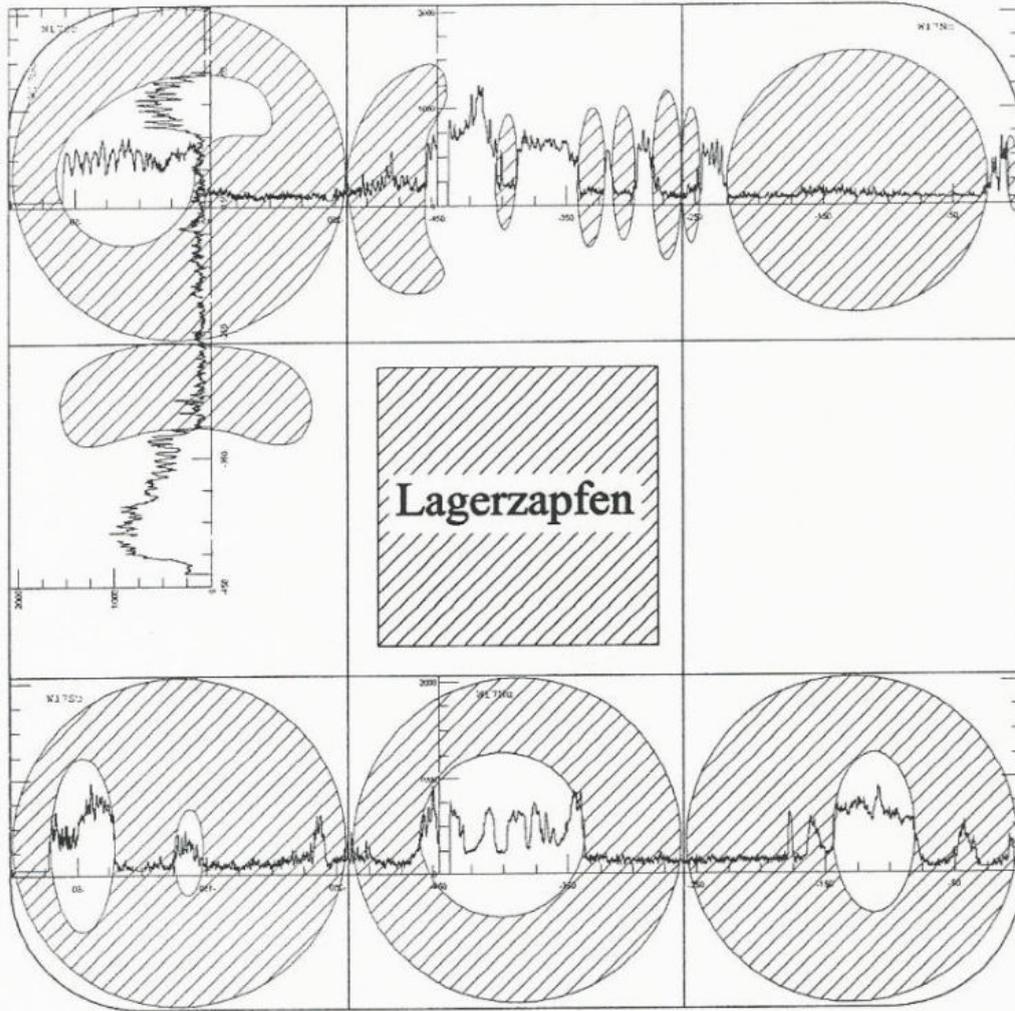
Datum:
2002/3

Titel:
**Welle
Schnitt 16**

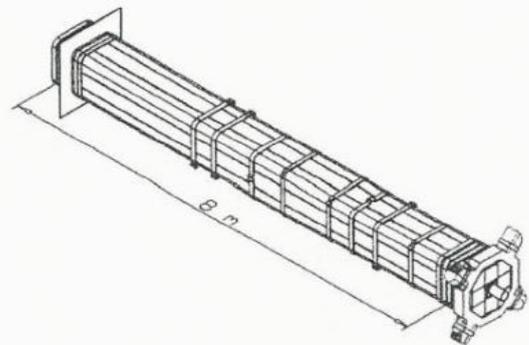
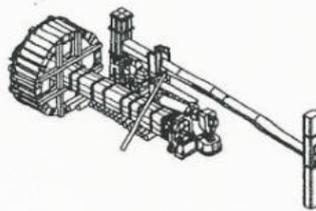
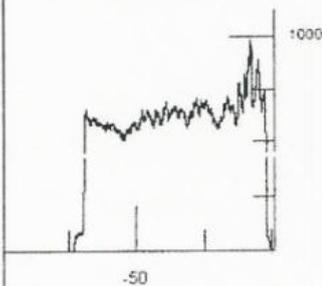
Bemerkung:
Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

Datei:
Welle Schnitt 16
Blatt:
16/18

Abzissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

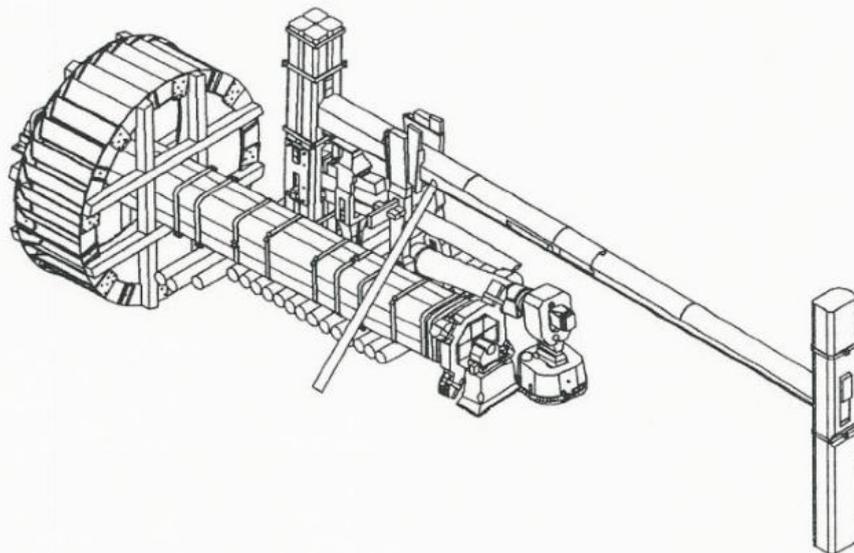
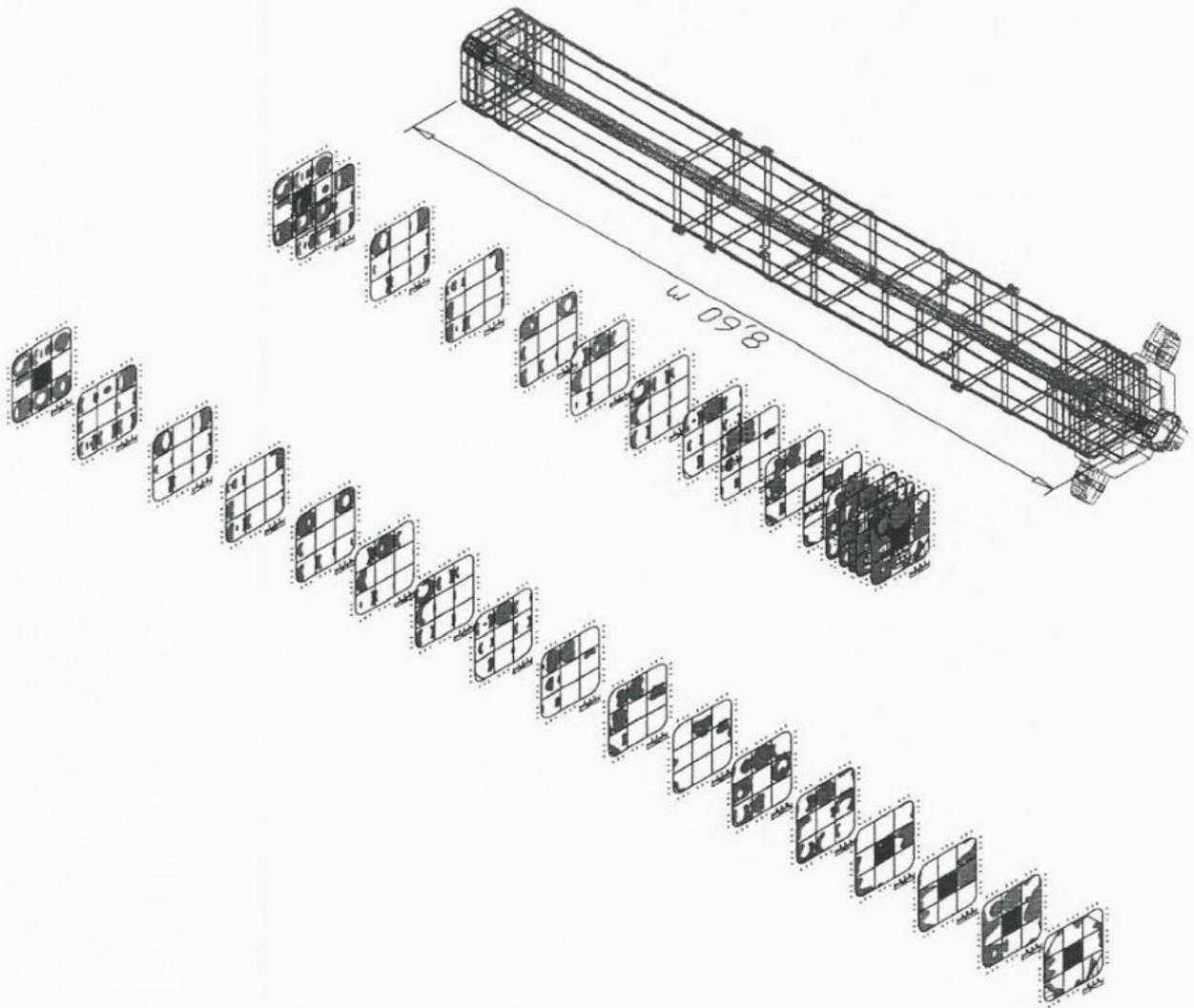
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

Titel:
**Welle
Schnitt 17**

Bemerkung:
Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

Datei:
Welle Schnitt 17
Blatt:
17/18



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
 2002/3

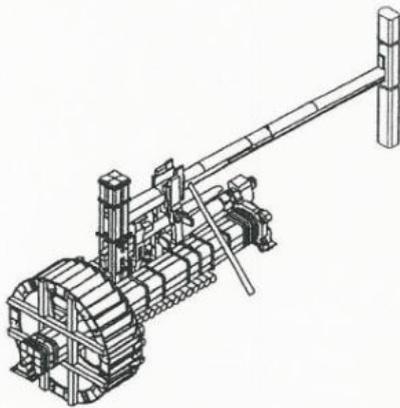
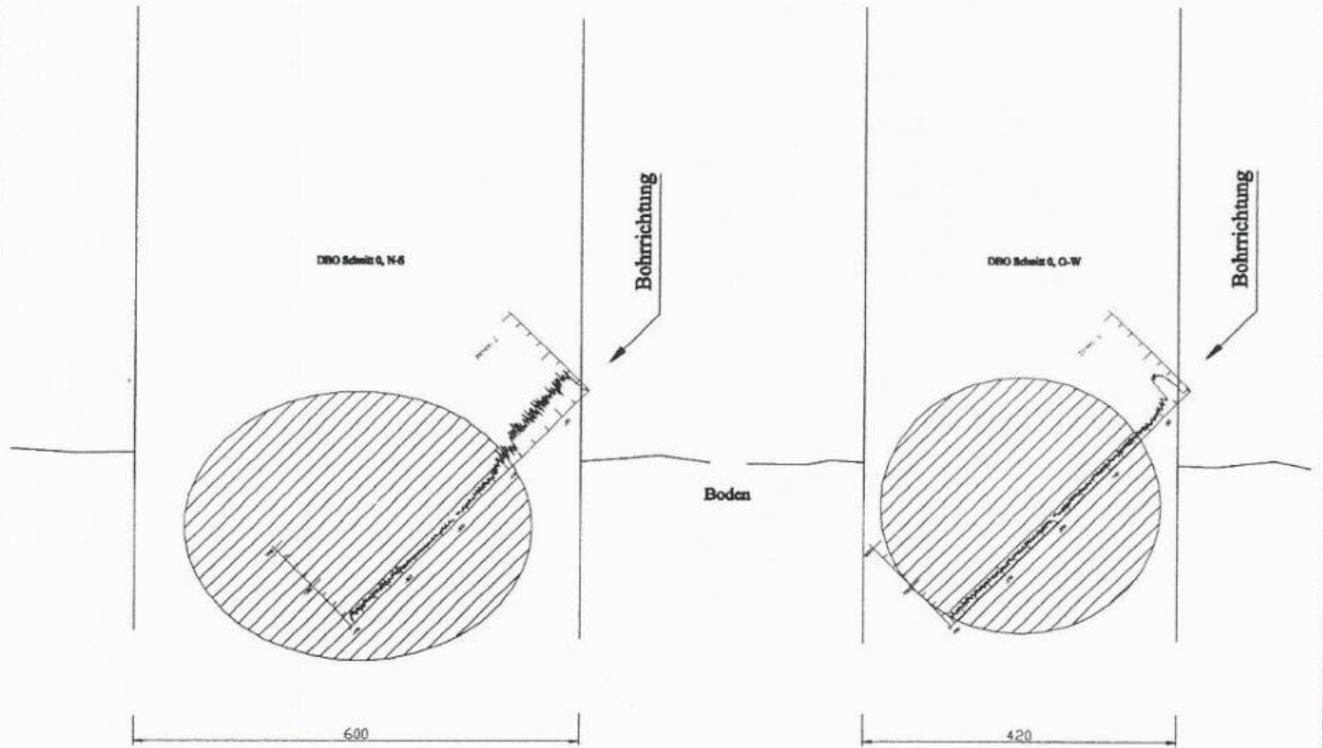
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

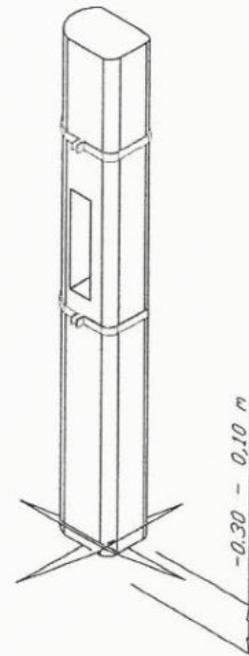
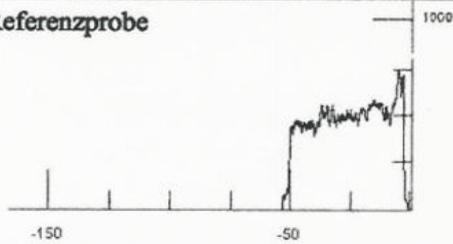
Titel:
Welle
Schnitte, Übersicht

Bemerkung:
 Diagnose durch Eindring- und Bohrwiderstandsmessung

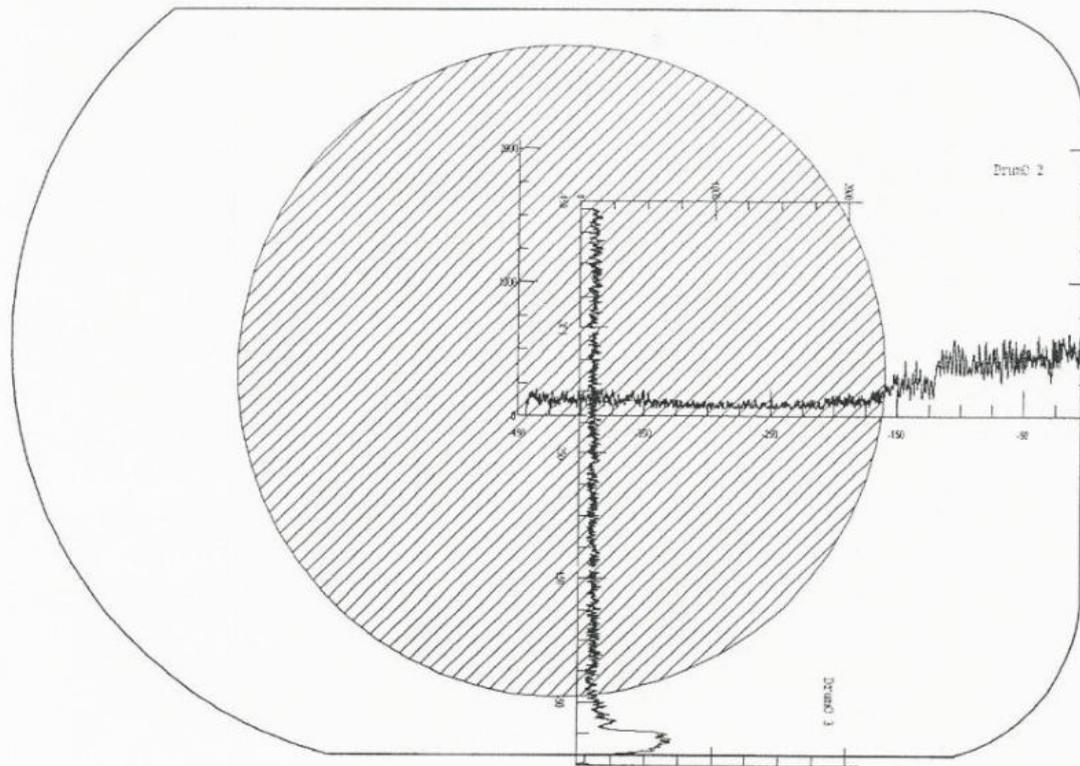
Datei:
 Welle-Schnittkombi
 Blatt:
 18/18



Referenzprobe



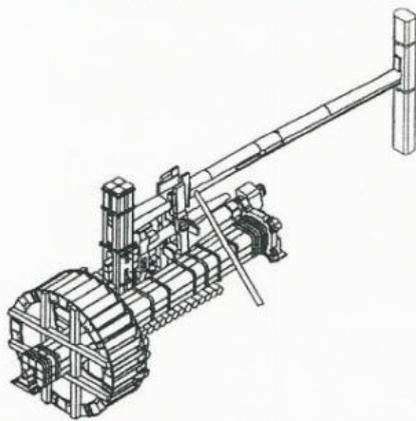
<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Fichte	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand		FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	Titel: Drumstütze-Ost Schnitt-Seite 0	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung	Datei: DBO Schnitt-Seite 0 Blatt: 1/9



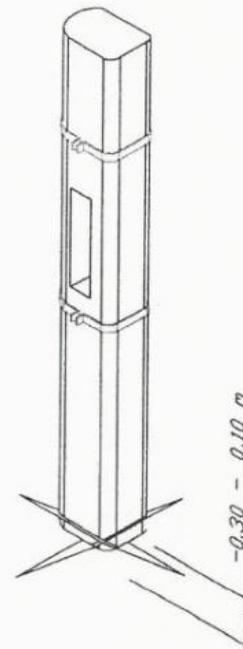
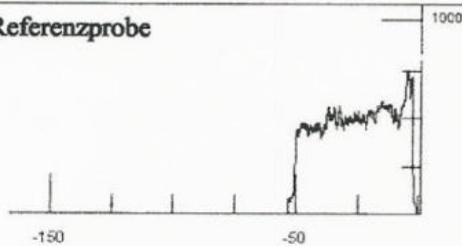
Bohrrichtung 45° geneigt

Vorderseite

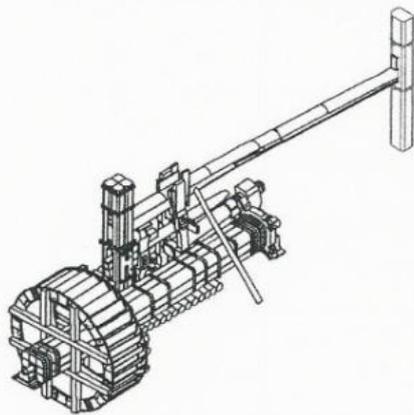
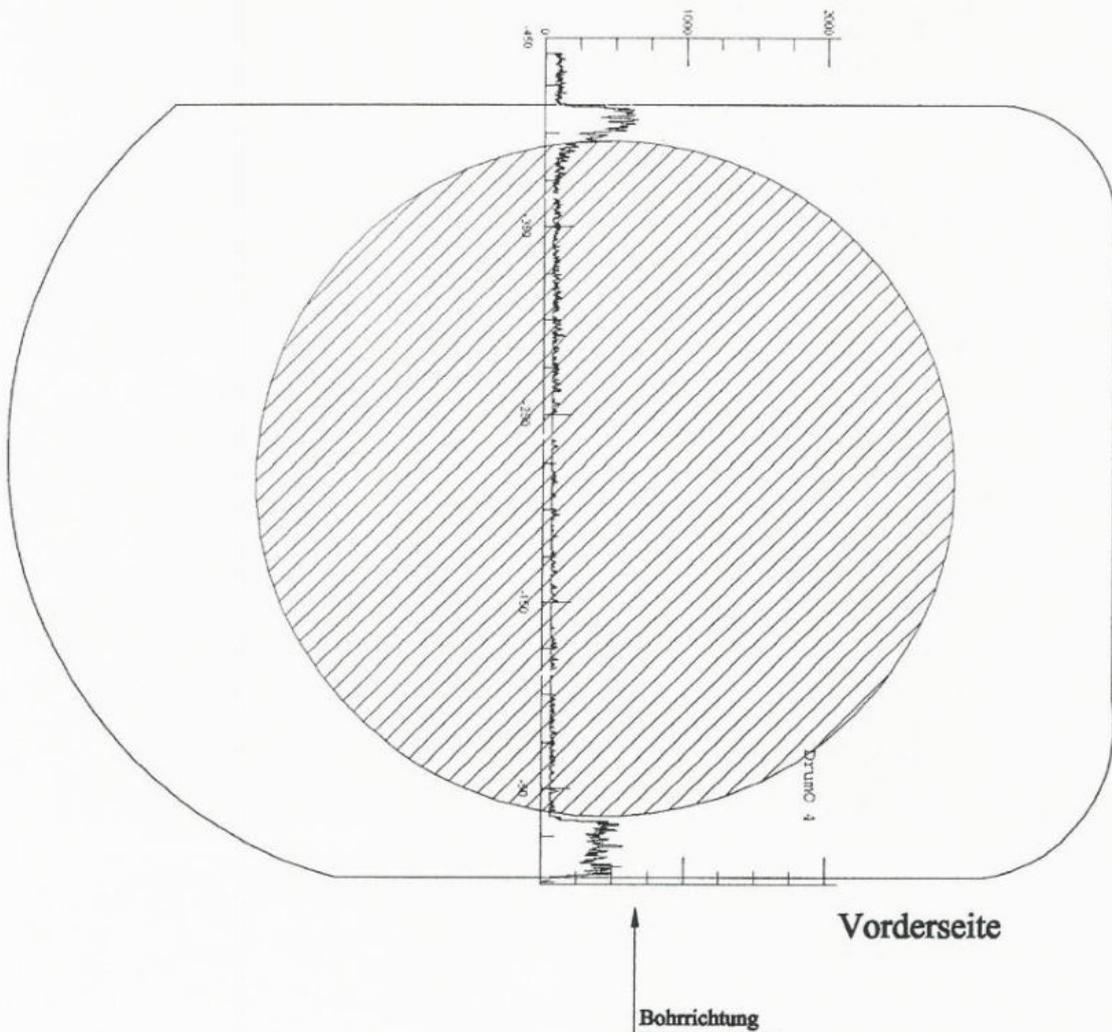
Bohrrichtung 45° geneigt



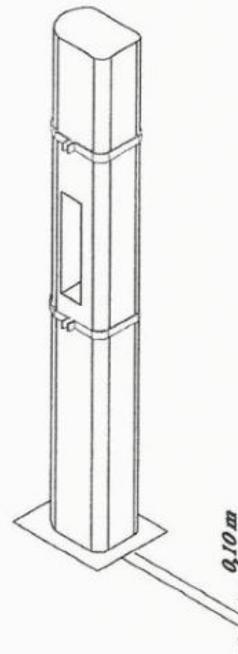
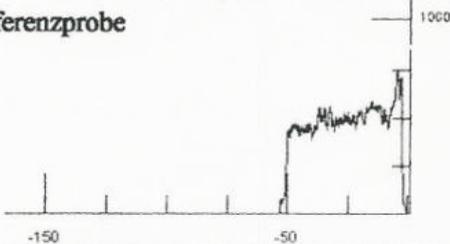
Referenzprobe



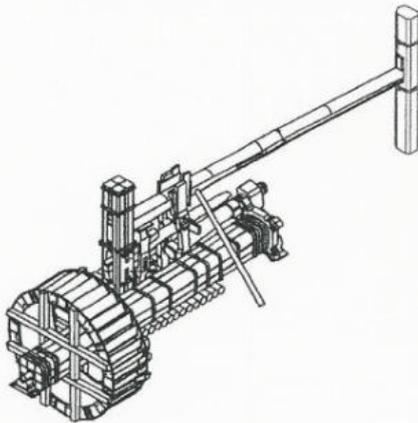
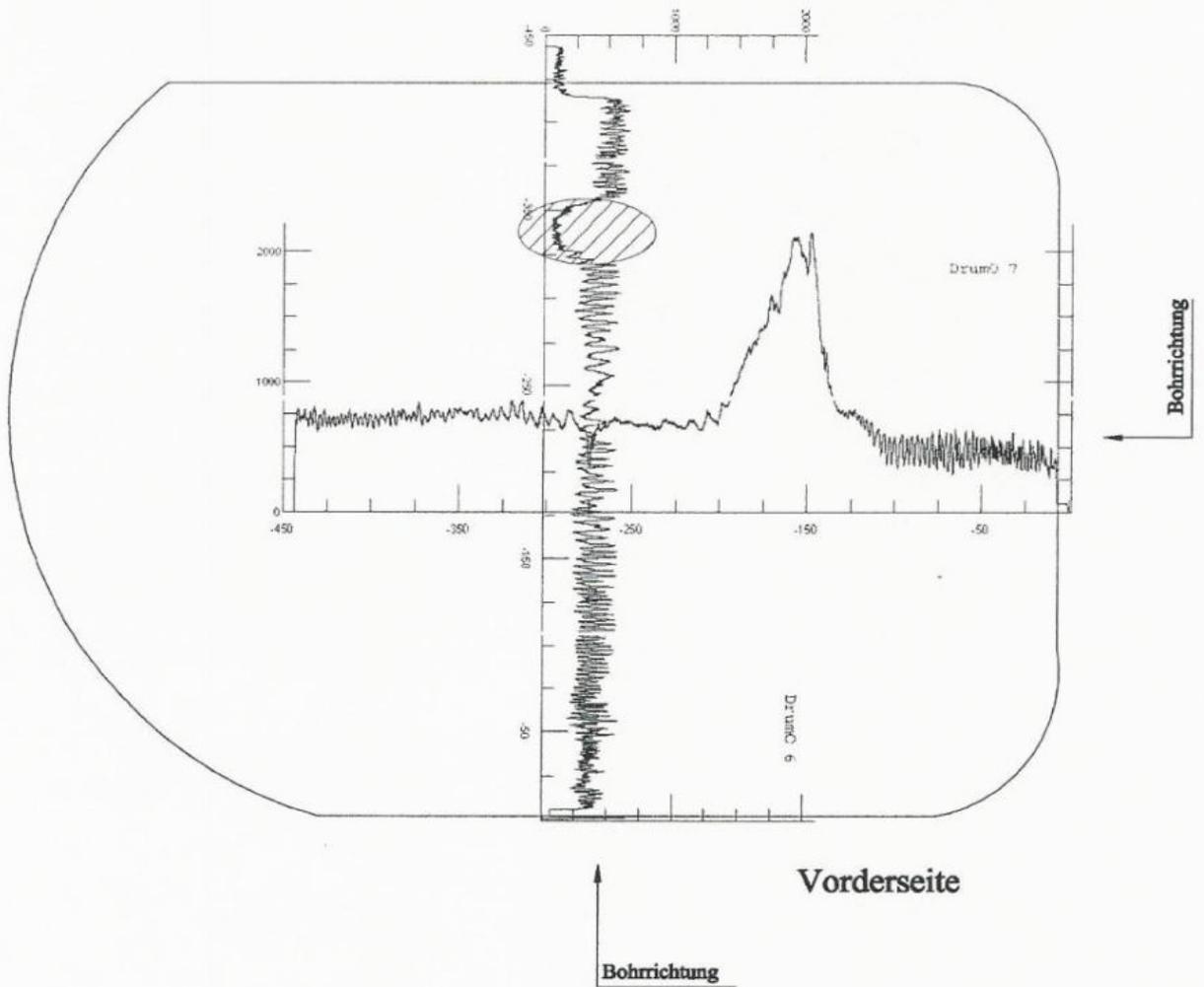
<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Fichte	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand		FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	Titel: Drumstütze-Ost Schnitt 0		Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstands- messung
					Datei: DBO Schnitt 0 Blatt: 2/9



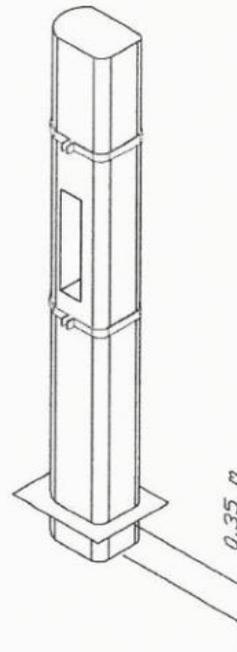
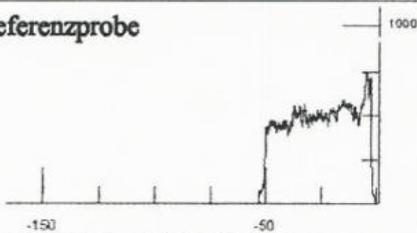
Referenzprobe



<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Fichte	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand		FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	Titel: Drumstütze-Ost Schnitt 1		Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung
					Datei: DBO Schnitt 1 Blatt: 3/9



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
 Die Hammerschmiede des
 Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

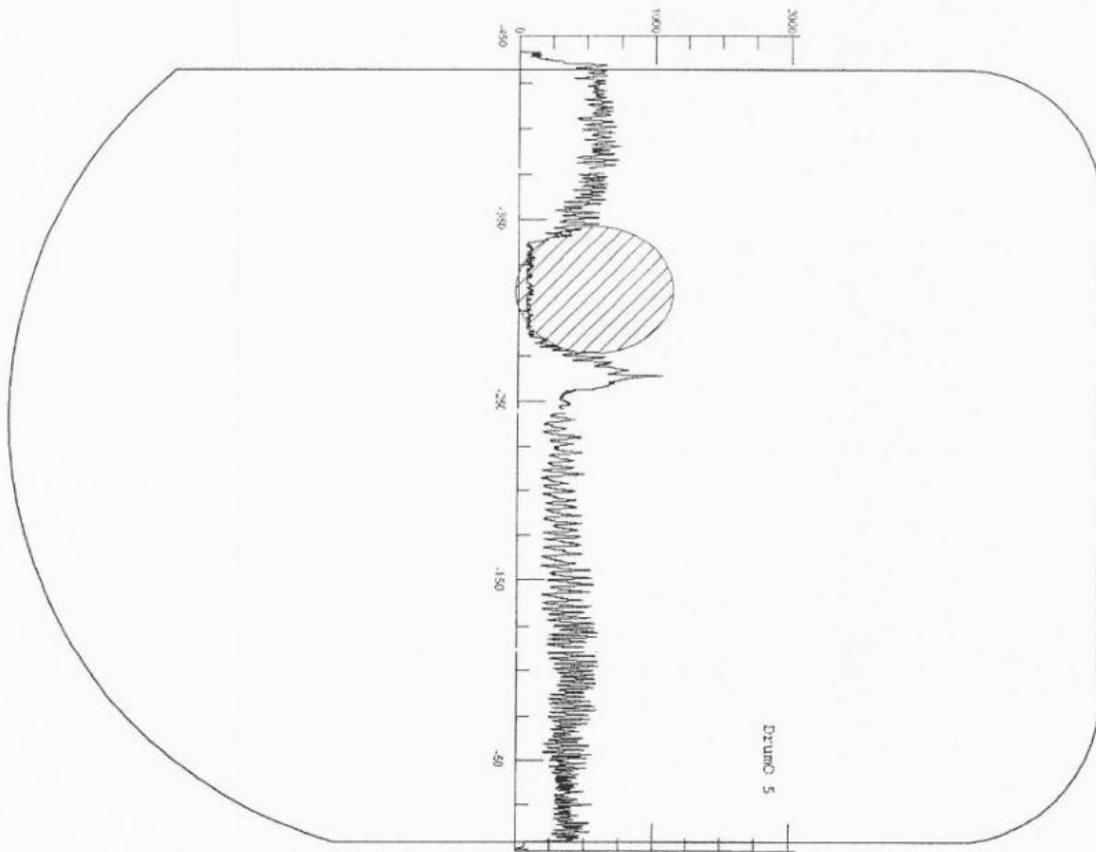
FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

Titel:
Drumstütze-Ost
Schnitt 2

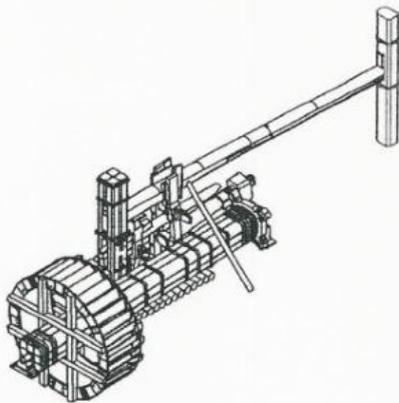
Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwider-
 standsmessung

Datei:
DBO Schnitt 2

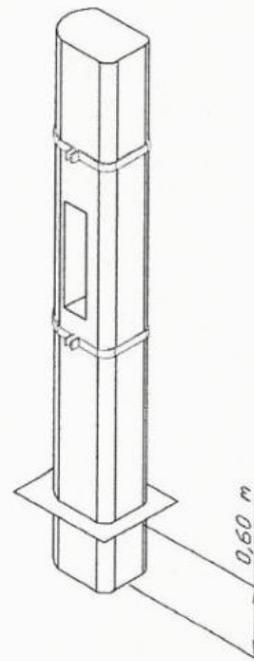
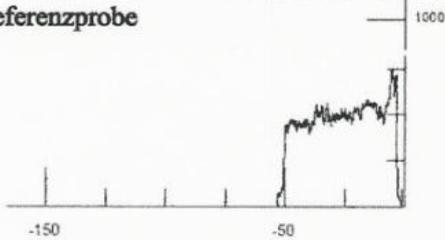
Blatt:
4/9



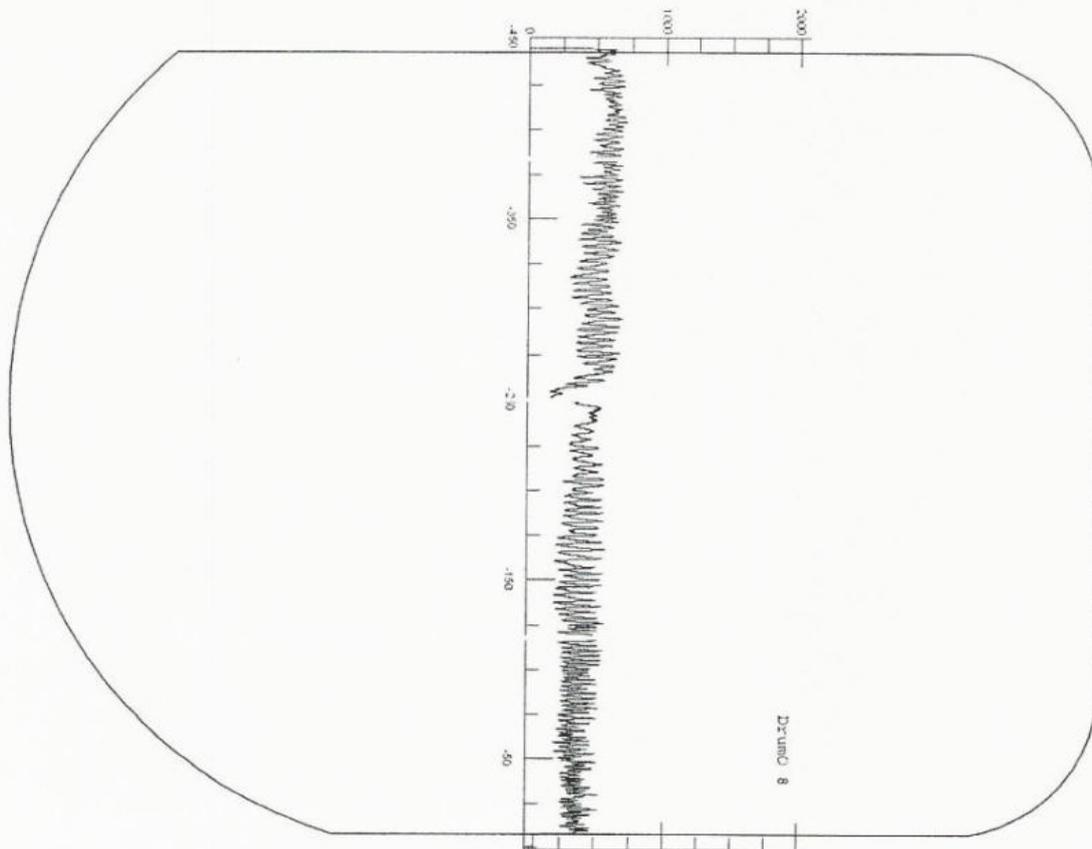
Vorderseite
Bohrrichtung



Referenzprobe

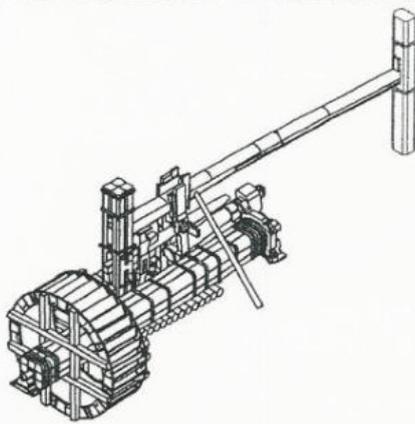


<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Fichte	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand		FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	Titel: Drumstütze-Ost Schnitt 3		Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung
					Datei: DBO Schnitt 3 Blatt: 5/9

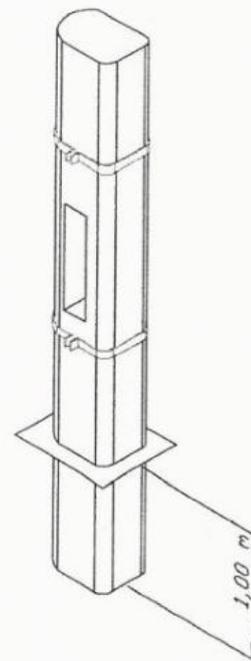
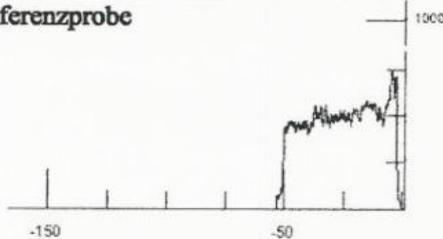


Vorderseite

Bohrrichtung



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

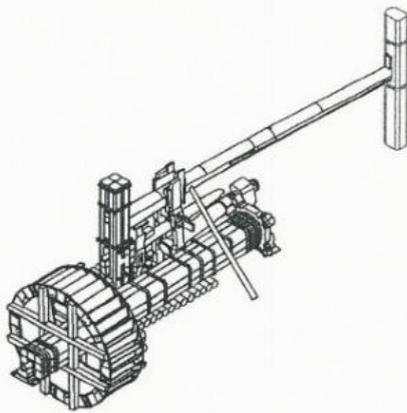
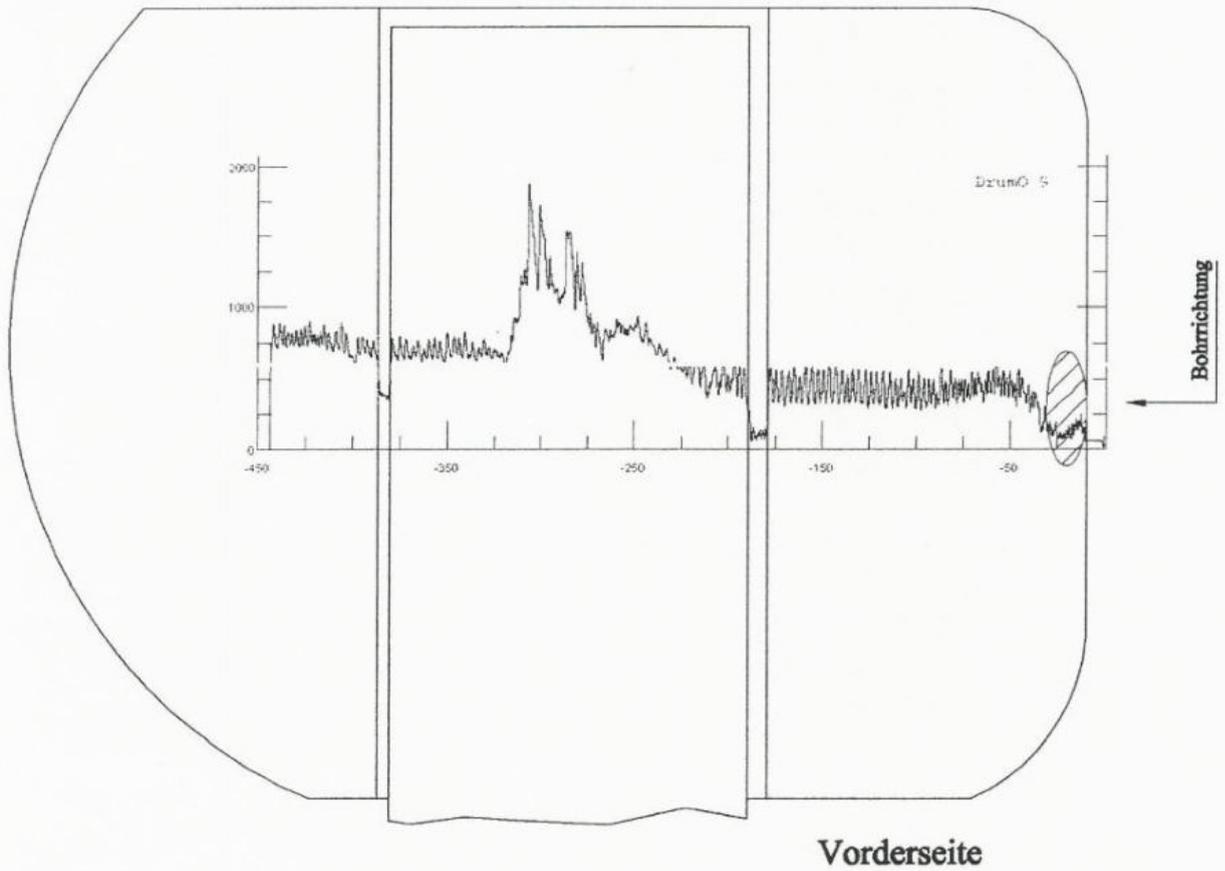
FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

Titel:
Drumstütze-Ost
Schnitt 4

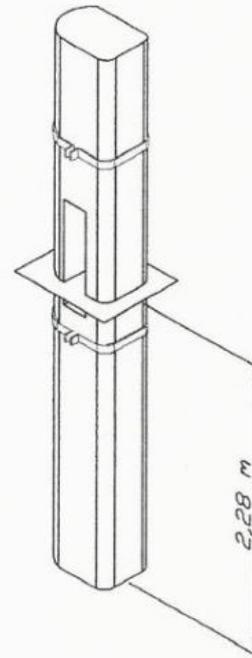
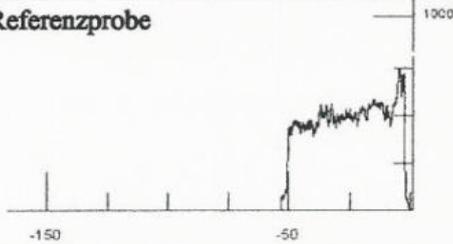
Bemerkung:
Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung

Datei:
DBO Schnitt 3

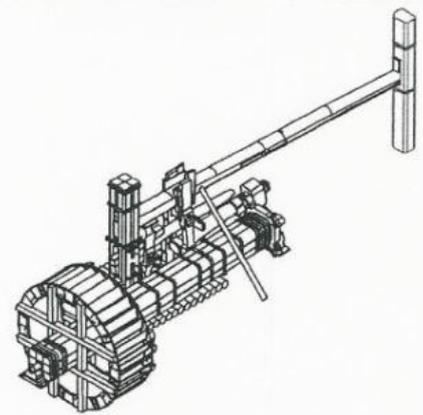
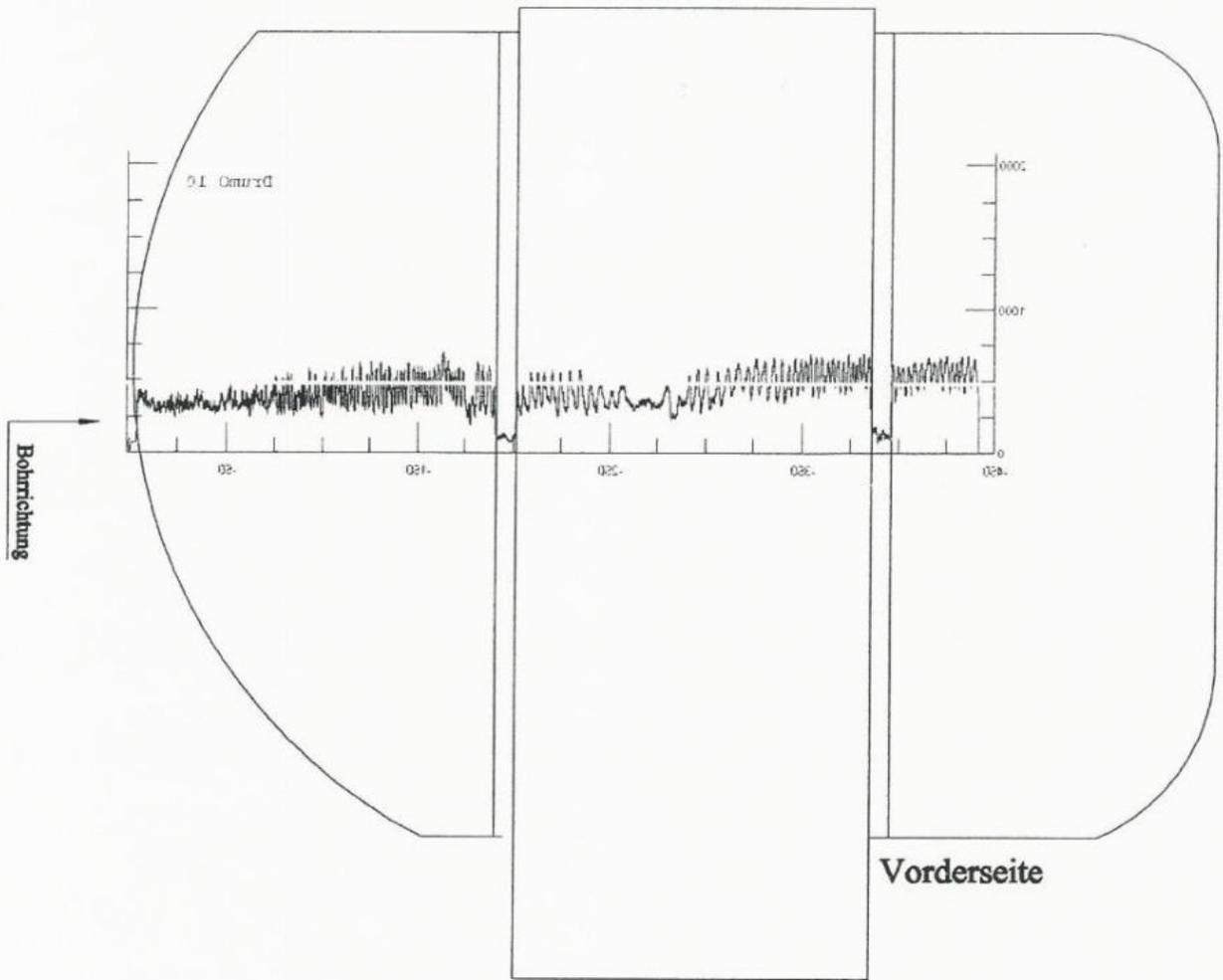
Blatt:
6/9



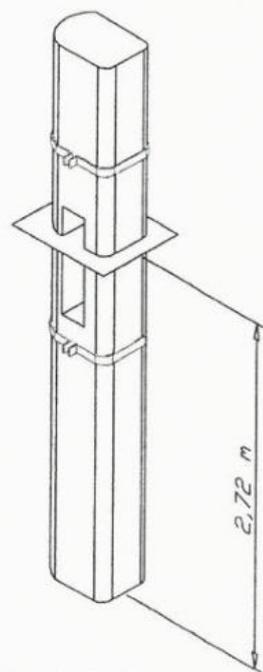
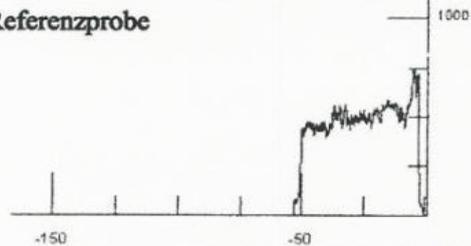
Referenzprobe



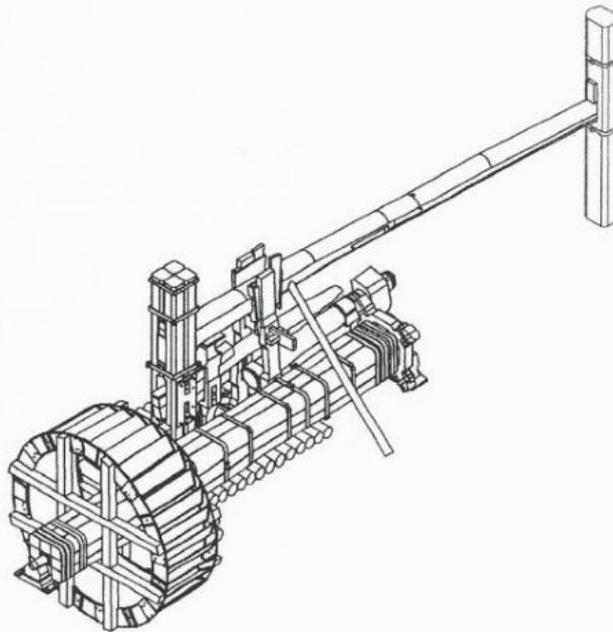
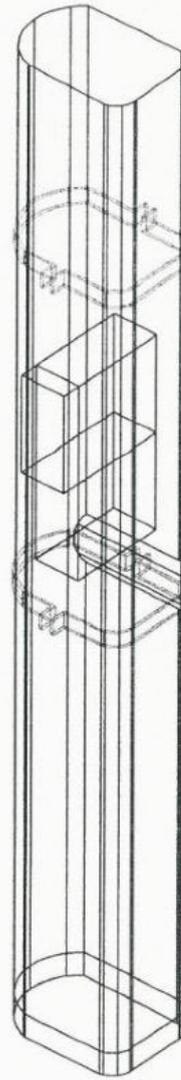
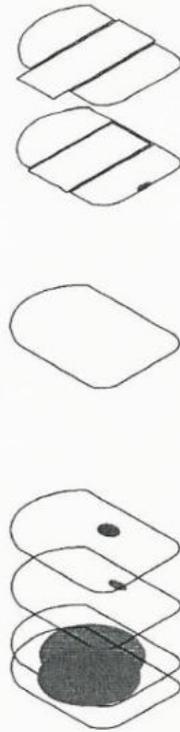
<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Fichte	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand		FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	Titel: Drumstütze-Ost Schnitt 5		Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung
					Datei: DBO Schnitt 5 Blatt: 7/9



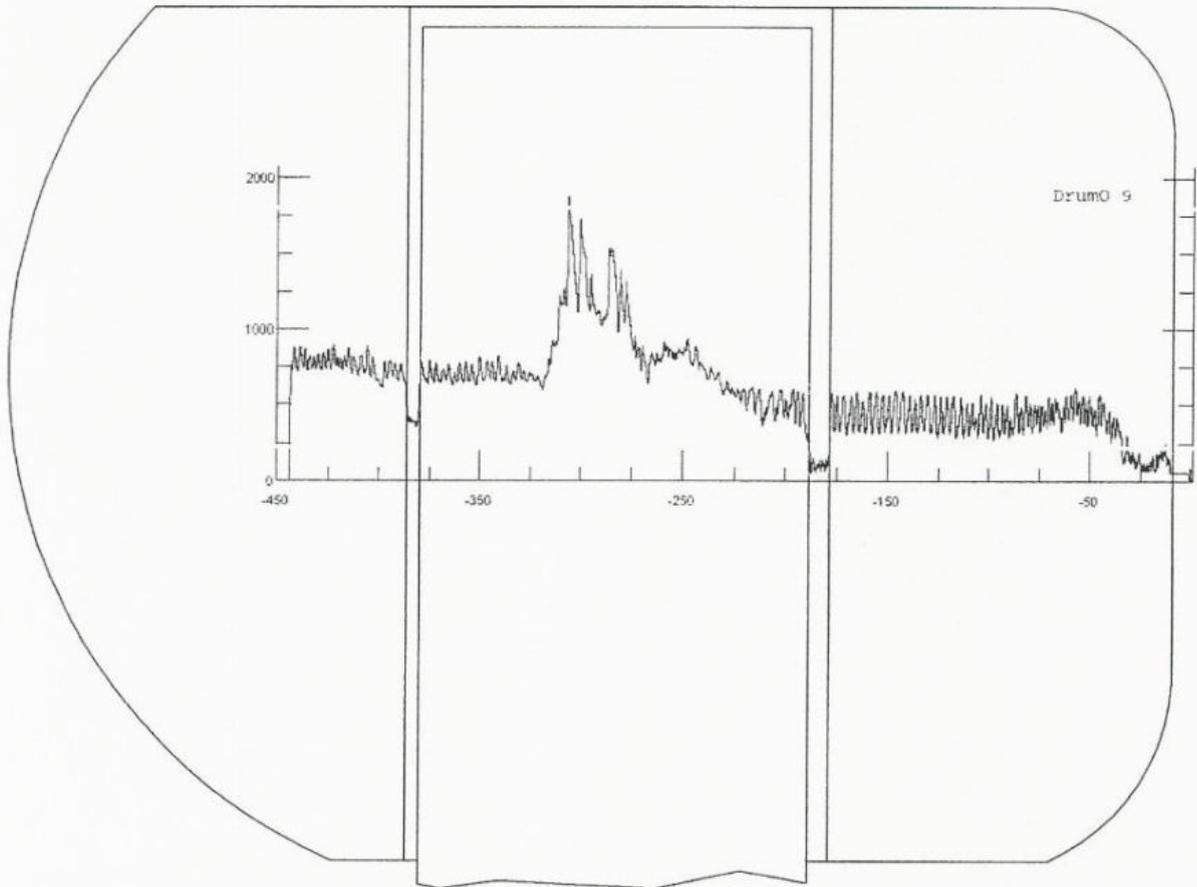
Referenzprobe



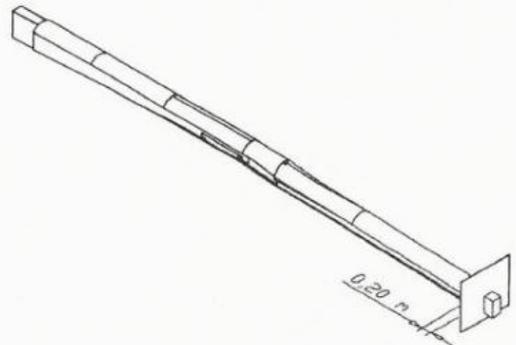
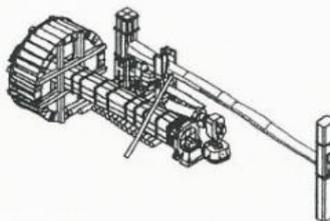
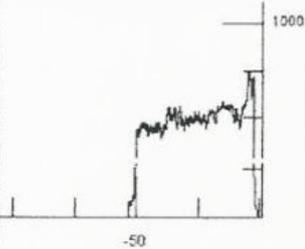
<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Fichte	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand	Titel: Drumstütze-Ost Schnitt 6	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung



<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Fichte</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>	<p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>Titel: Drumstütze-Ost Schnitte, Übersicht</p>	<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung</p>	<p>Datei: DBO Scheitelschnitt Blatt: 9/9</p>	



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

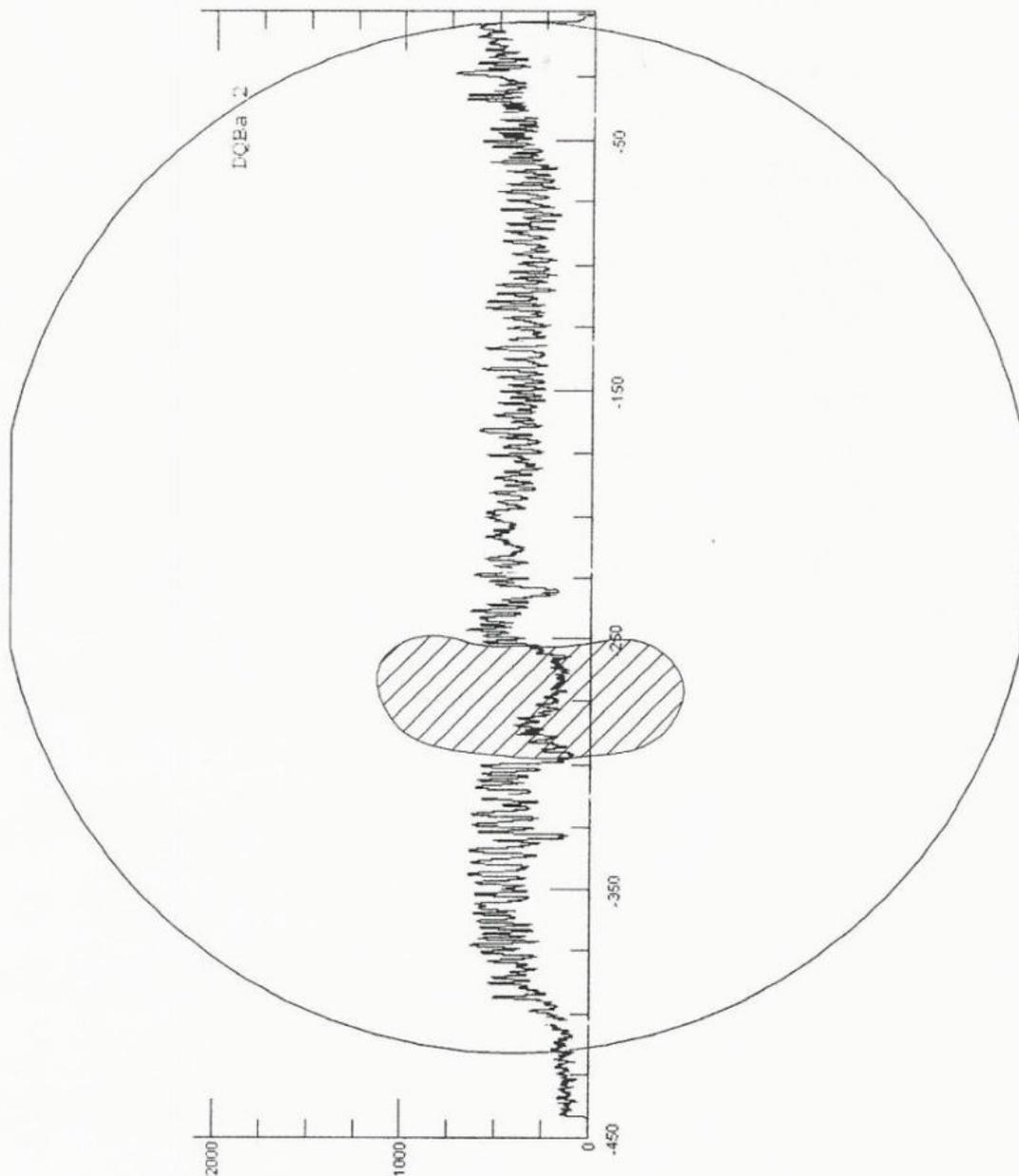
Datum:
2002/3

Titel:
**Drumquerbalken-
alt, Schnitt 1**

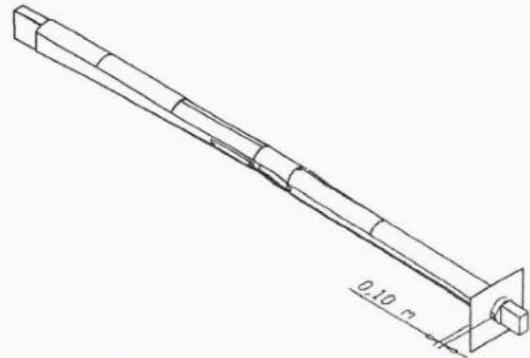
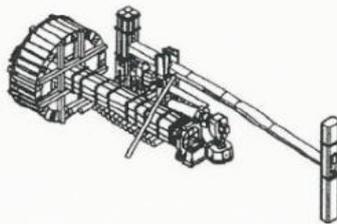
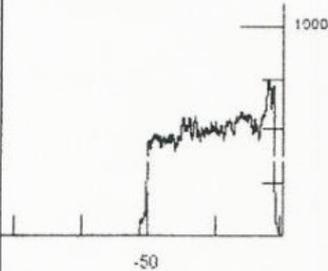
Bemerkung:
**Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung**

Datei:
Schnitt 1 DQB alt
 Blatt:
1/12

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderrstand



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

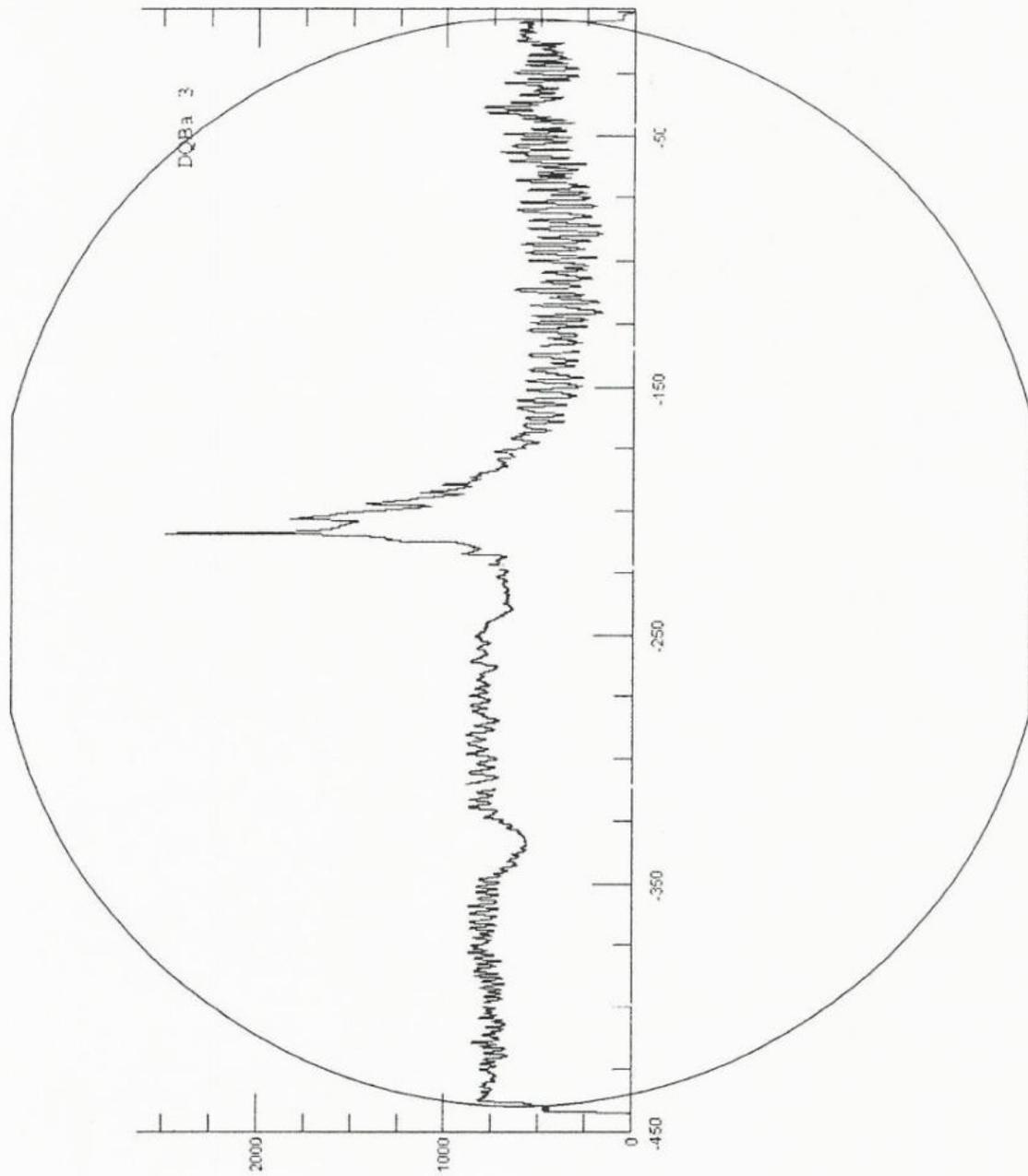
Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

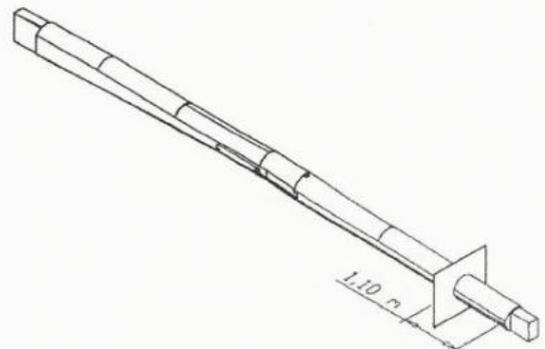
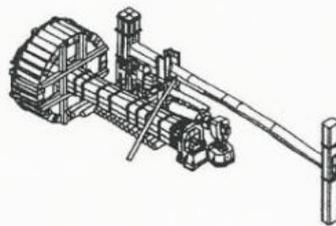
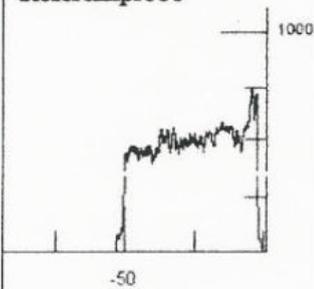
Titel:
**Drumquerbalken-
alt, Schnitt 2**

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 2 DQB alt
Blatt:
2/12



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

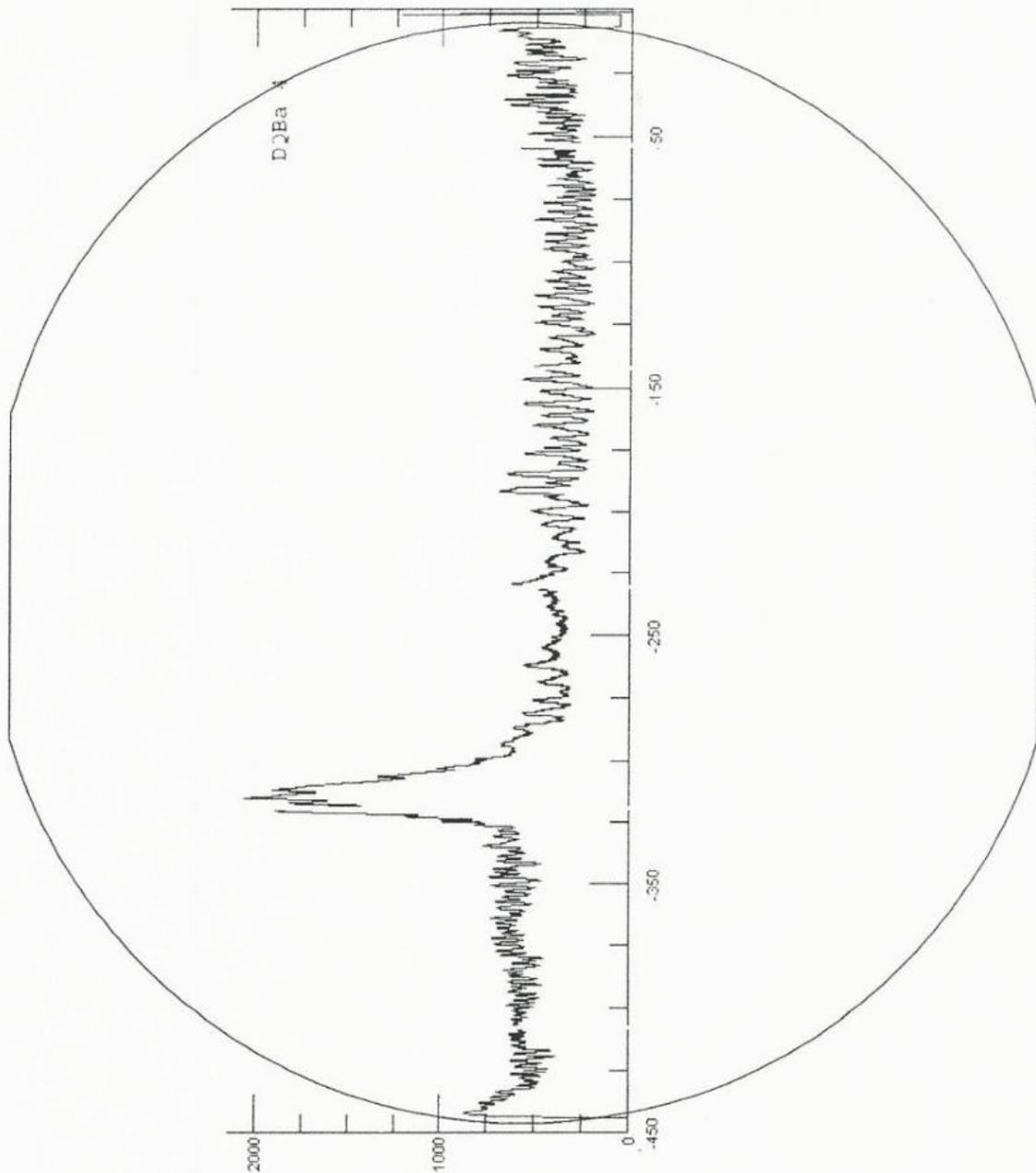
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

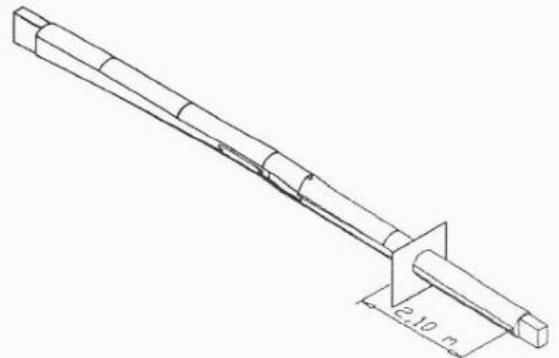
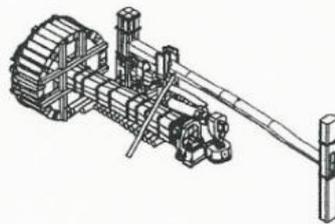
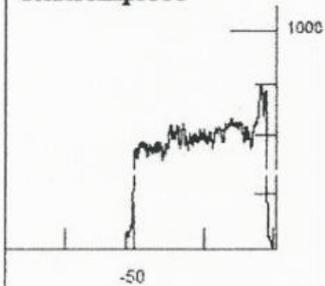
Titel:
**Drumquerbalken-
alt, Schnitt 3**

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

Datei:
 Schnitt 3 DQB alt
 Blatt:
 3/12



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
 Die Hammerschmiede des
 Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

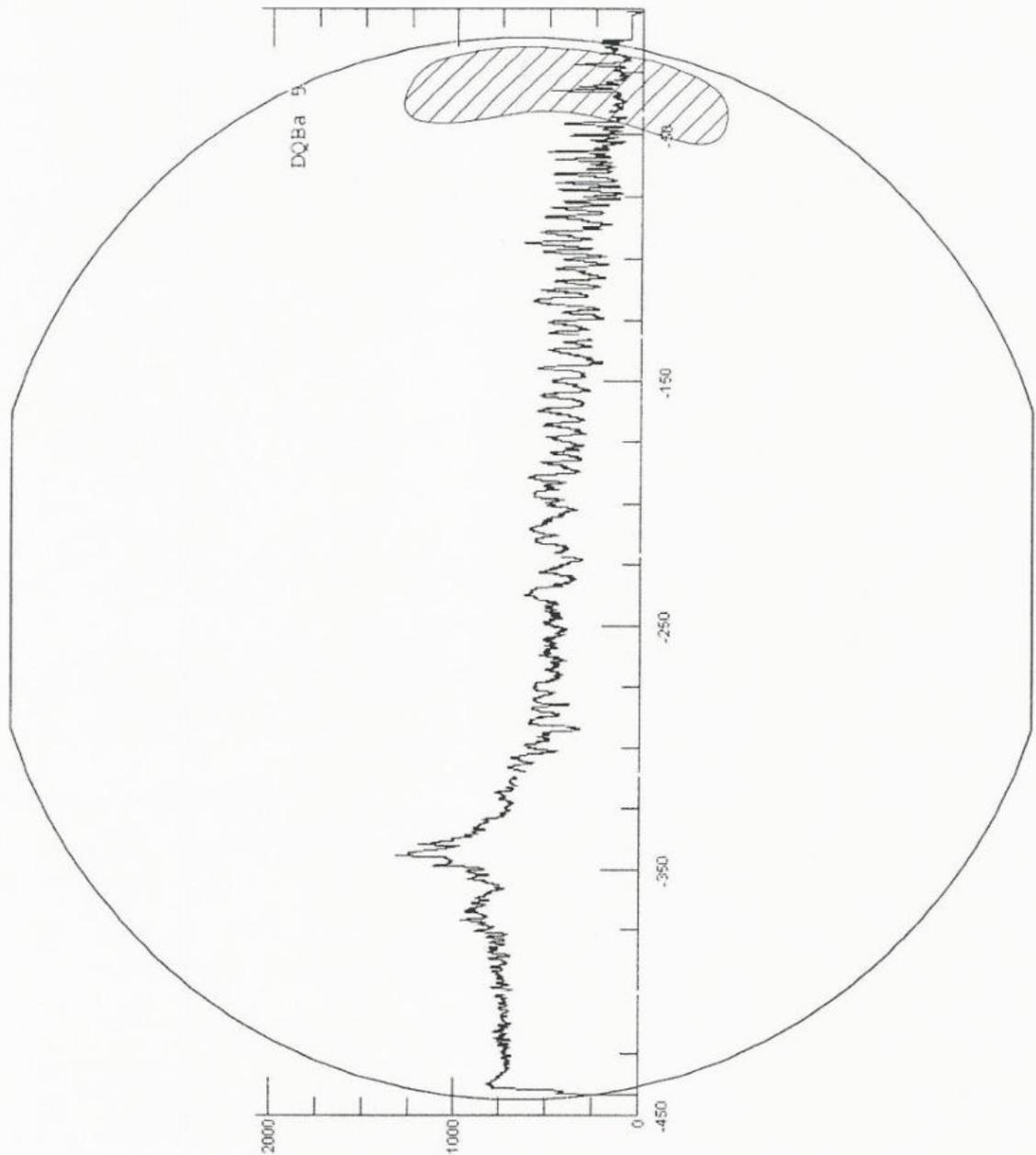
Titel:
**Drumquerbalken-
alt, Schnitt 4**

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

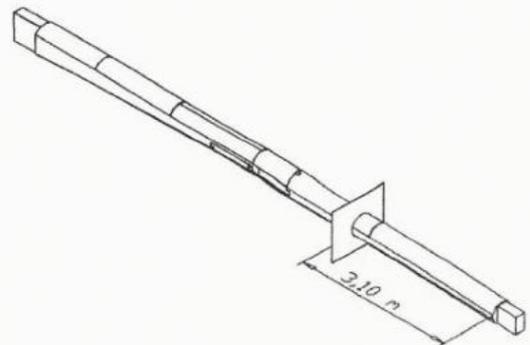
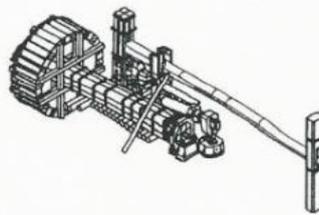
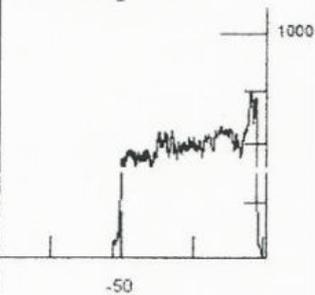
Datei:
 Schnitt 4 DQB alt

Blatt:
 4/12

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

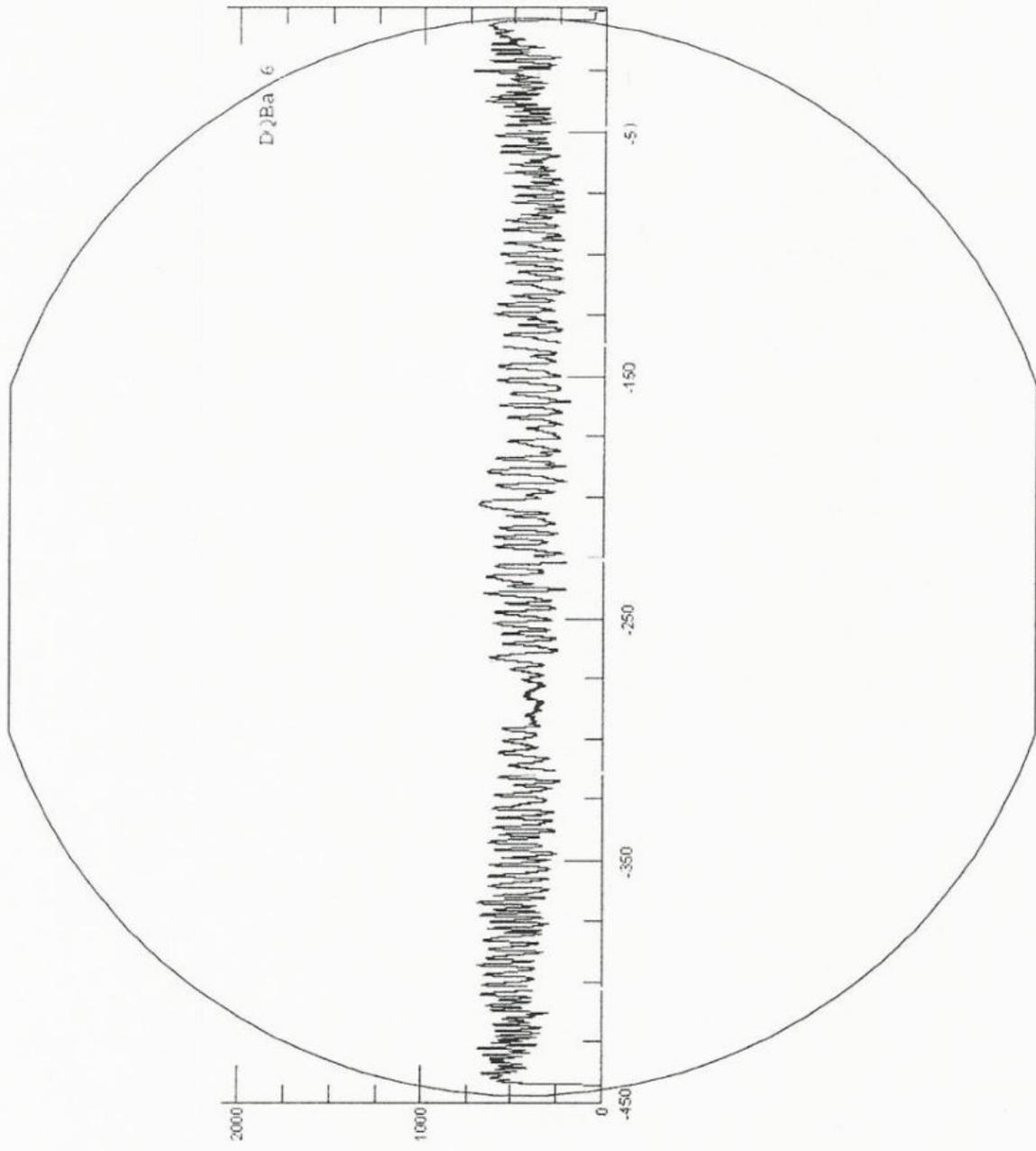
FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

Titel:
**Drumquerbalken-
alt, Schnitt 5**

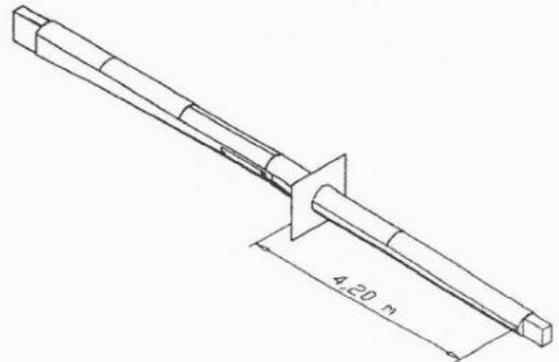
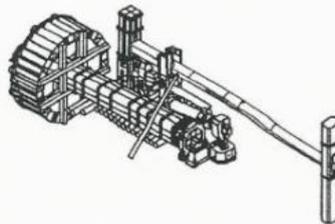
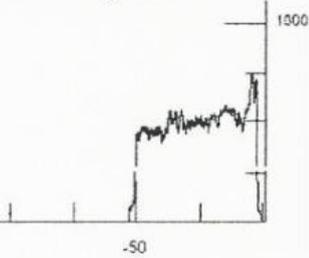
Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

Datei:
 Schnitt 5 DQB alt

Blatt:
 5/12



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

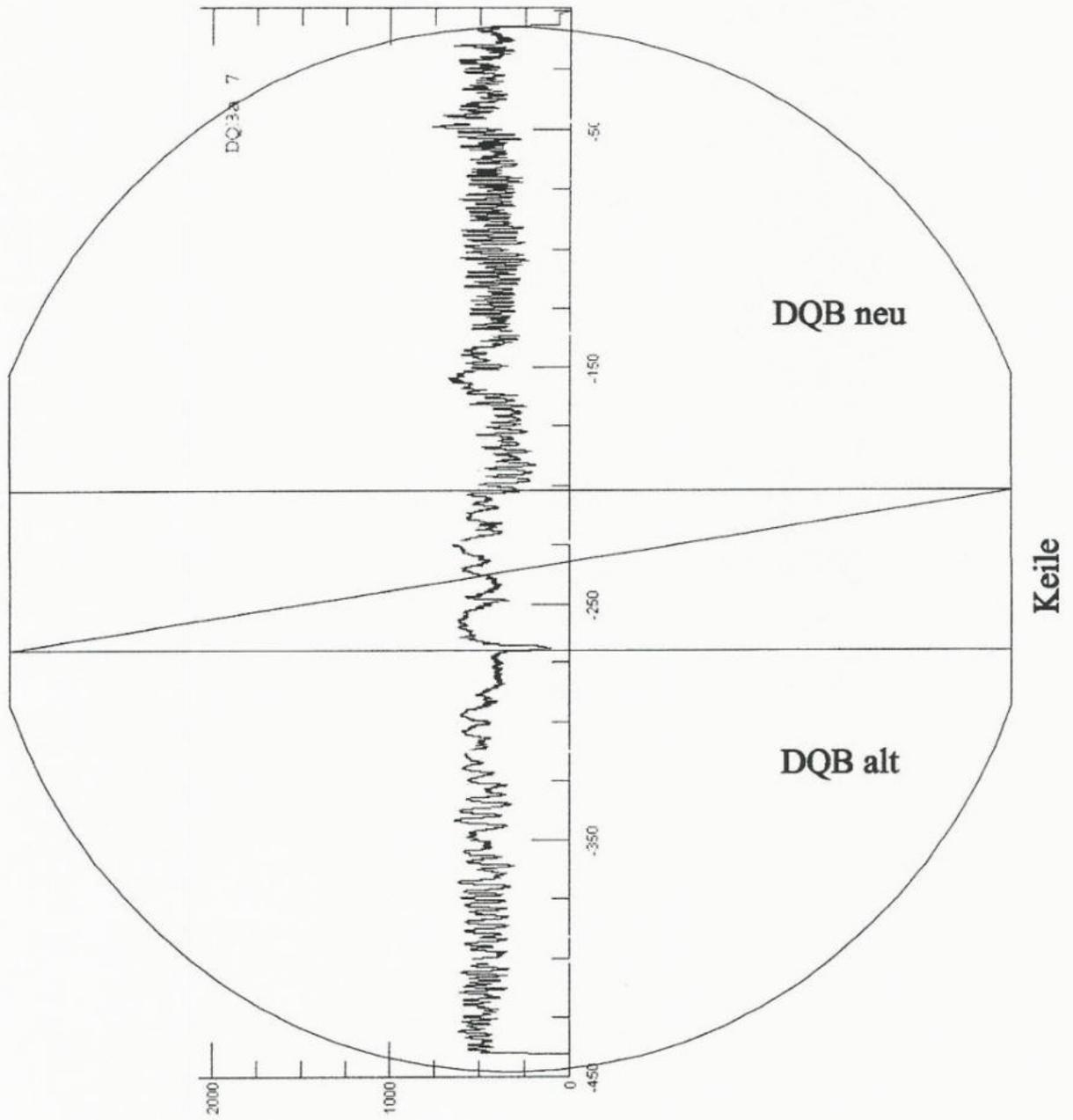
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

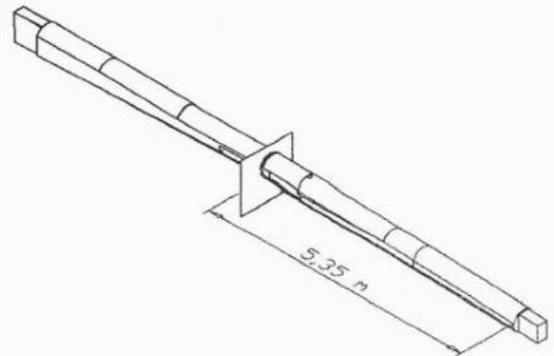
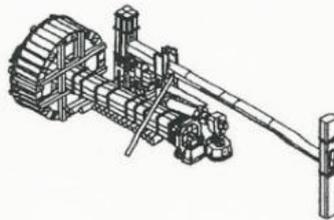
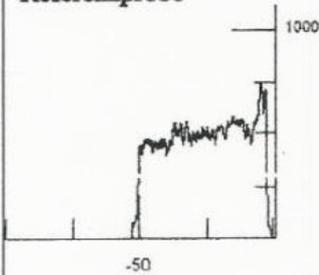
Titel:
Drumquerbalken-
alt, Schnitt 6

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 6 DQB alt
Blatt:
6/12



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Fichte

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

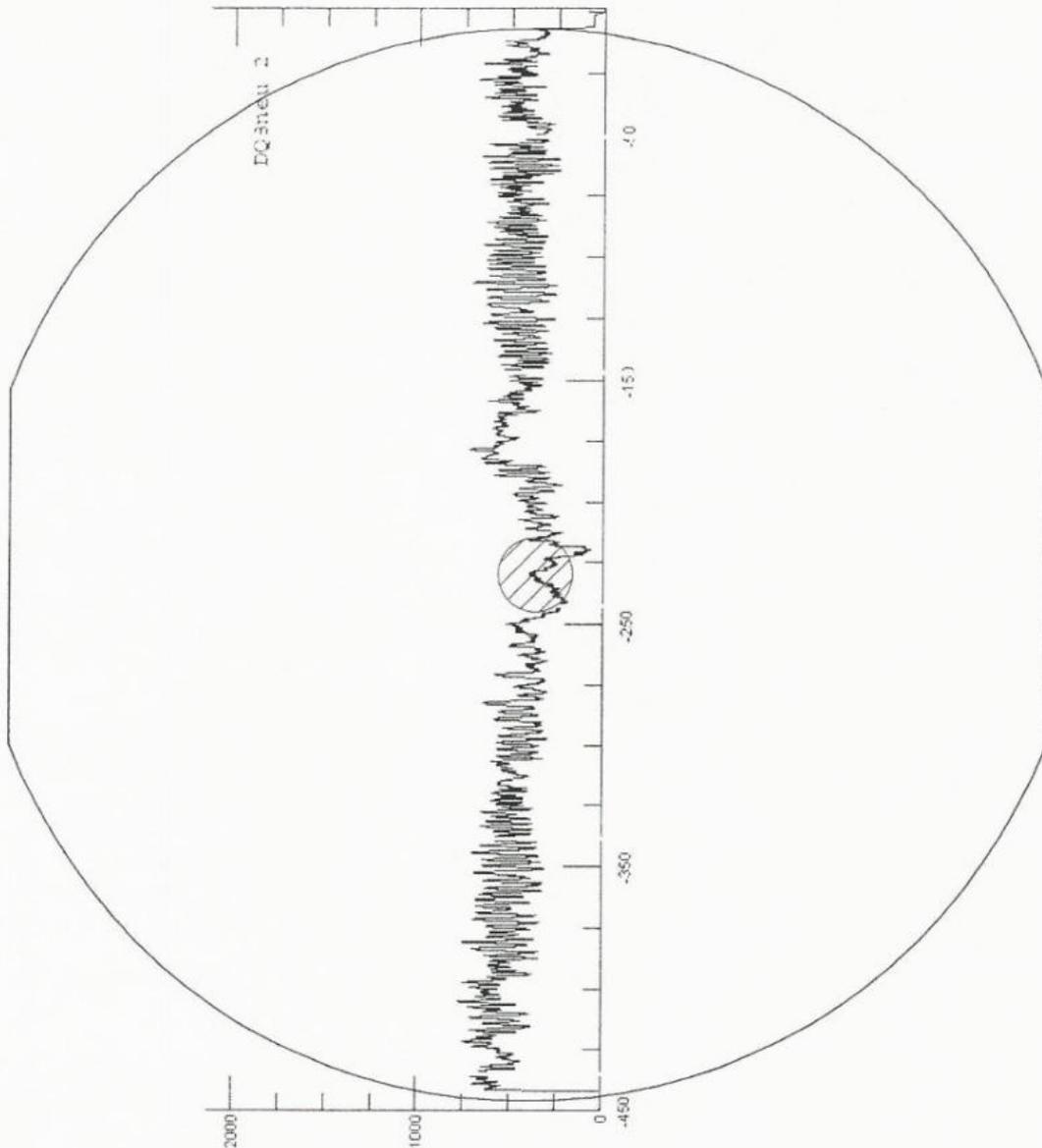
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

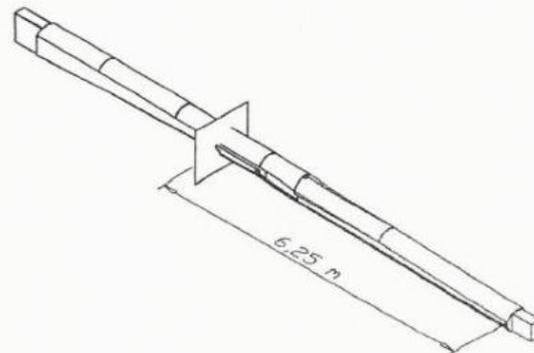
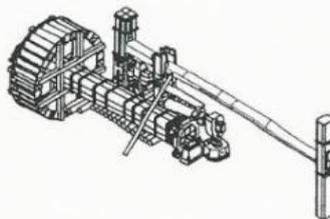
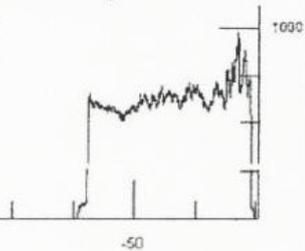
Titel:
**Drumquerbalken-
alt/neu, Schnitt 7**

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 7 DQB alt
Blatt:
7/12



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

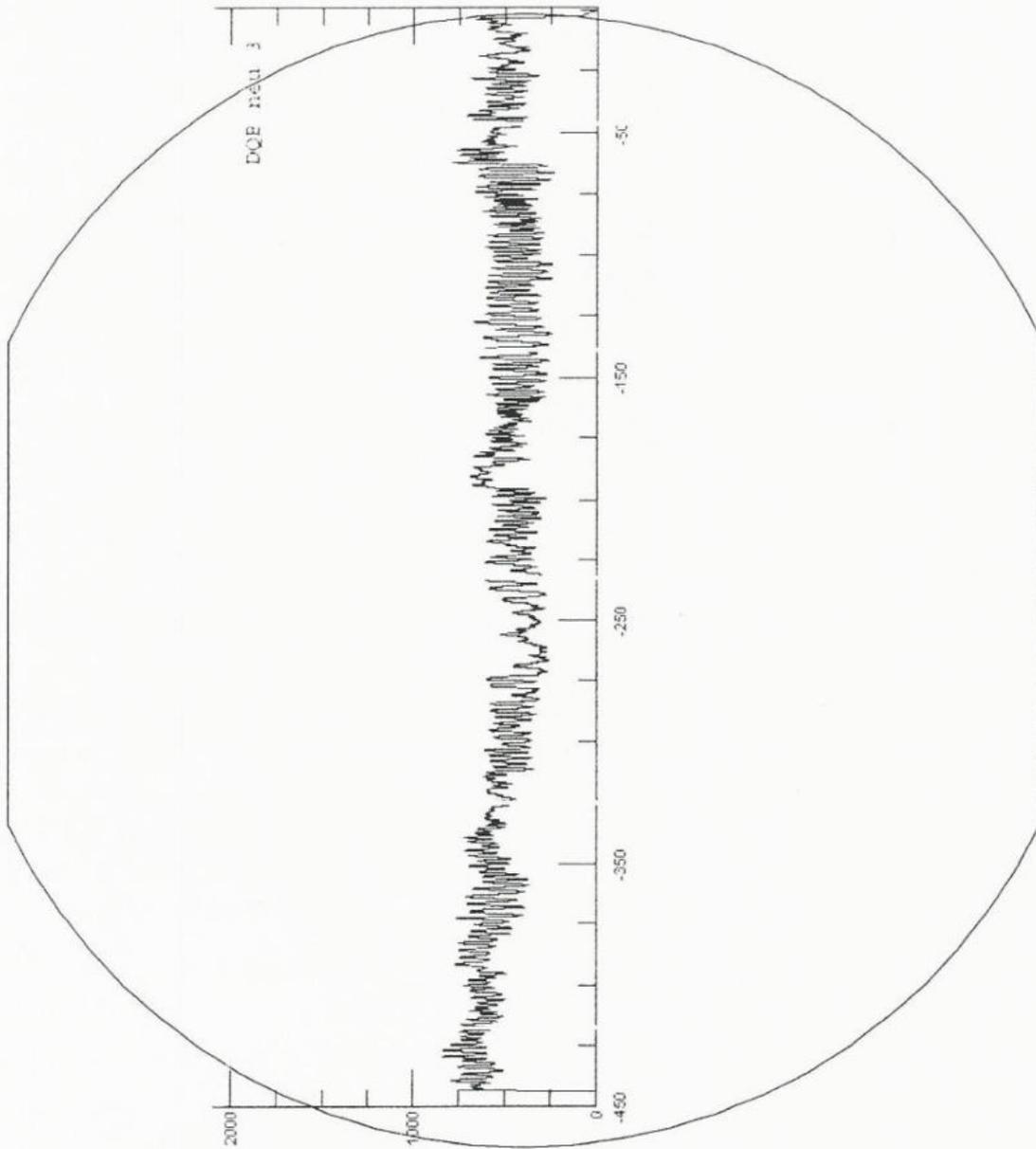
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

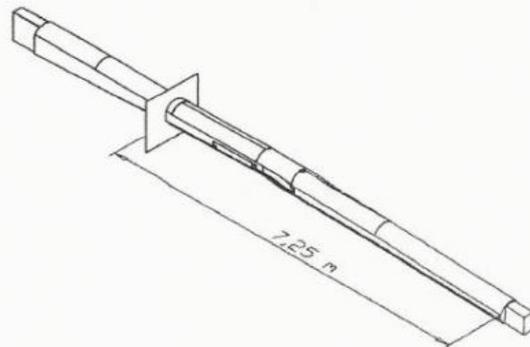
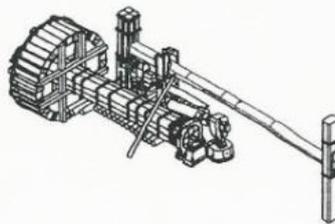
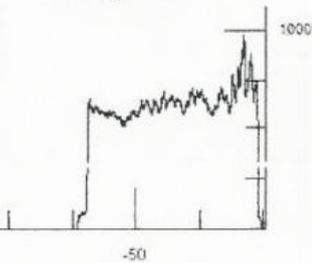
Titel:
Drumquerbalken-
neu, Schnitt 2

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 2 DQB neu
Blatt:
8/12



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

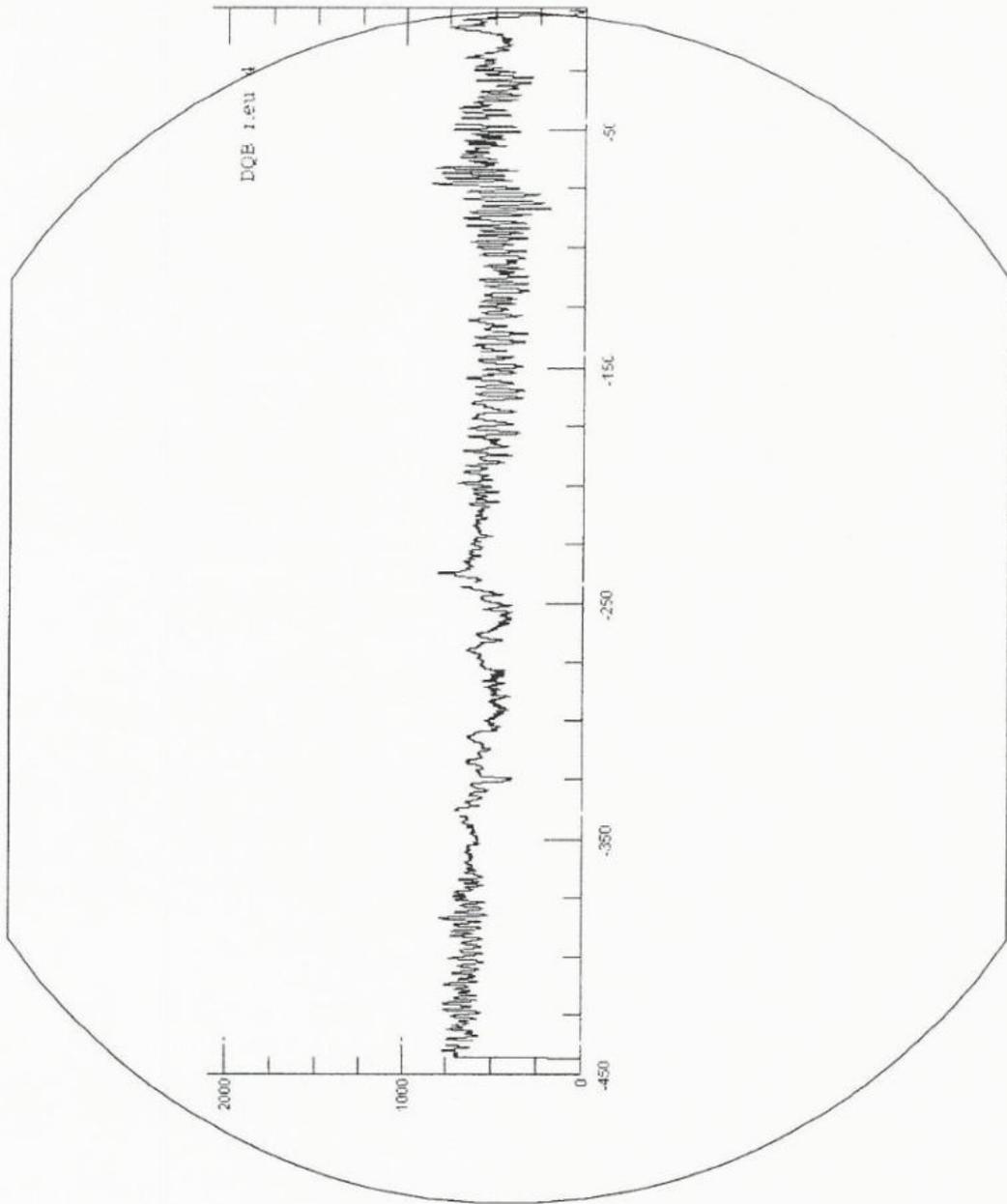
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

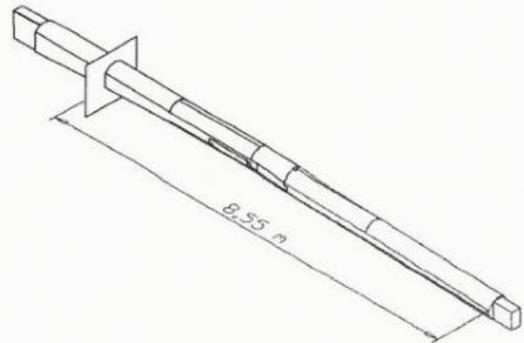
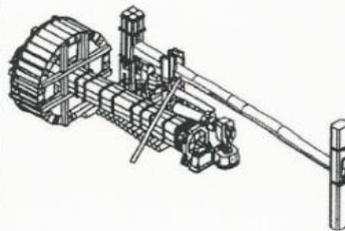
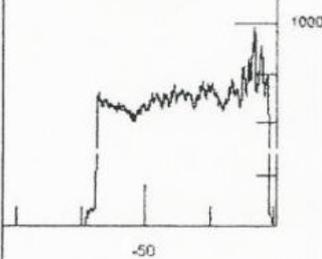
Titel:
**Drumquerbalken-
neu, Schnitt 3**

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 3 DQB neu
Blatt:
9/12



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

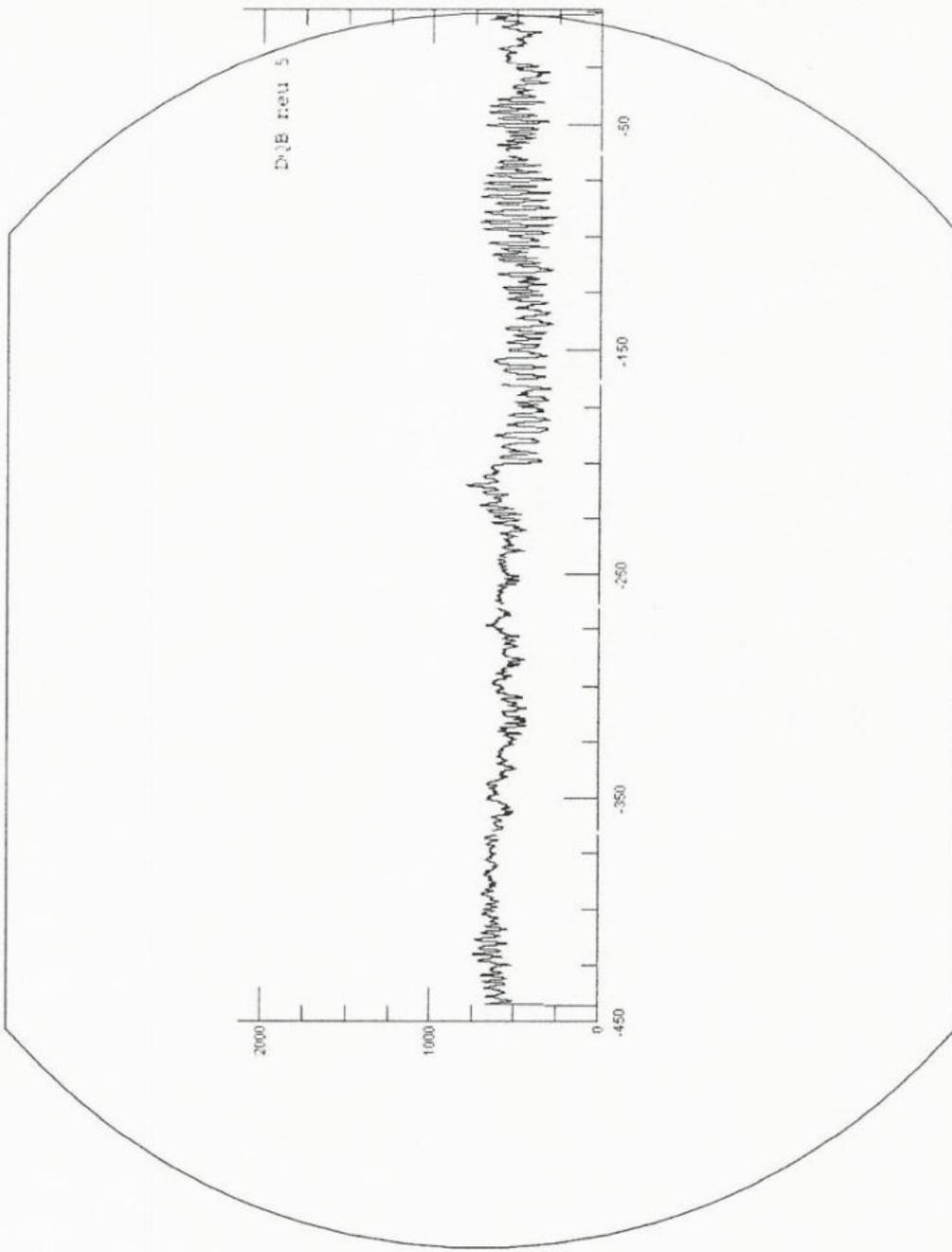
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

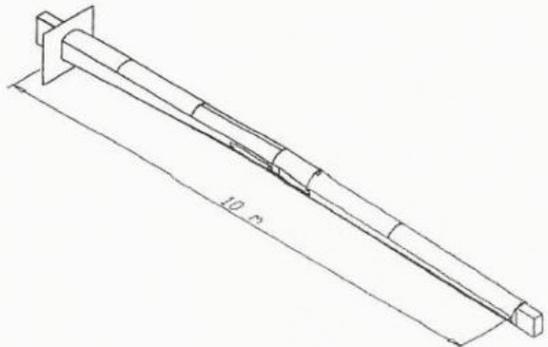
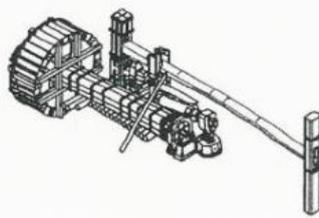
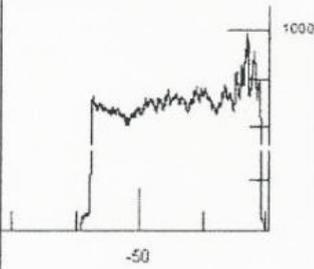
Titel:
**Drumquerbalken-
neu, Schnitt 4**

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

Datei:
 Schnitt 4 DQB neu
 Blatt:
 10/12



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

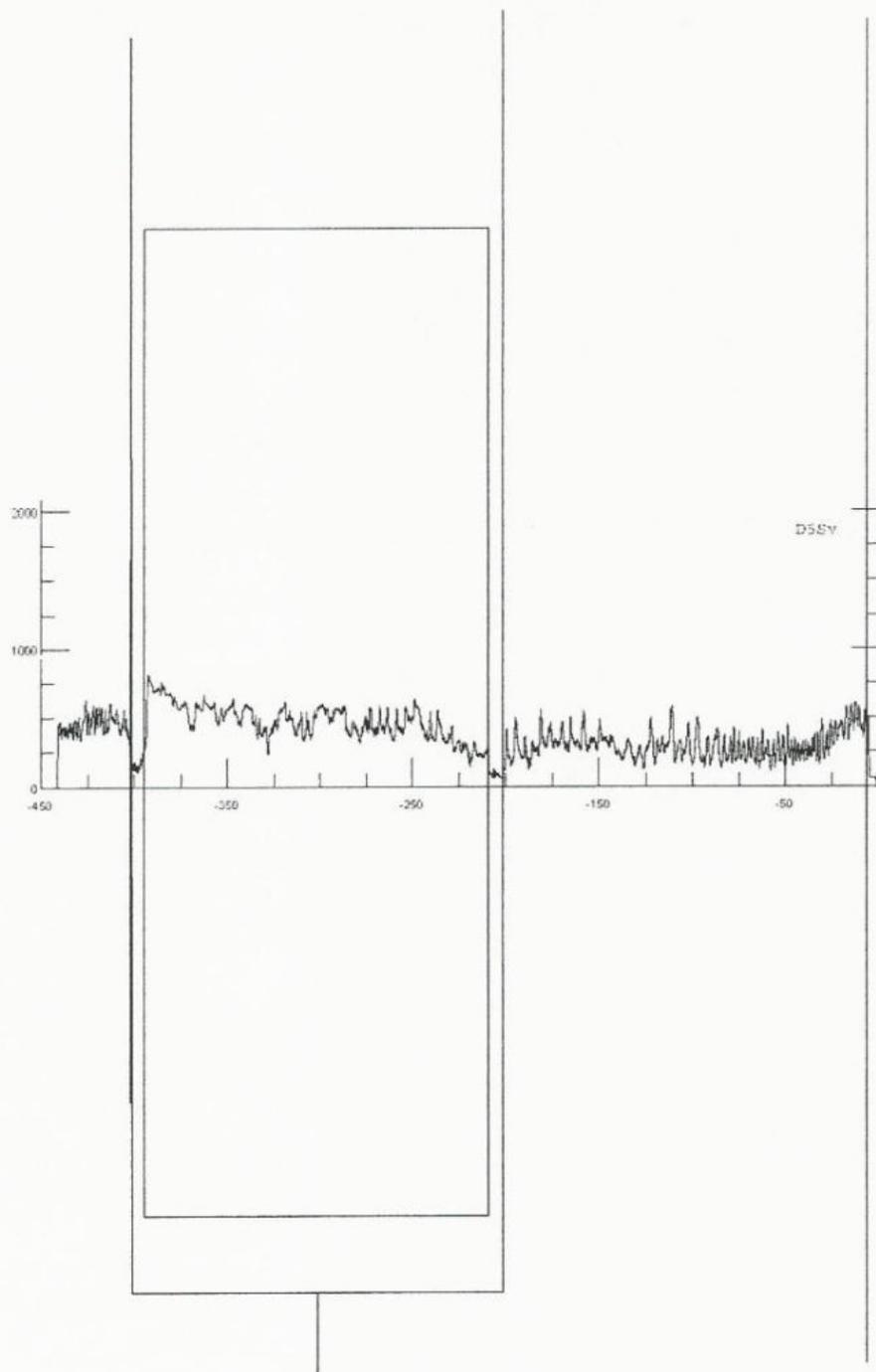
Abzissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

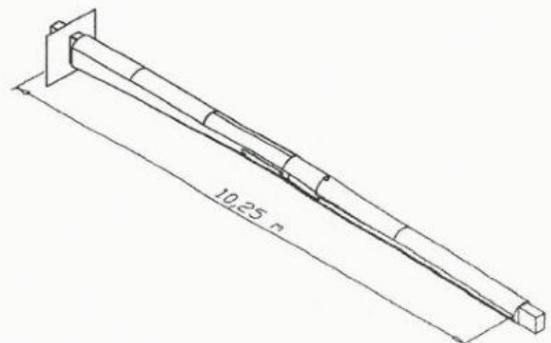
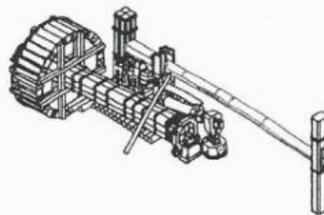
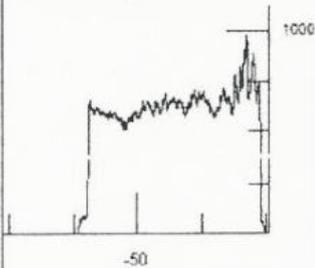
Titel:
**Drumquerbalken-
neu, Schnitt 5**

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 5 DQB neu
Blatt:
11/12



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

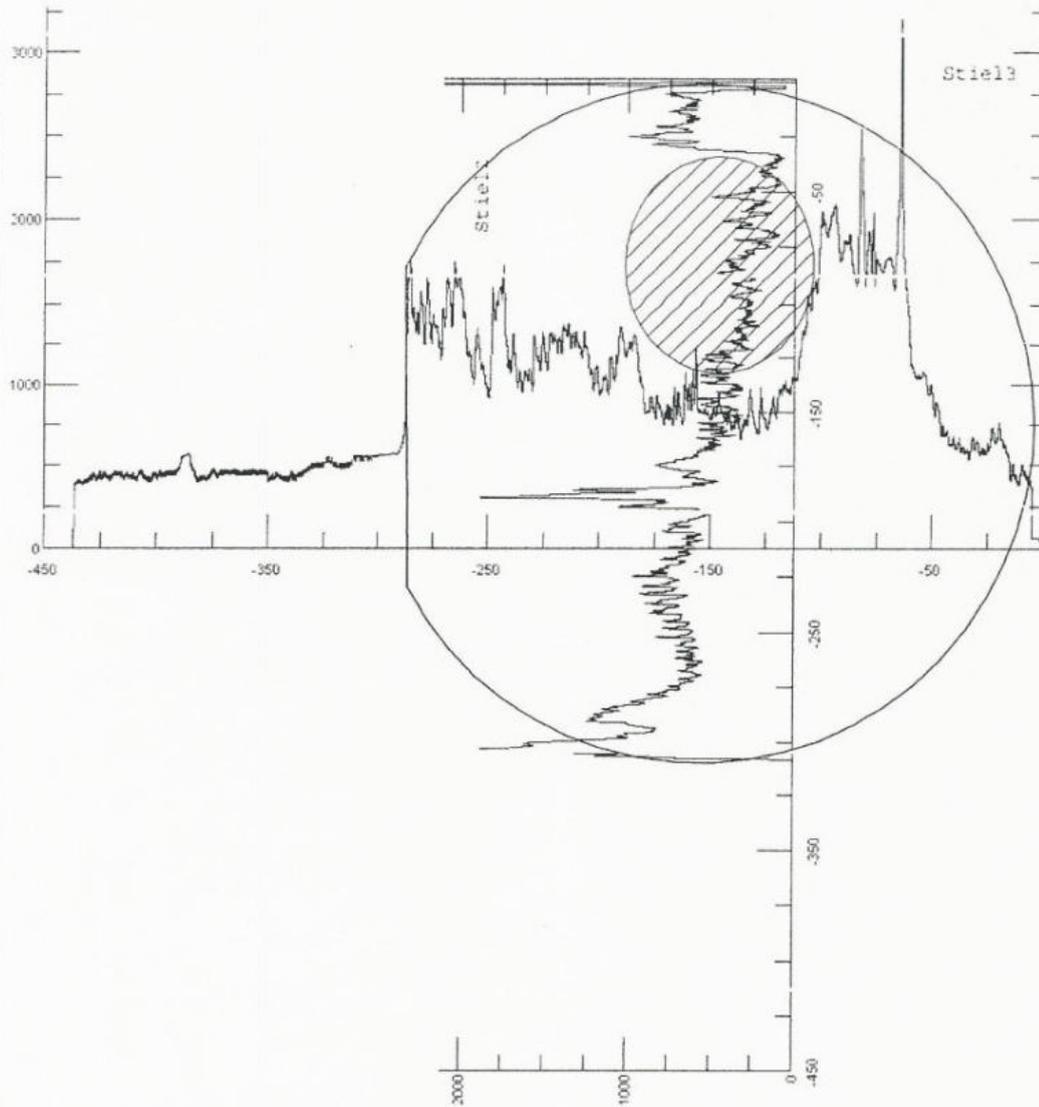
FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

Titel:
**Drumquerbalken-
neu, Schnitt 6**

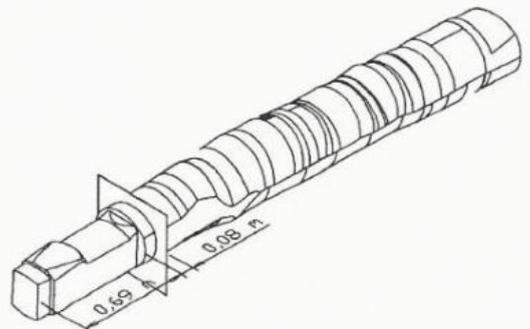
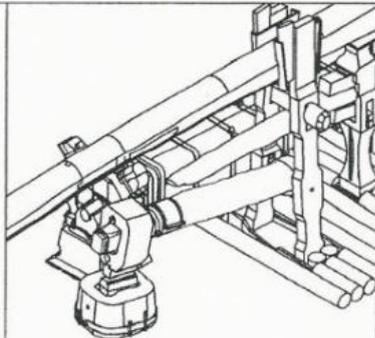
Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 6 DQB neu

Blatt:
12/12



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

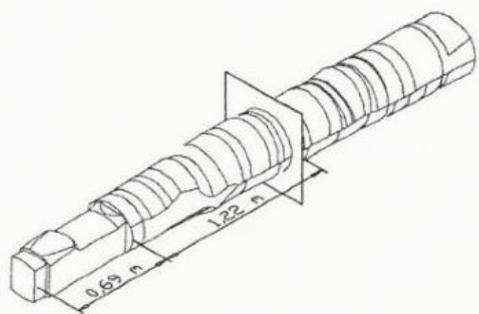
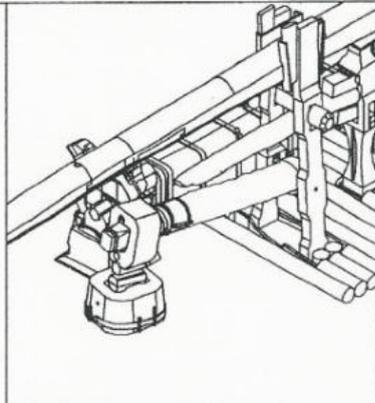
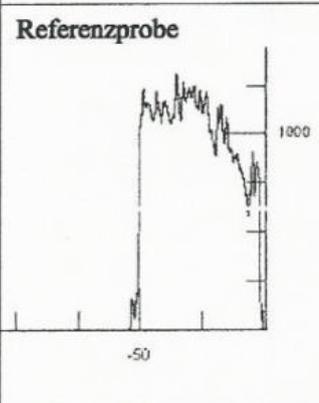
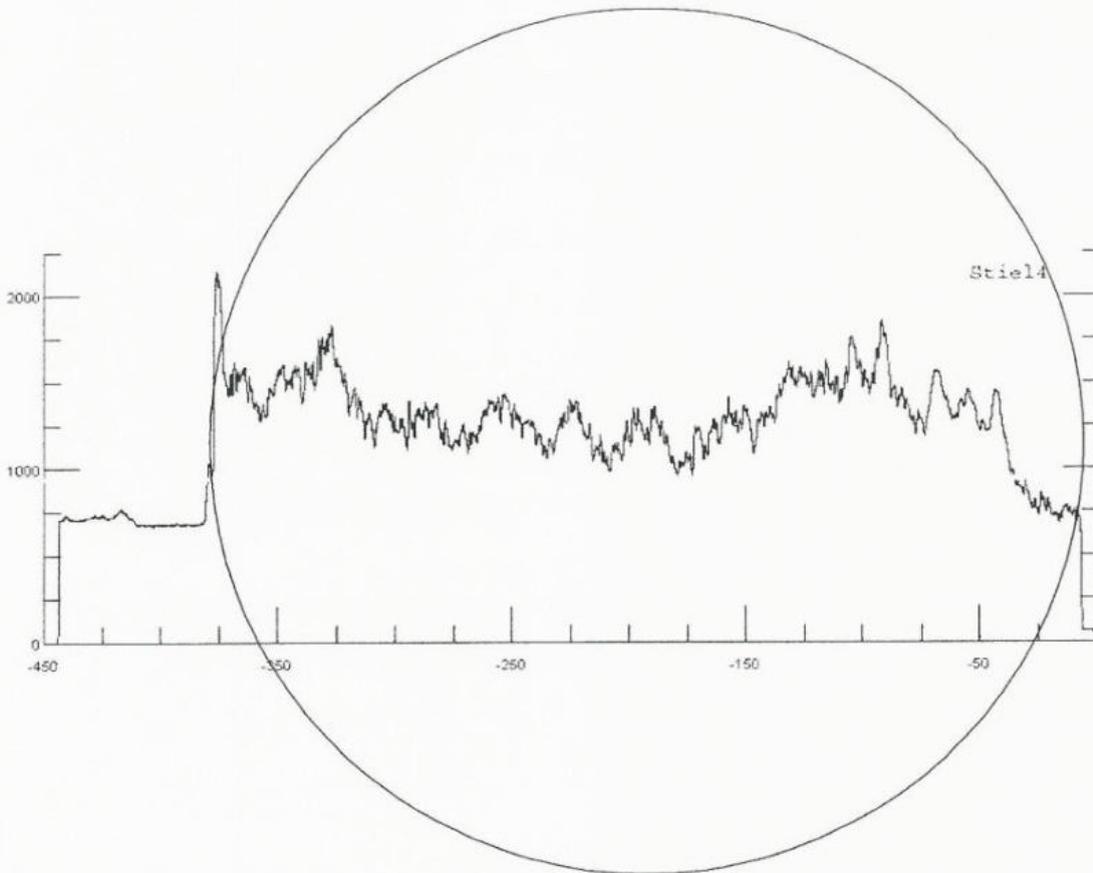
Titel:
Hammerstiel
Schnitt 1

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstandsmessung

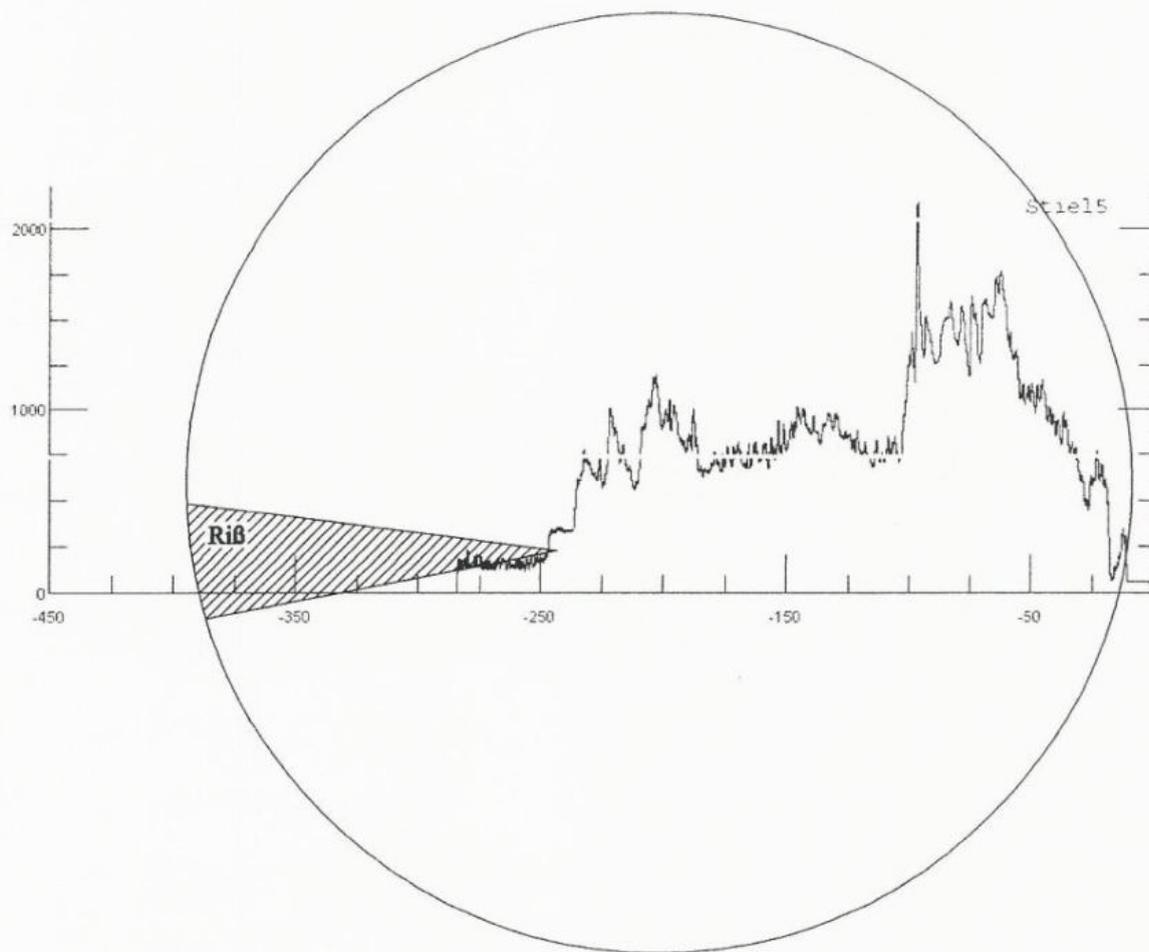
Datei:
Schnitt 1 Stiel

Blatt:
1/6

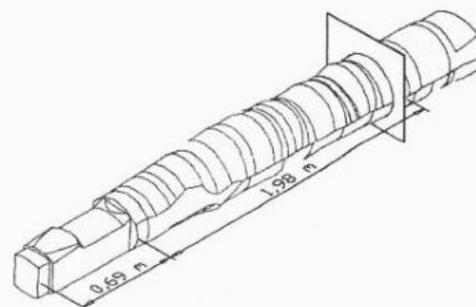
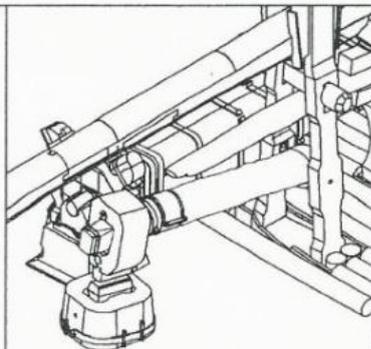
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand



<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Birke</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>		<p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>Titel: Hammerstiel Schnitt 2</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung</p> <p>Datei: Schnitt 2 Stiel</p> <p>Blatt: 2/6</p>



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

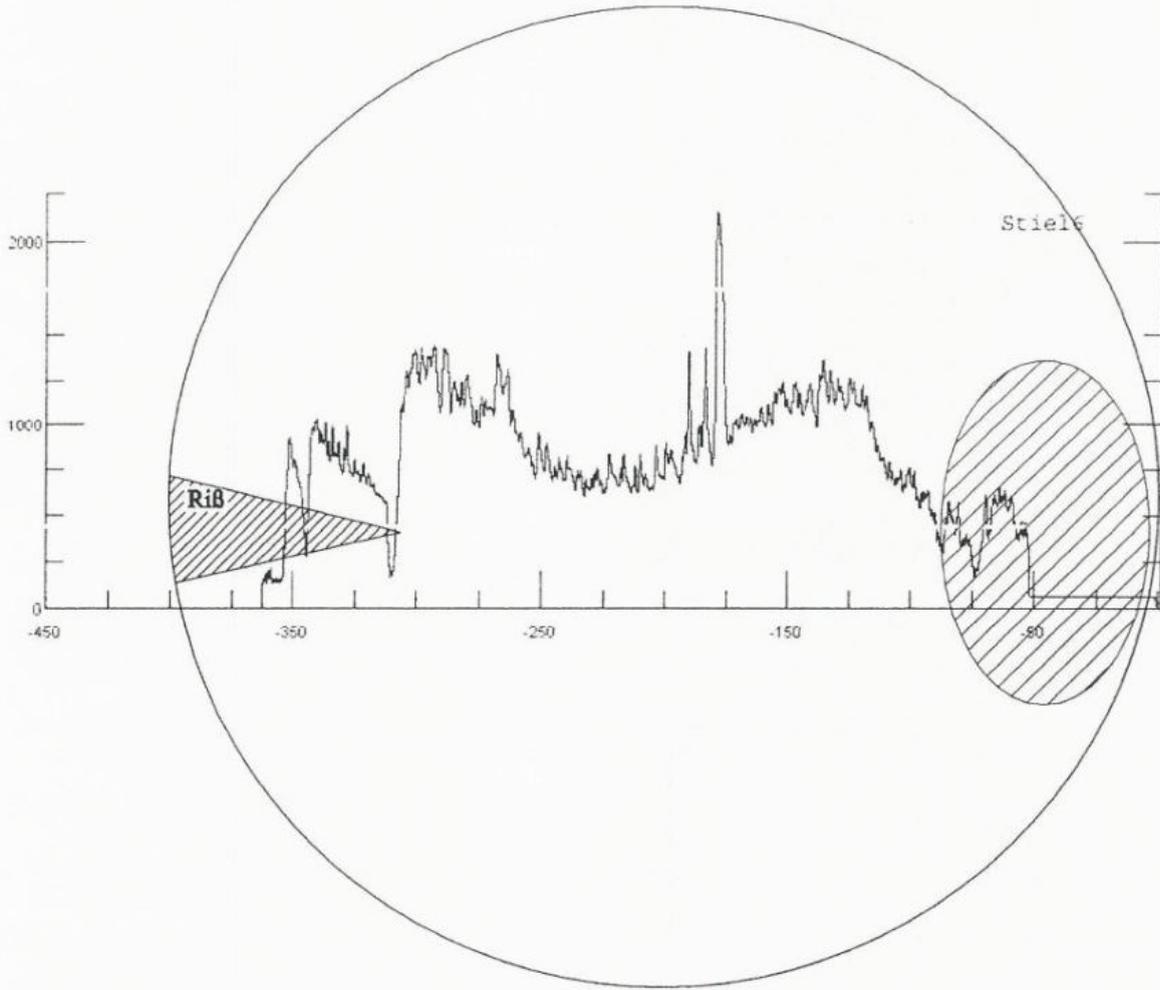
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

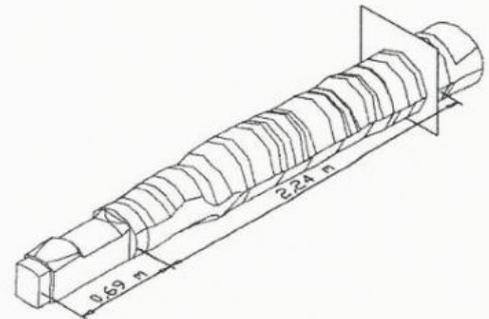
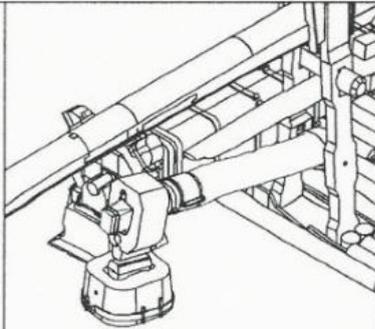
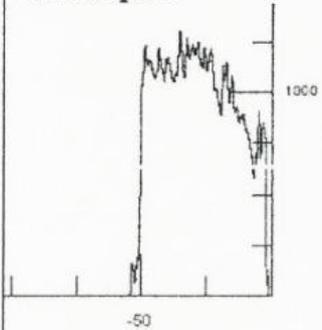
Titel:
**Hammerstiel
Schnitz 3**

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitz 3 Stiel
Blatt:
3/6



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

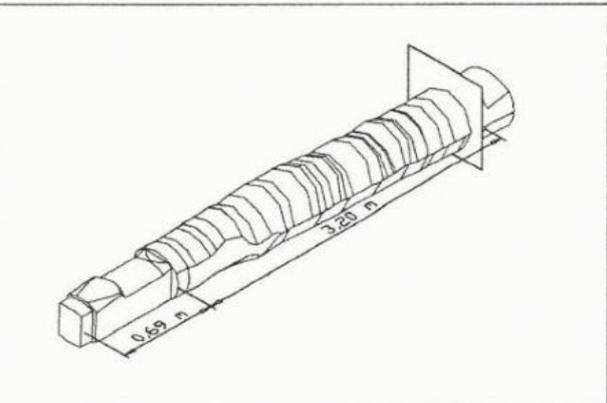
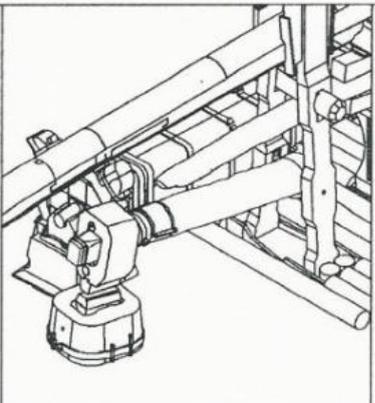
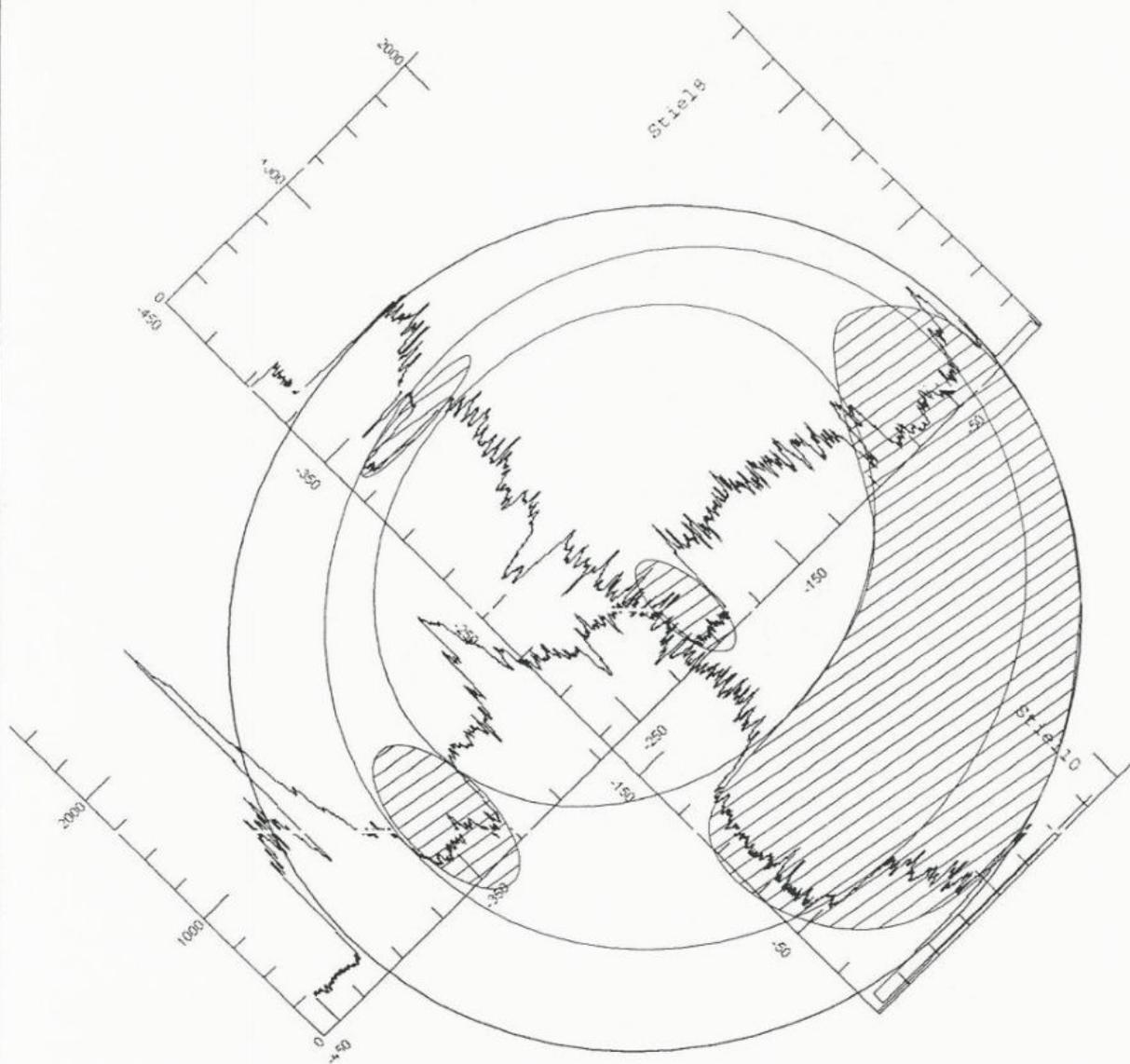
Titel:
Hammerstiel
Schnitt 4

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

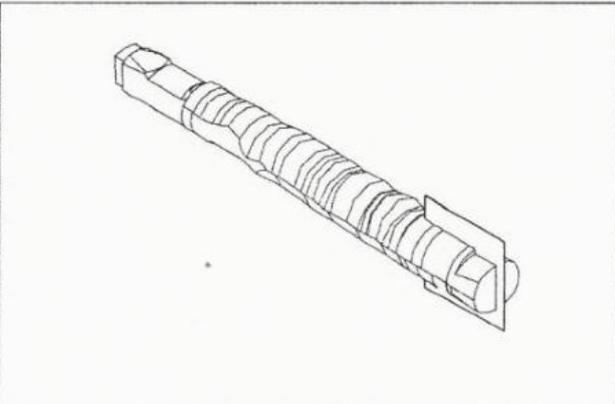
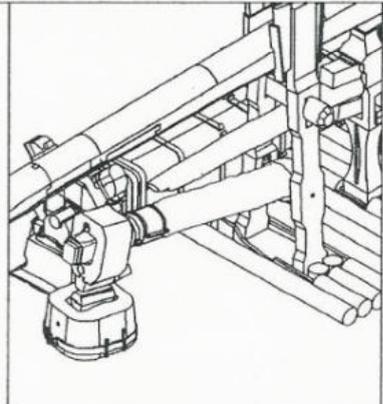
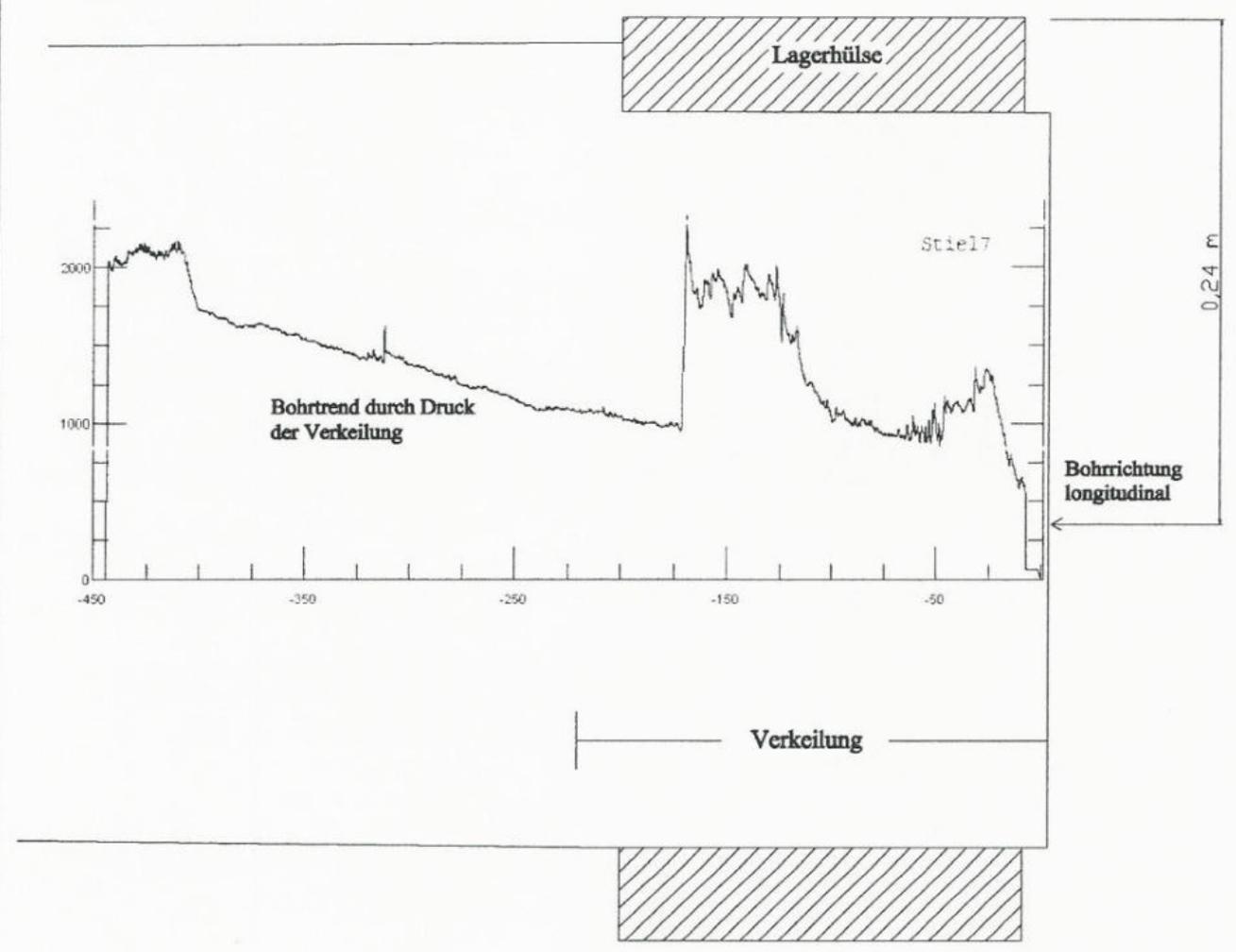
Detail:
Schnitt 4 Stiel

Blatt:
4/6

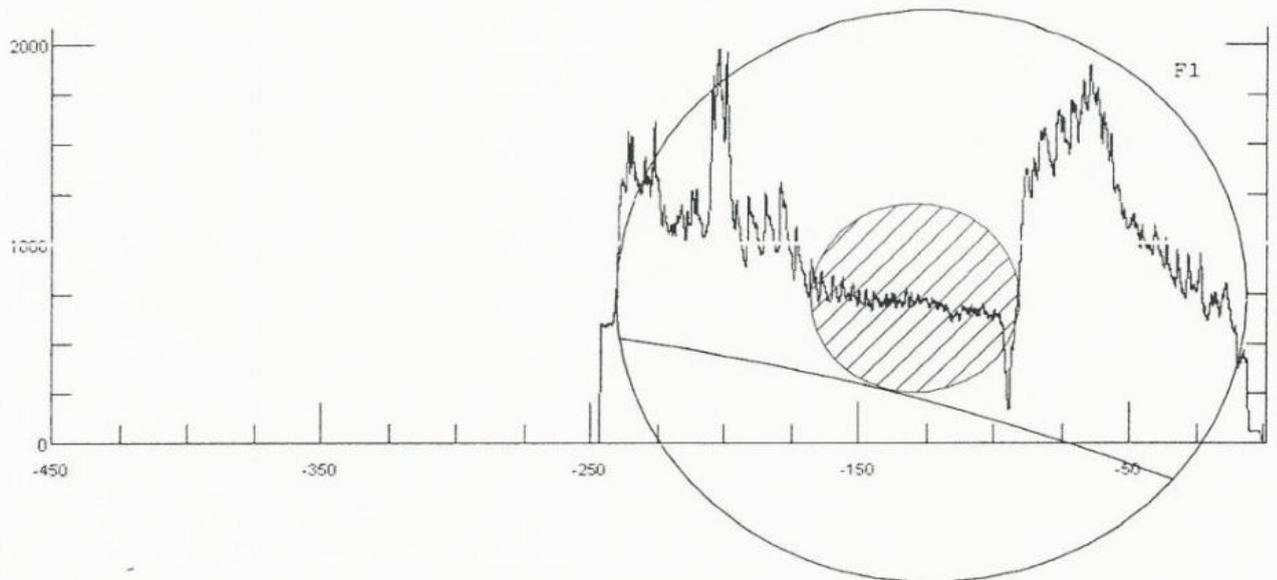
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand



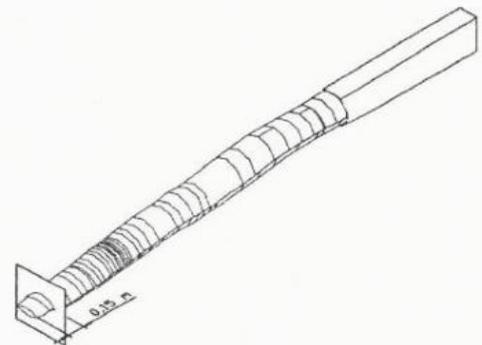
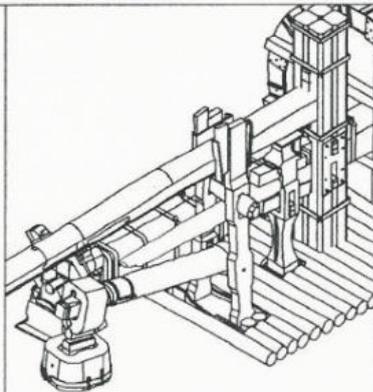
<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Birke</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p> <p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>	
<p>Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>			<p>Titel: Hammerstiel Schnitt 5</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung</p>	<p>Datei: Schnitt 5 Stiel</p> <p>Blatt: 5/6</p>



<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> tragfähiges Holz <div style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-right: 5px;"></div> abgebautes, nicht tragfähiges Holz </div>	Holzart: Birke	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Titel: Hammerstiel Schnitt 6	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung	Datei: Schnitt 6 Stiel Blatt: 6/6
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand					



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

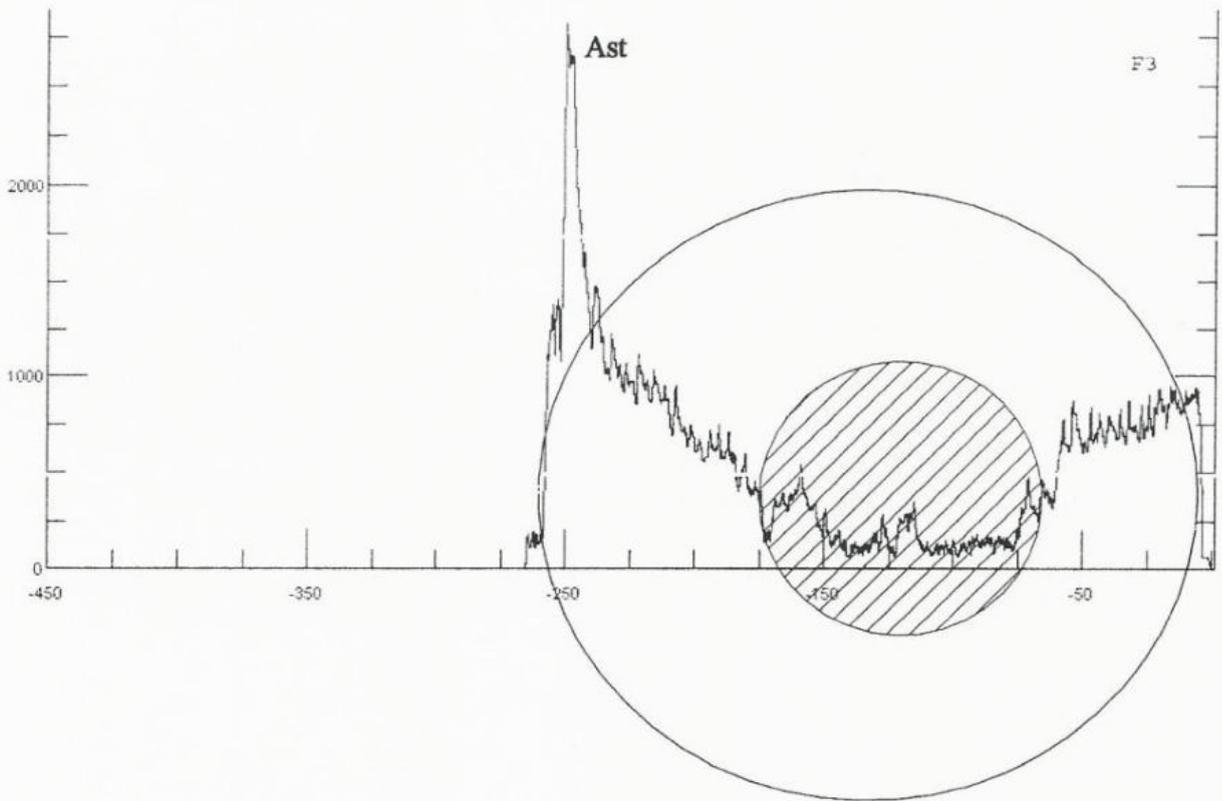
Titel:
Prellholz
Schnitt 1

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstandsmessung

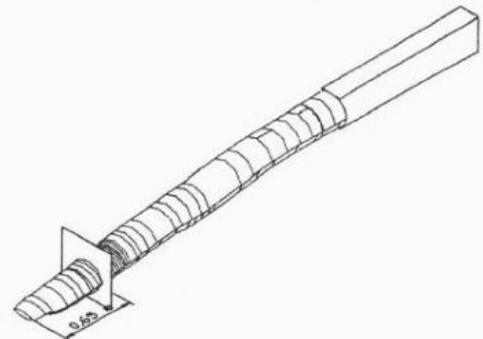
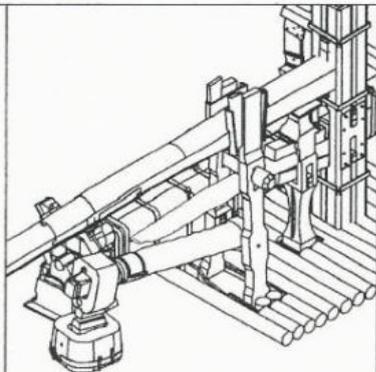
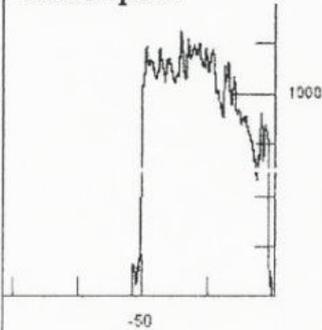
Datei:
Schnitt 1 Feder

Blatt:
1/9

Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

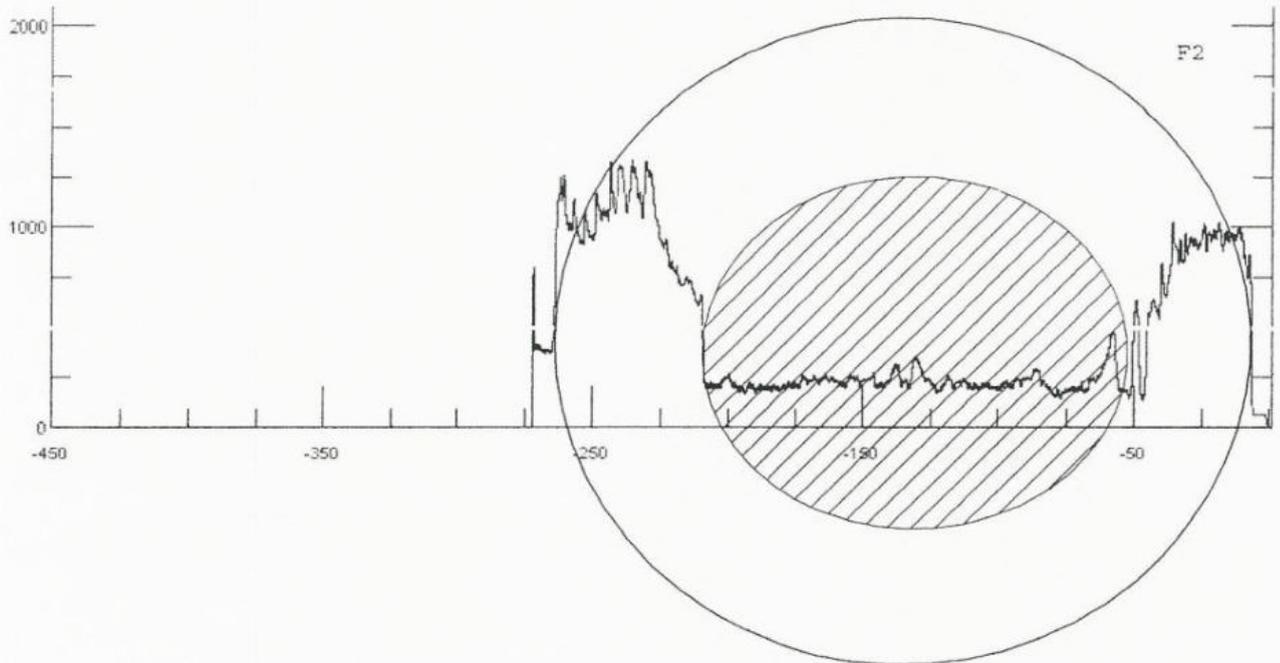
Titel:
Prellholz
Schnitt 2

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

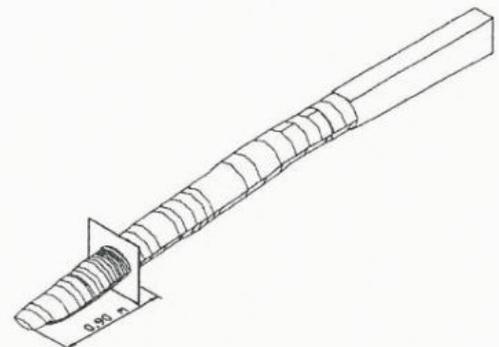
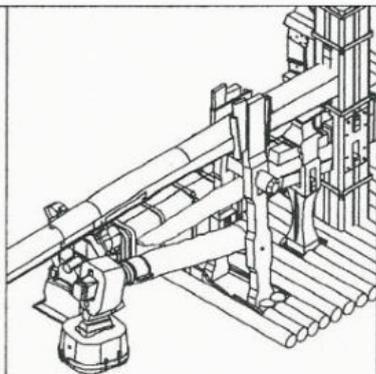
Datei:
Schnitt 2 Feder

Blatt:
2/9

Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

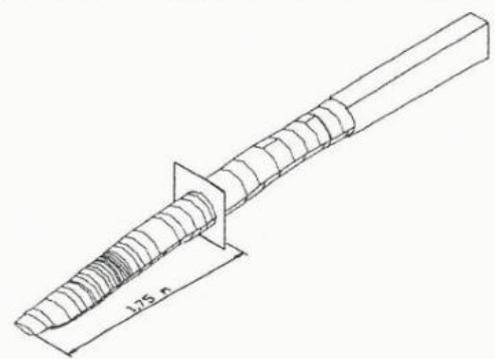
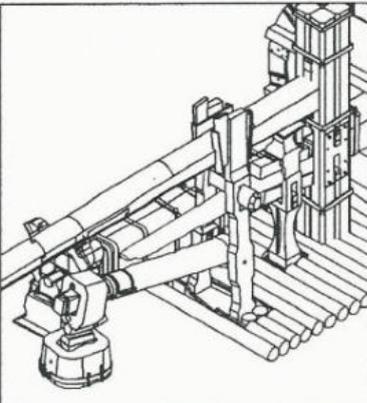
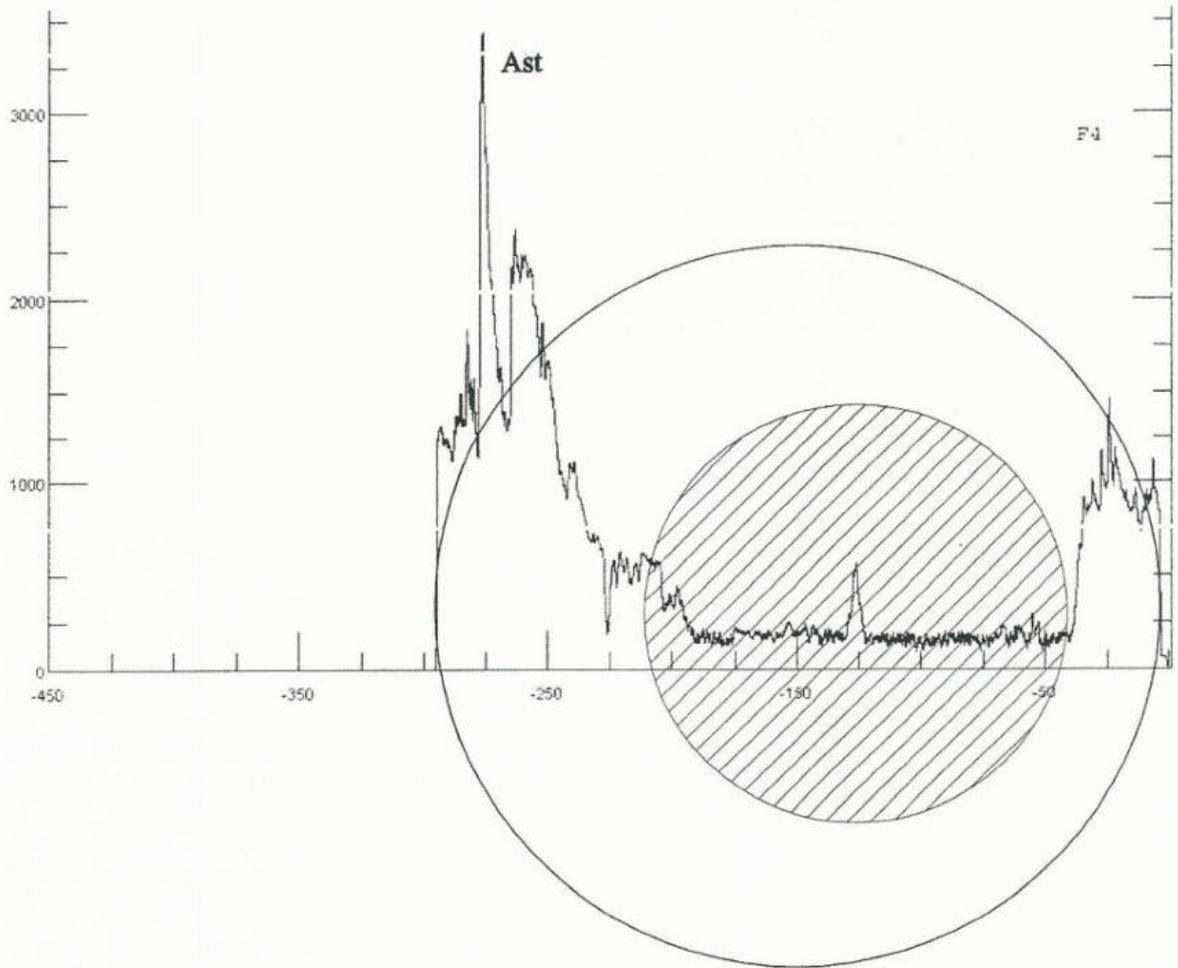
Titel:
**Prellholz
 Schnitt 3**

Bemerkung:
**Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung**

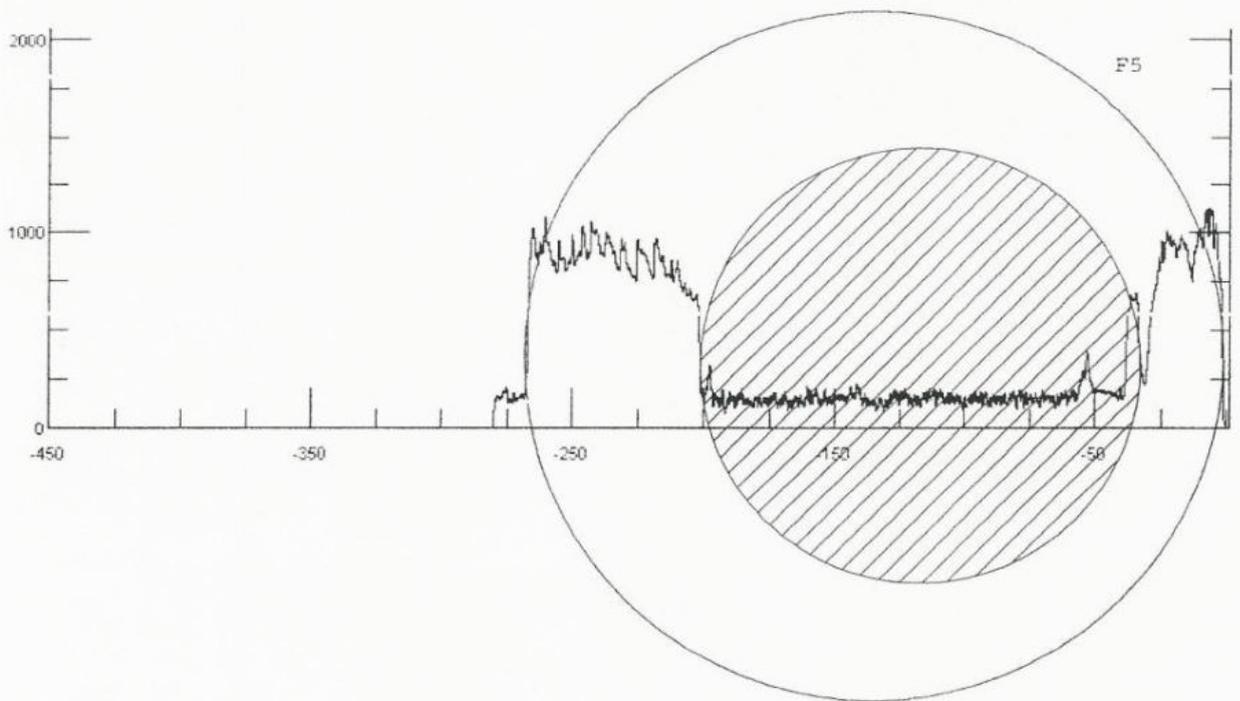
Datei:
Schnitt 3 Feder

Blatt:
3/9

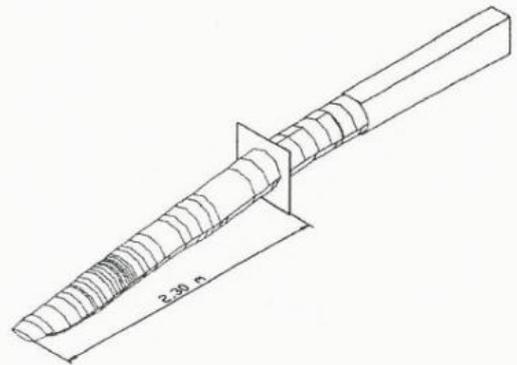
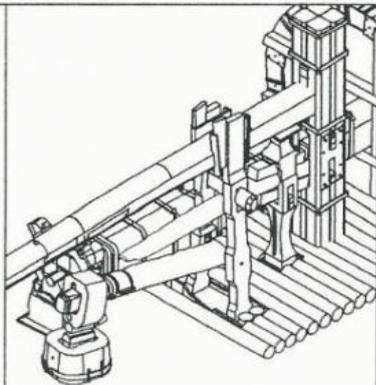
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand



<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Birke</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>		<p>Titel: Prellholz Schnitt 4</p>	<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung</p>	<p>Datei: Schnitt 4 Feder Blatt: 4/9</p>	



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

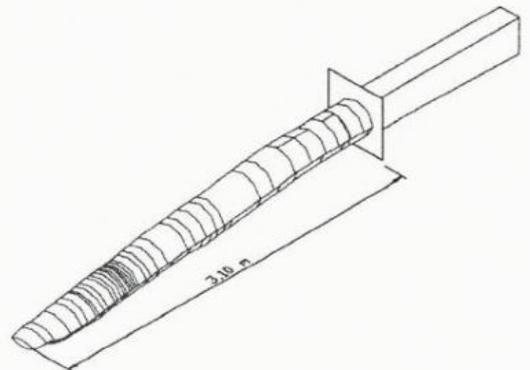
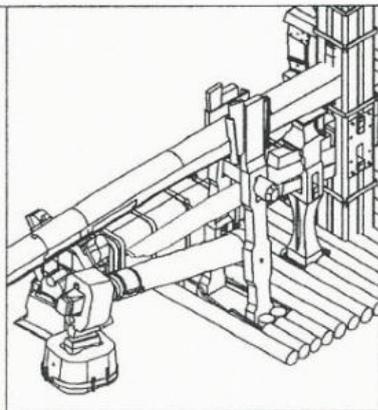
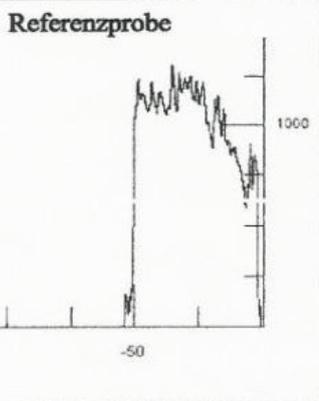
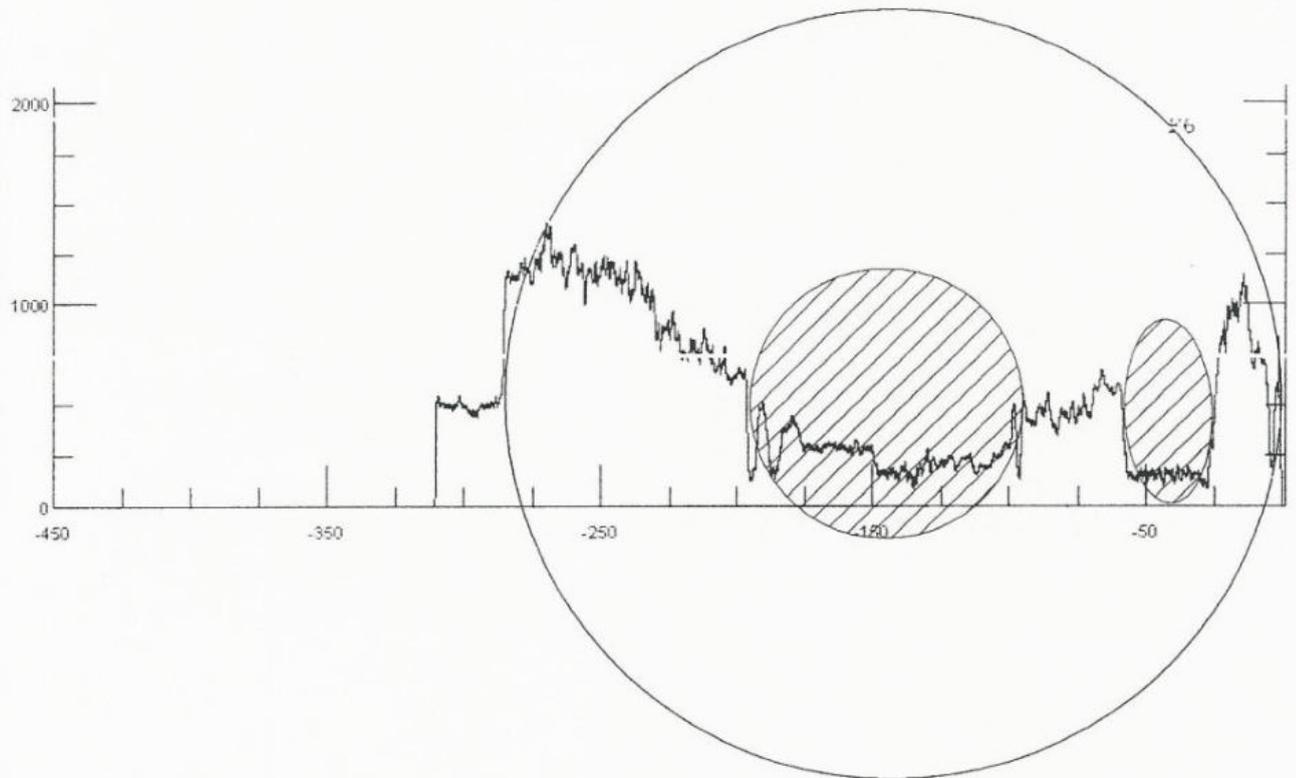
Datum:
2002/3

Titel:
Prellholz
Schnitt 5

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwiderstands-
messung

Datei:
Schnitt 5 Feder
Blatt:
5/9

Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

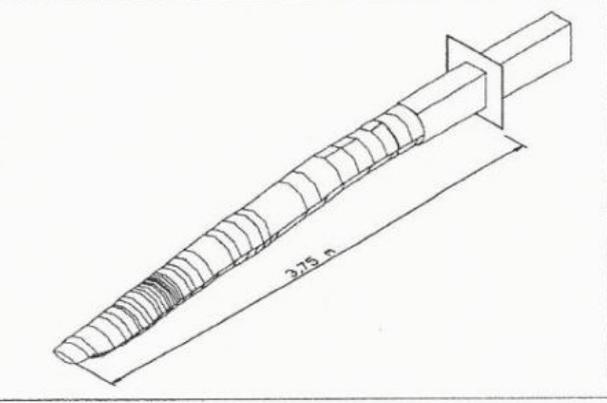
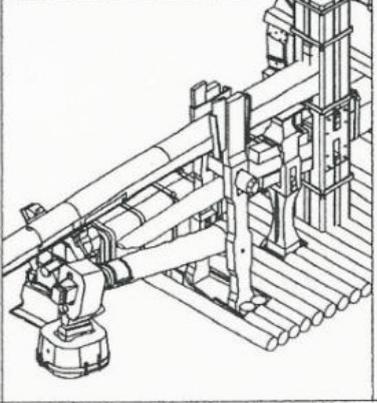
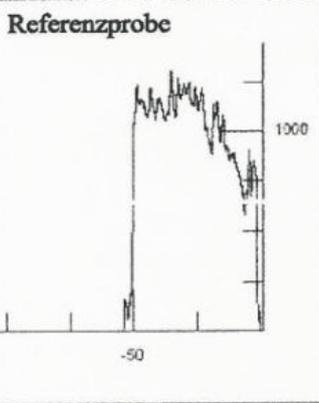
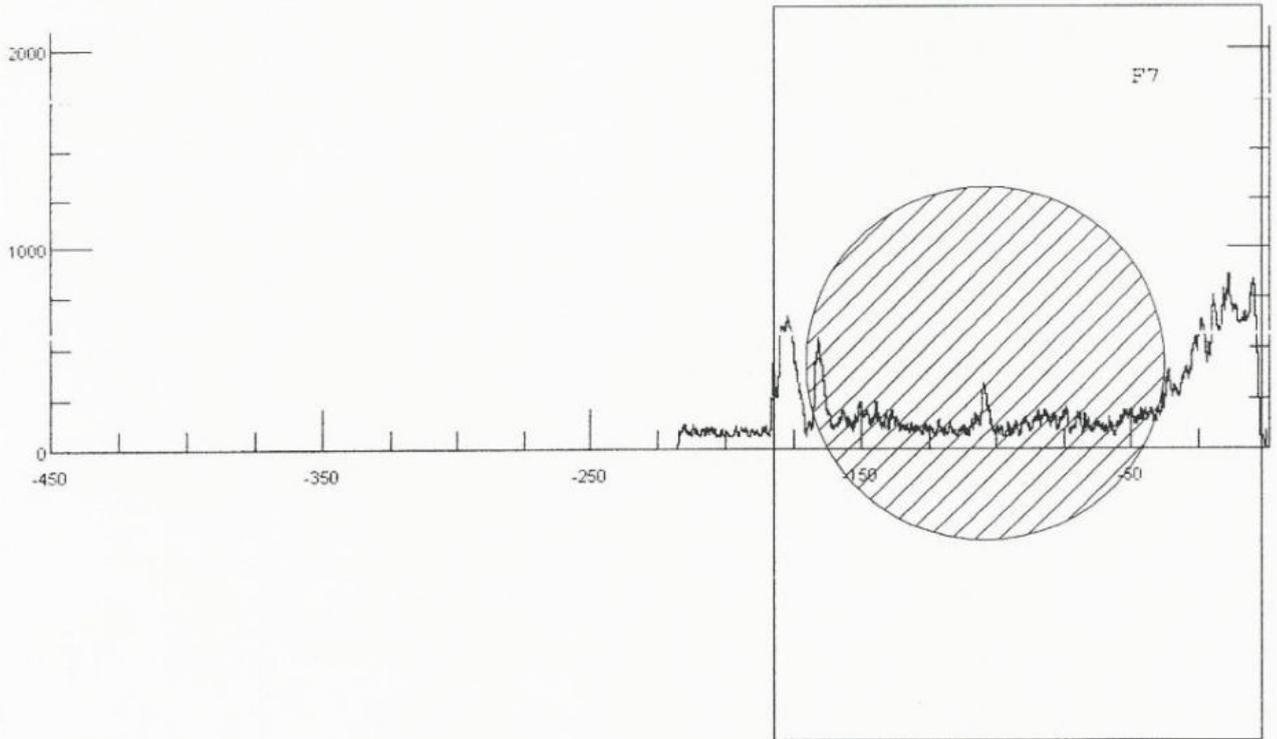
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

Titel:
**Prellholz
 Schnitt 6**

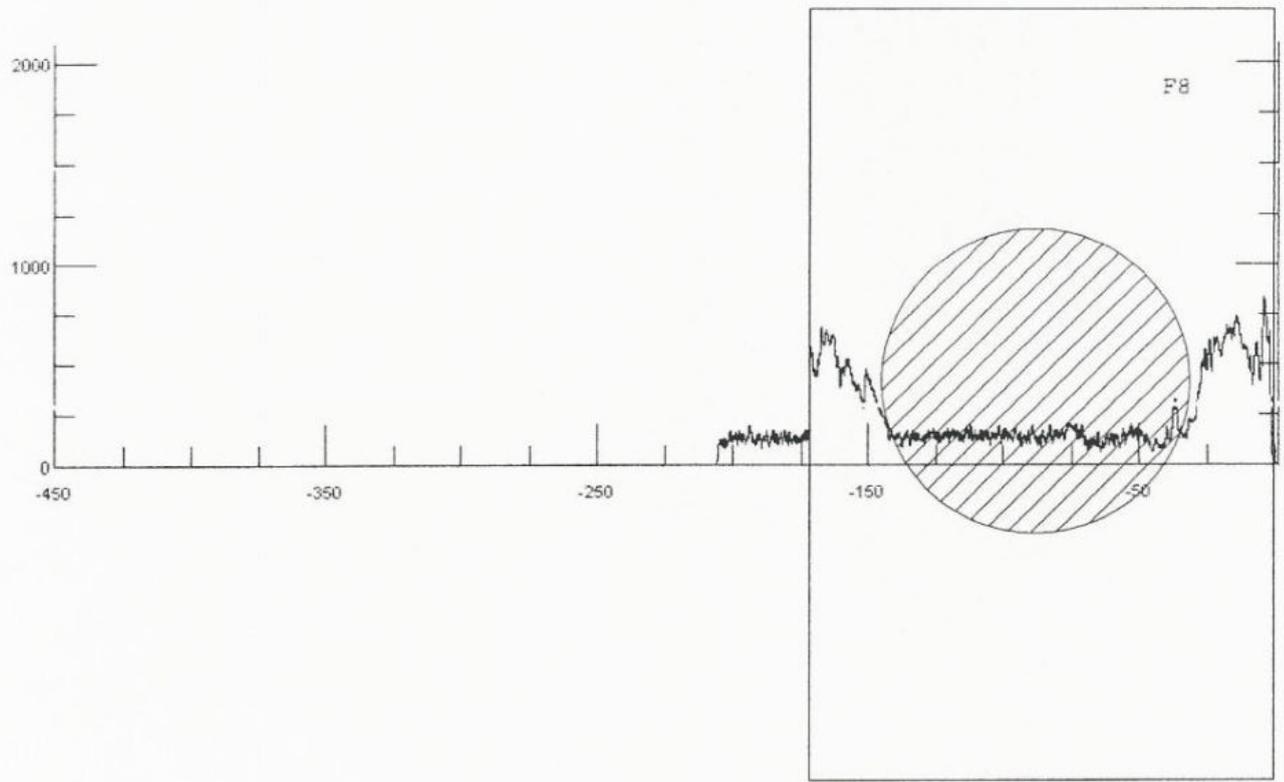
Bemerkung:
**Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung**

Datei:
Schnitt 6 Feder

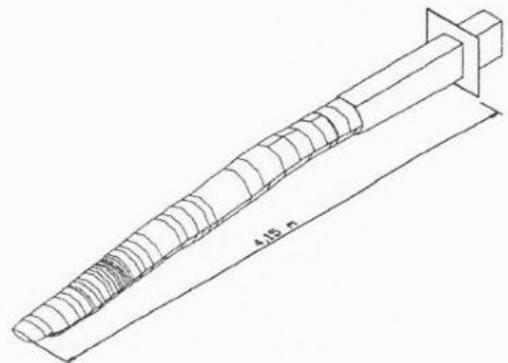
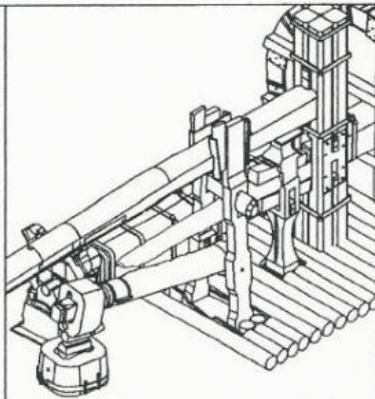
Blatt:
 6/9



<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Birke	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Titel: Prellholz Schnitt 7	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung	Datei: Schnitt 7 Feder Blatt: 7/9
Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand		FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik			



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

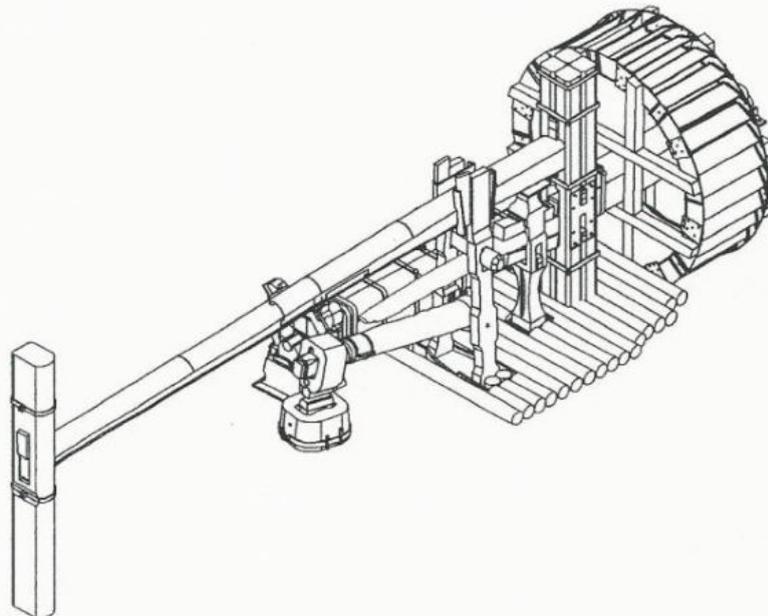
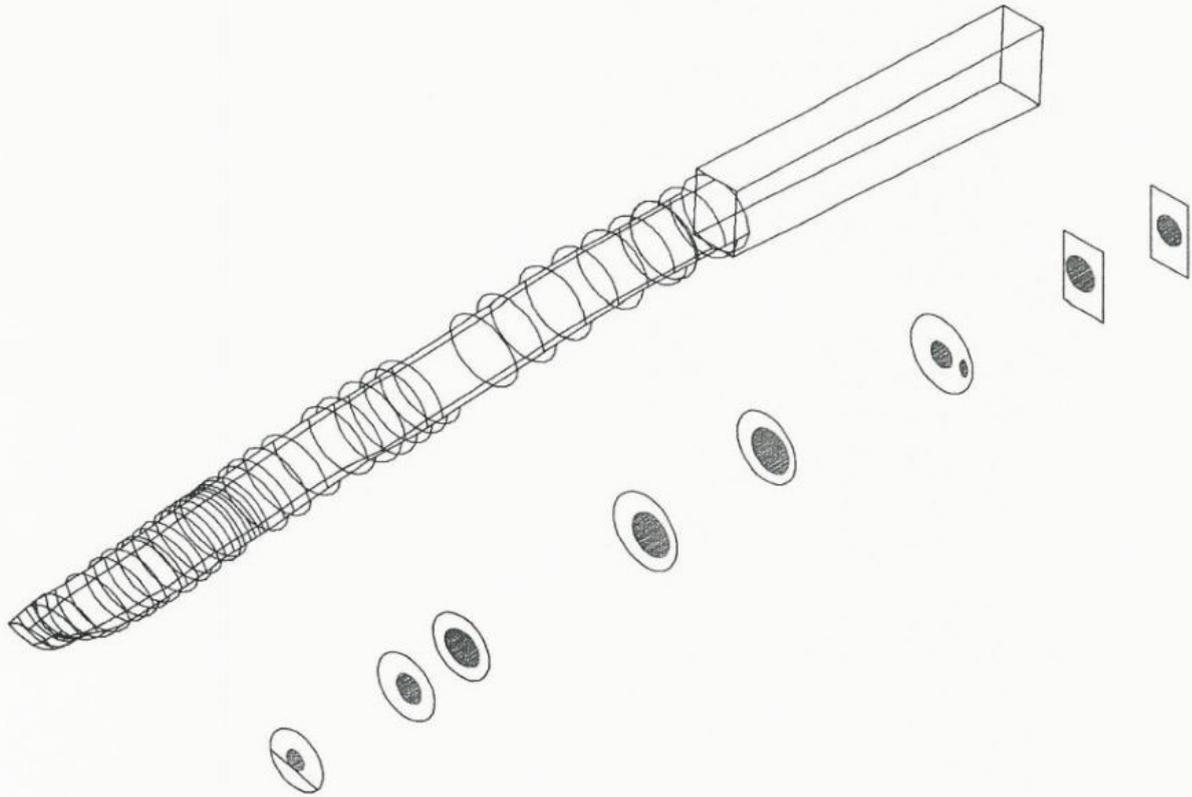
Titel:
**Prellholz
 Schnitt 8**

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

Datei:
Schnitt 8 Feder

Blatt:
8/9

Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Birke

Diplomthema:
**Die Hammerschmiede des
 Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen**
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

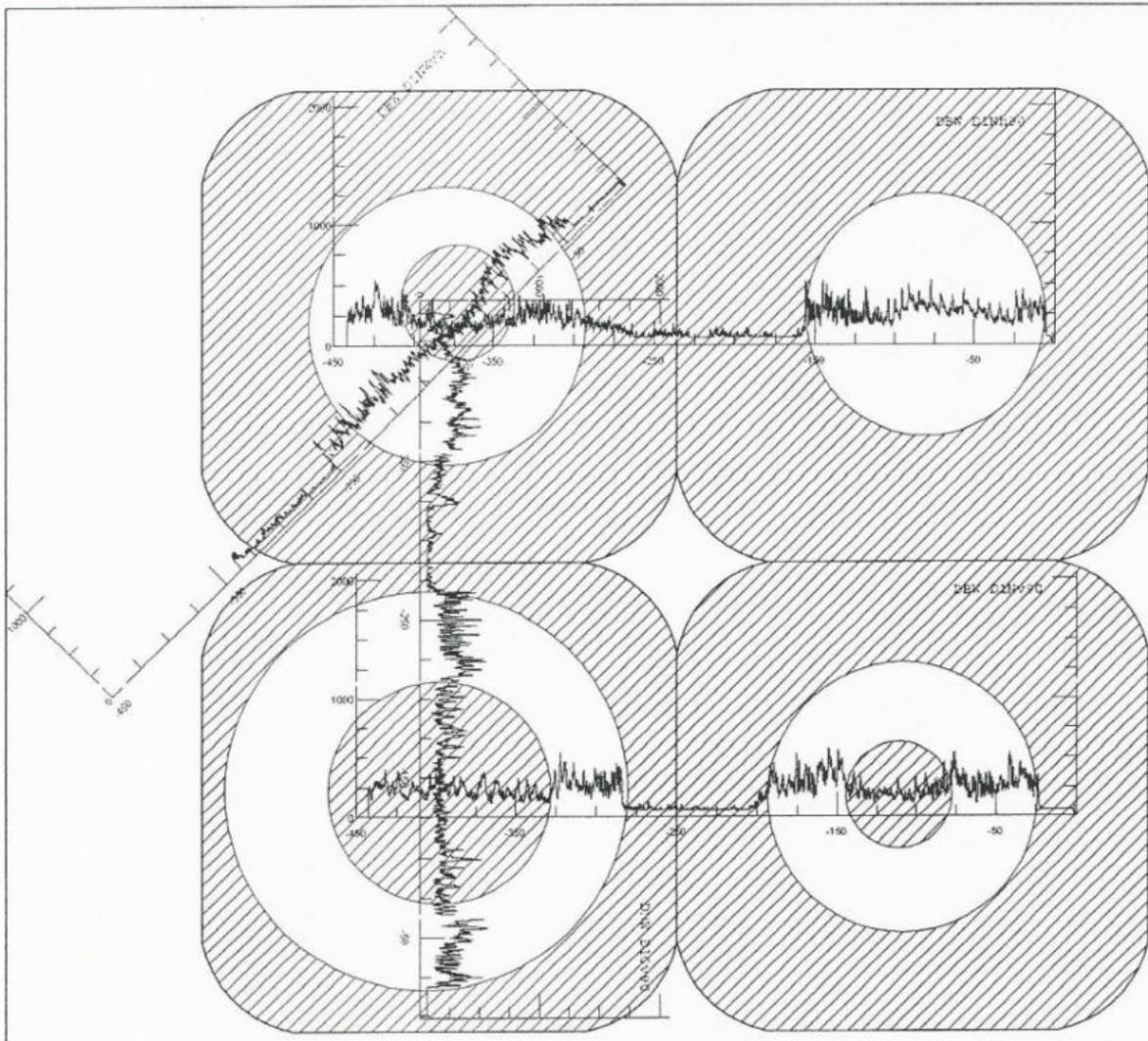
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

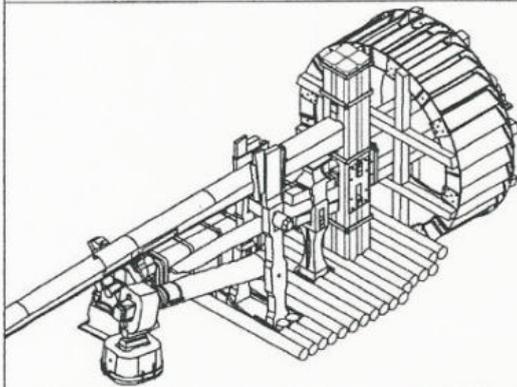
Titel:
**Prellholz
 Schnitte, Übersicht**

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

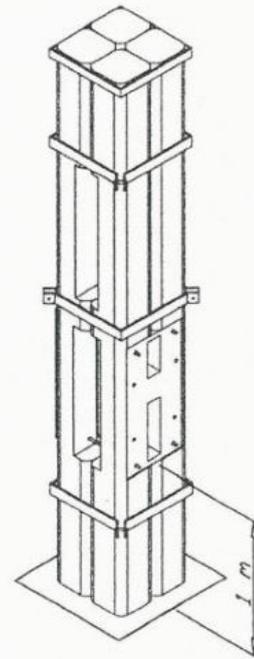
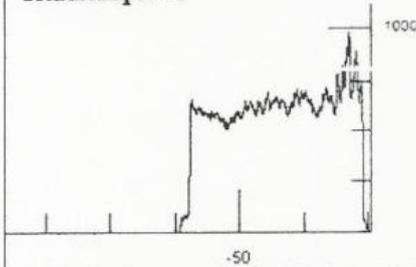
Datei:
 Schnittkombi
 Feder
 Blatt:
 9/9



Vorderseite



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
 Die Hammerschmiede des
 Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

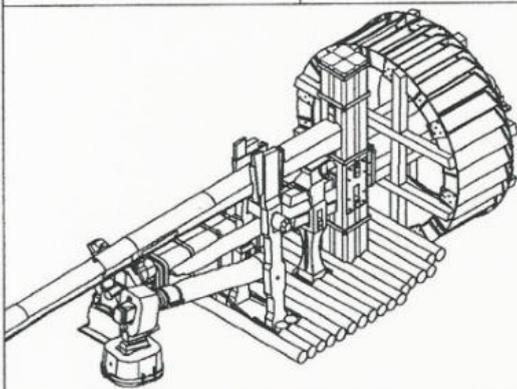
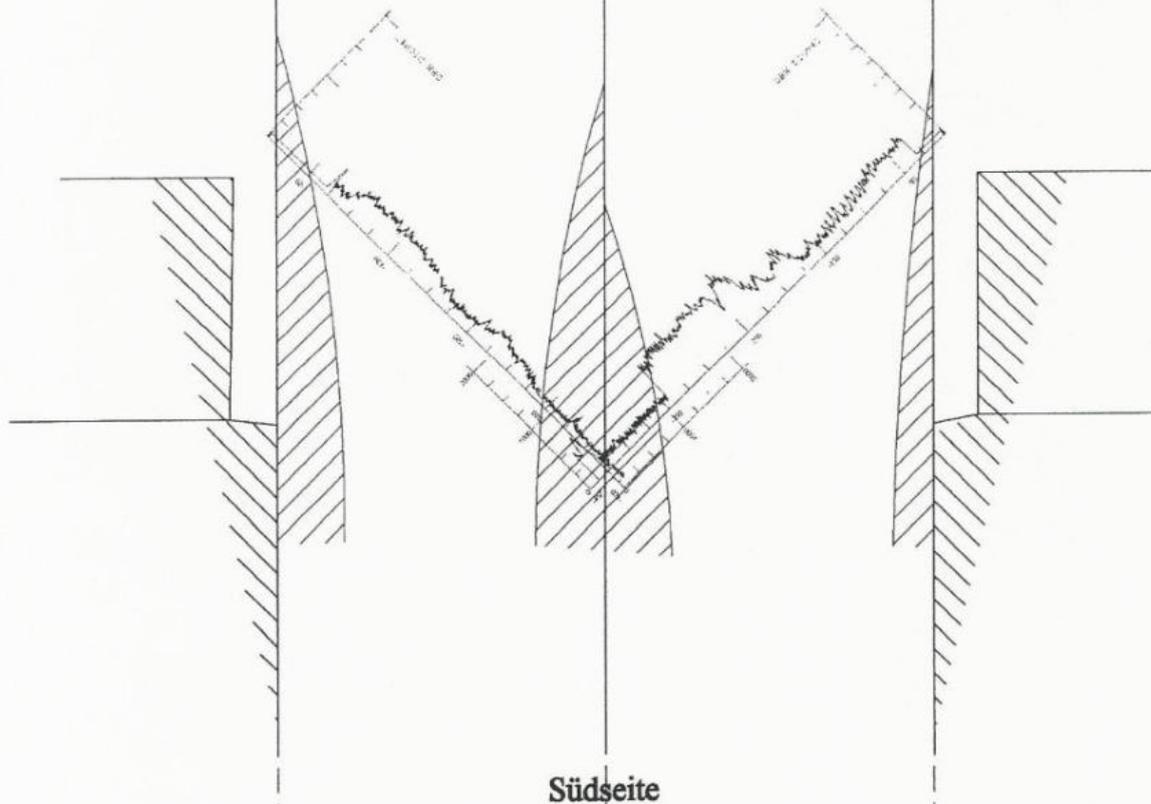
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

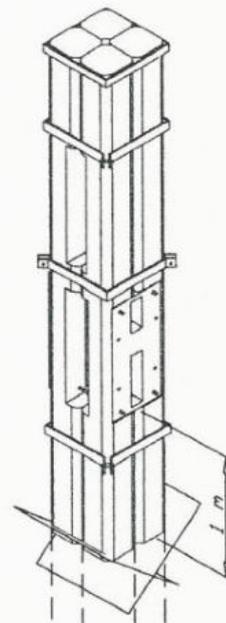
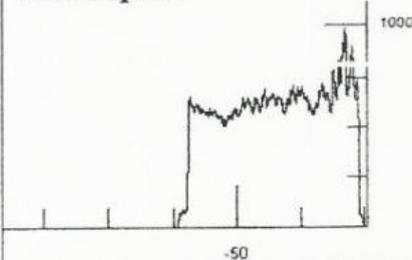
Titel:
Drumbalken West
Schnitt 1

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwider-
 standsmessung

Datei:
 DBW Schnitt 1
 Blatt:
 1/8



Referenzprobe



□ tragfähiges Holz
 ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
 Kiefer

Diplomthema:
 Die Hammerschmiede des
 Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
 C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
 2002/3

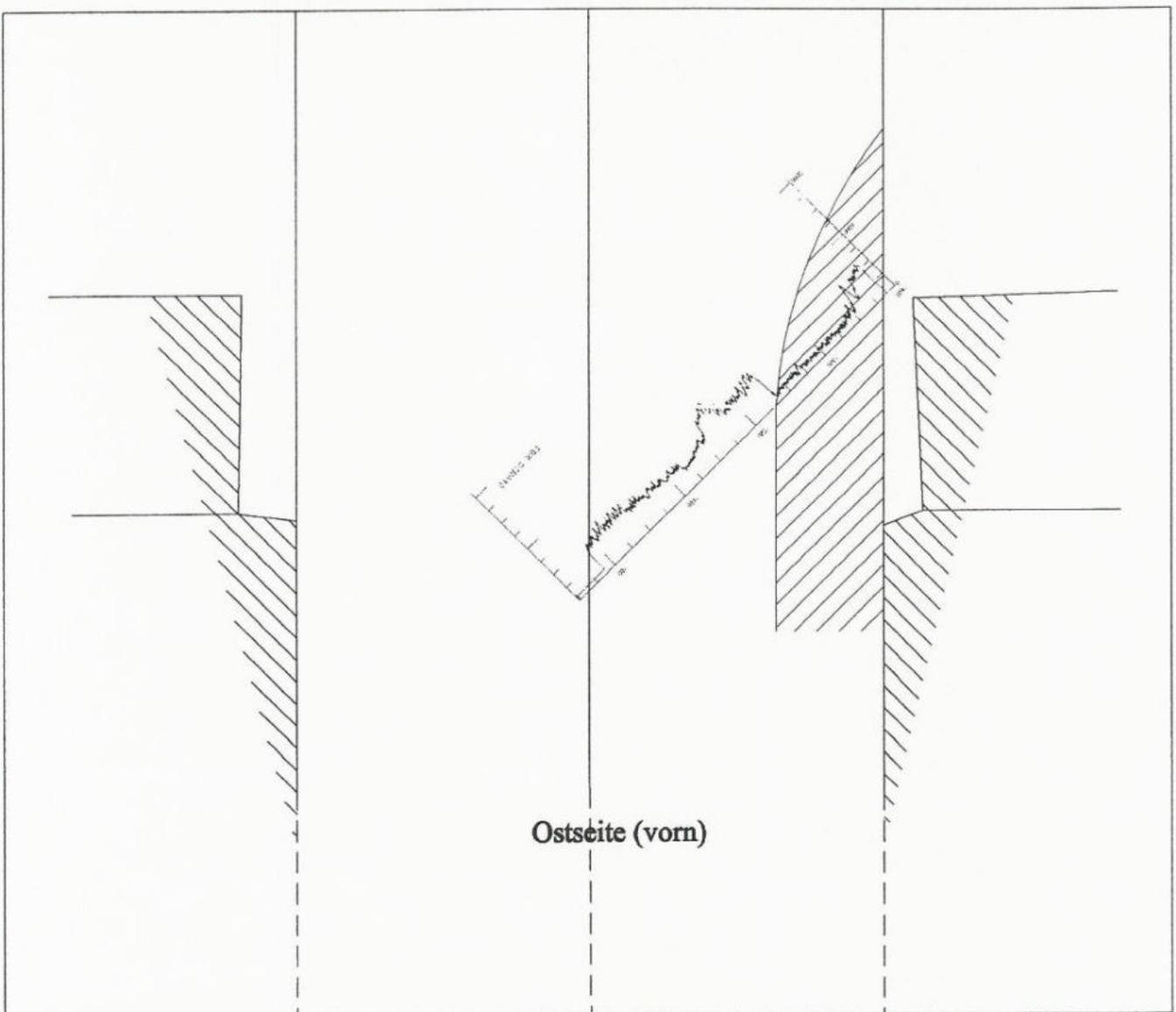
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

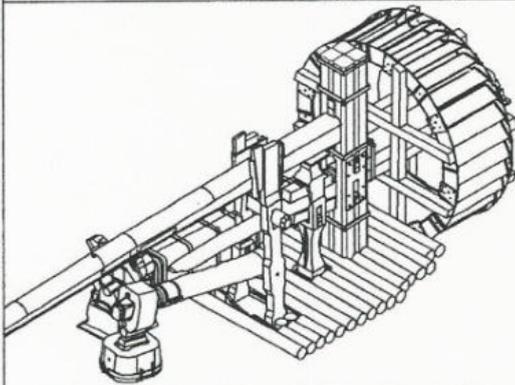
Titel:
 Drumbalken West
 Schnitt 2-1

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 standsmessung

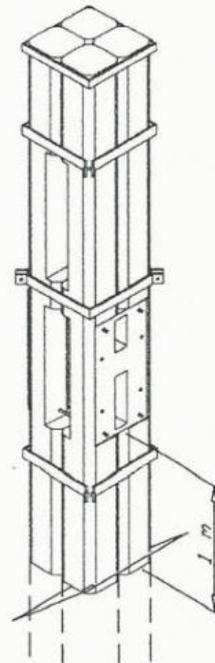
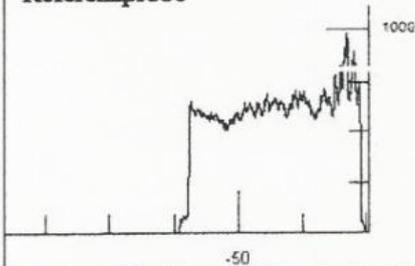
Datei:
 DBW
 Schnitt 2-1
 Blatt:
 2-1/8



Ostseite (vorn)



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

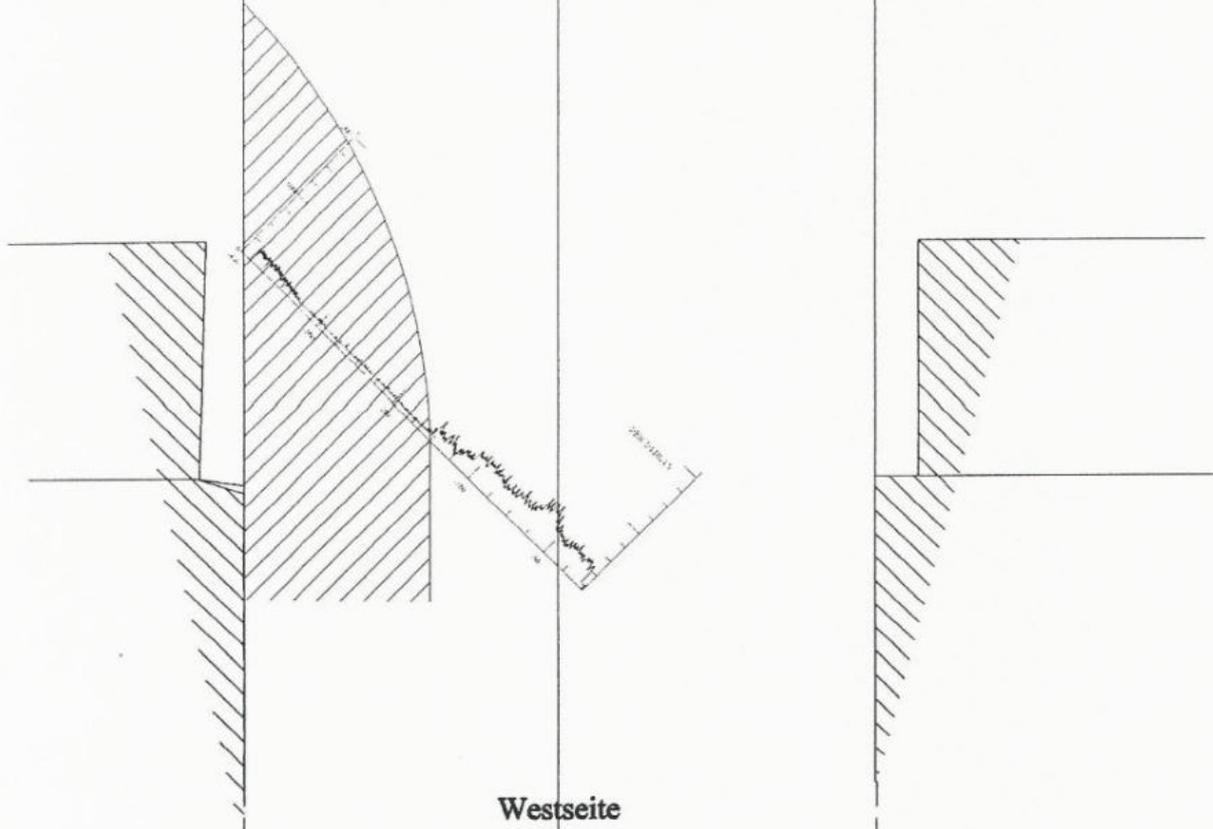
Abzissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

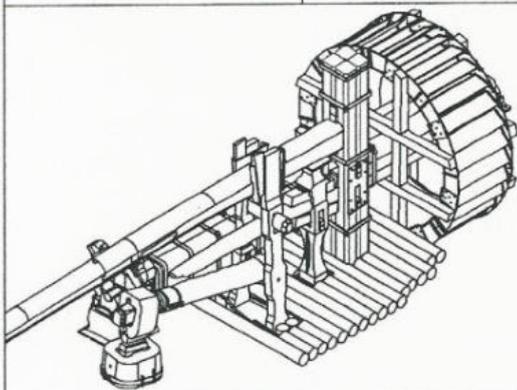
Titel:
Drumbalken West
Schnitt 2-2

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwider-
standsmessung

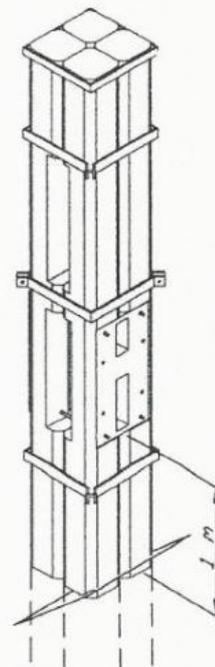
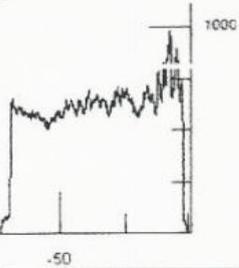
Datei:
DBW
Schnitt 2-2
Blatt:
2-2/8



Westseite



Referenzprobe



□ tragfähiges Holz
 ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
 Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

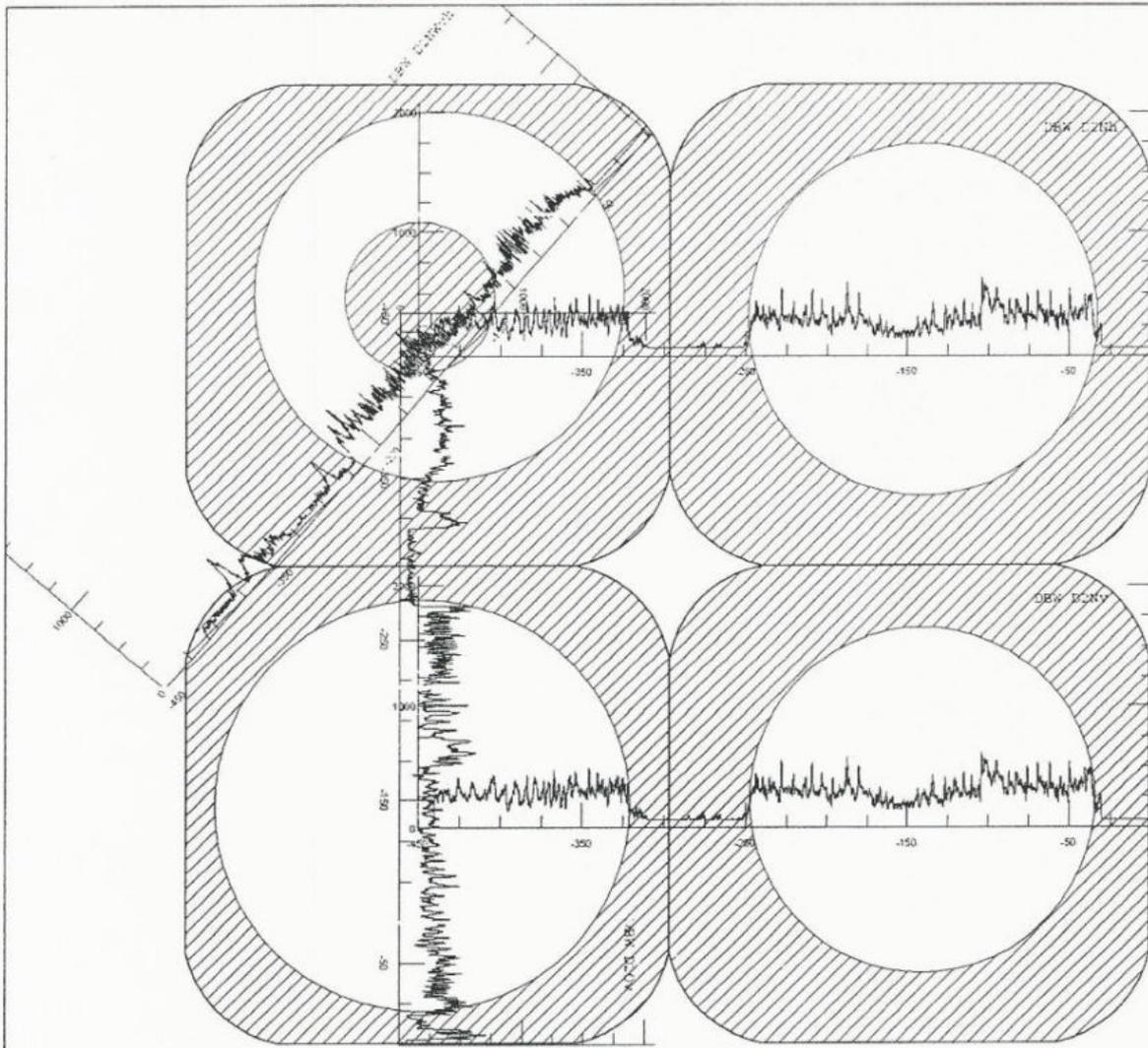
Abzissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

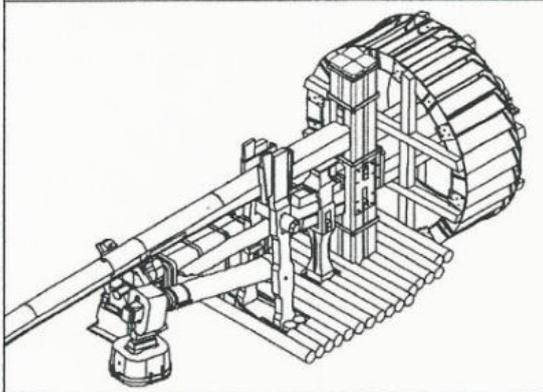
Titel:
**Drumbalken West
 Schnitt 2-3**

Bemerkung:
 Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung

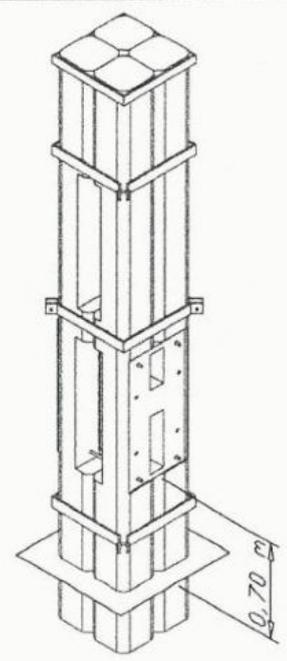
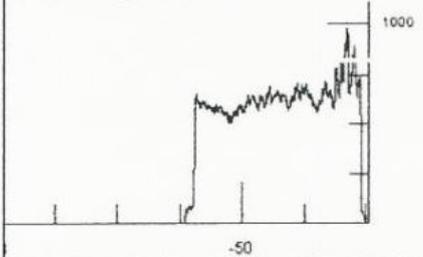
Datei:
 DBW
 Schnitt 2-3
 Blatt:
 2-3/8



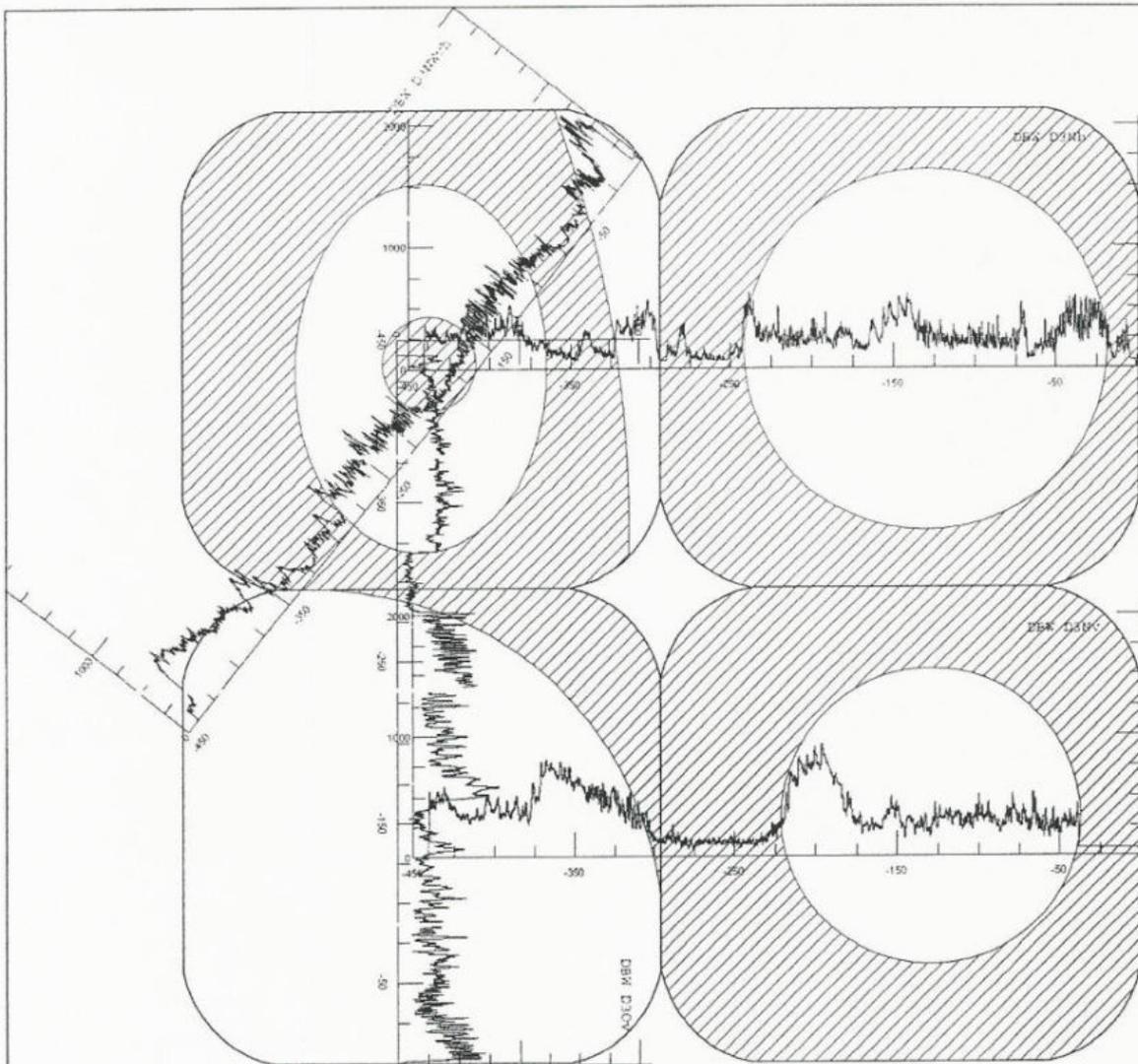
Vorderseite



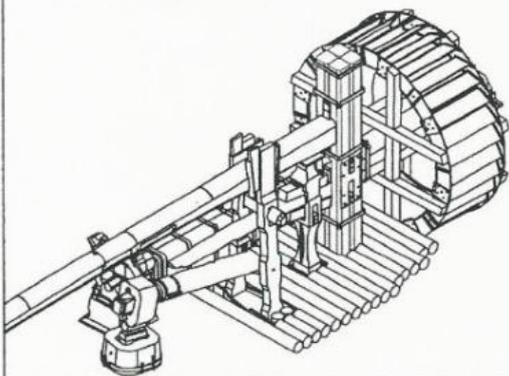
Referenzprobe



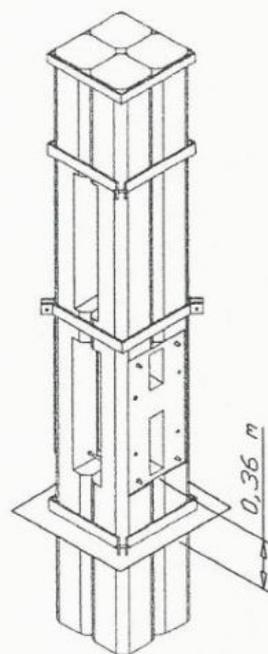
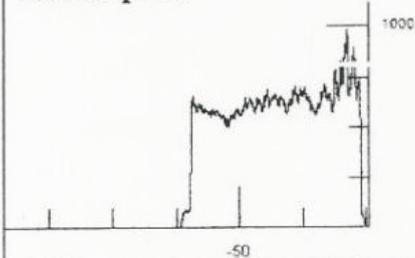
<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p> <p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>			<p>Titel: Drumbalken West Schnitt 3</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung</p> <p>Datei: DBW Schnitt 3</p> <p>Blatt: 3/8</p>



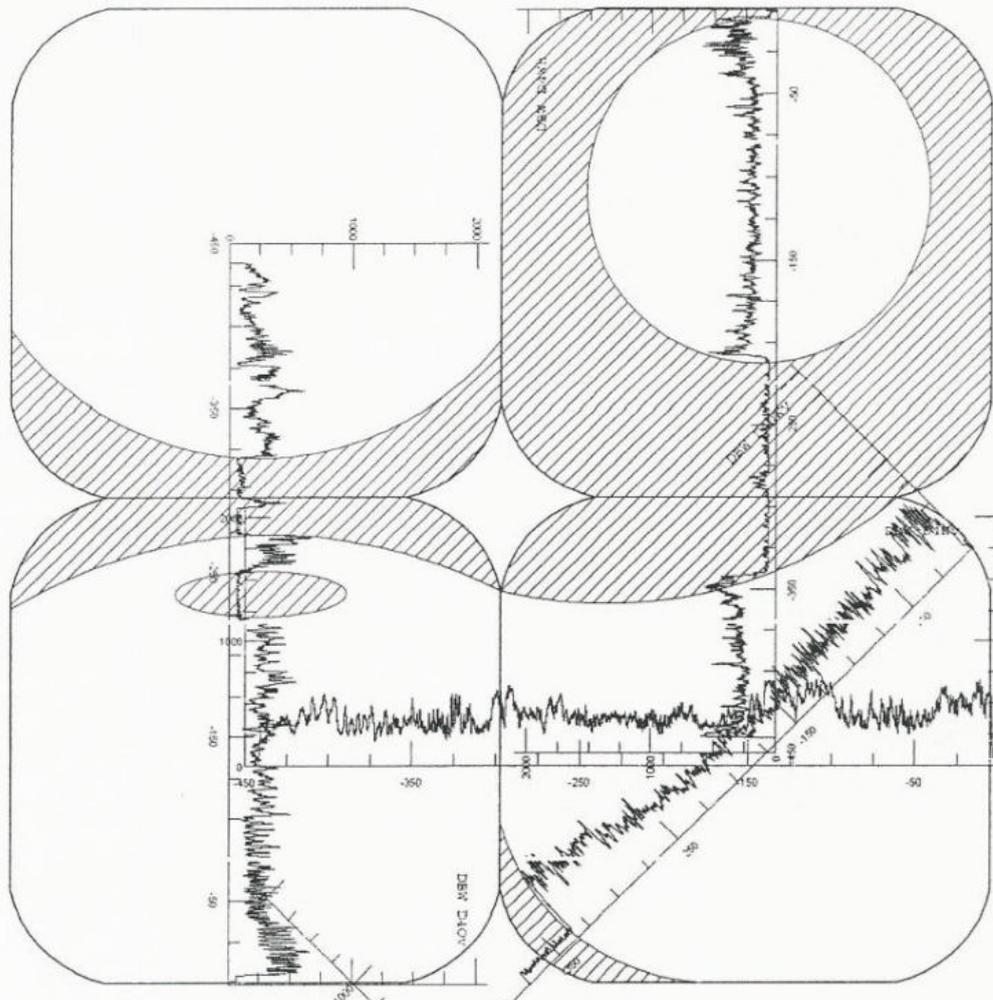
Vorderseite



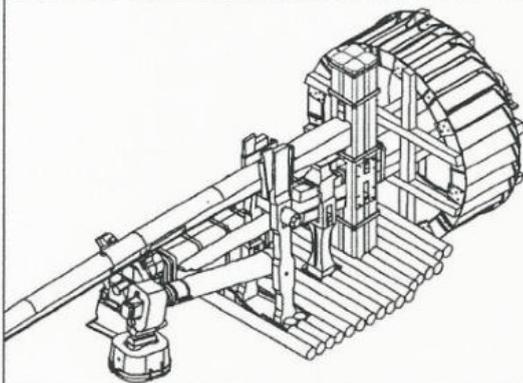
Referenzprobe



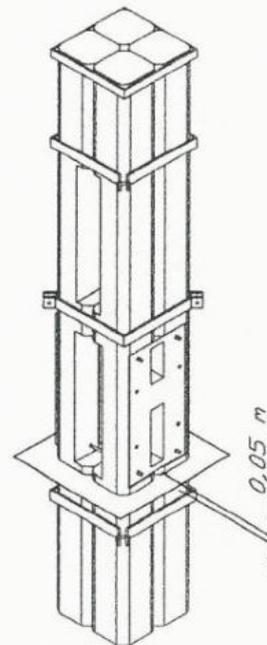
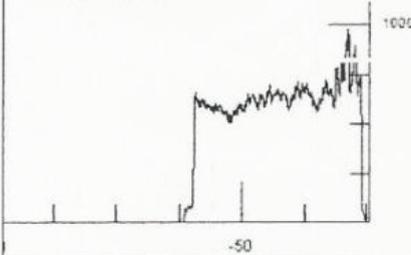
<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>			<p>Titel: Drumbalken West Schnitt 4</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung Datei: DBW Schnitt 4 Blatt: 4/8</p>



Vorderseite

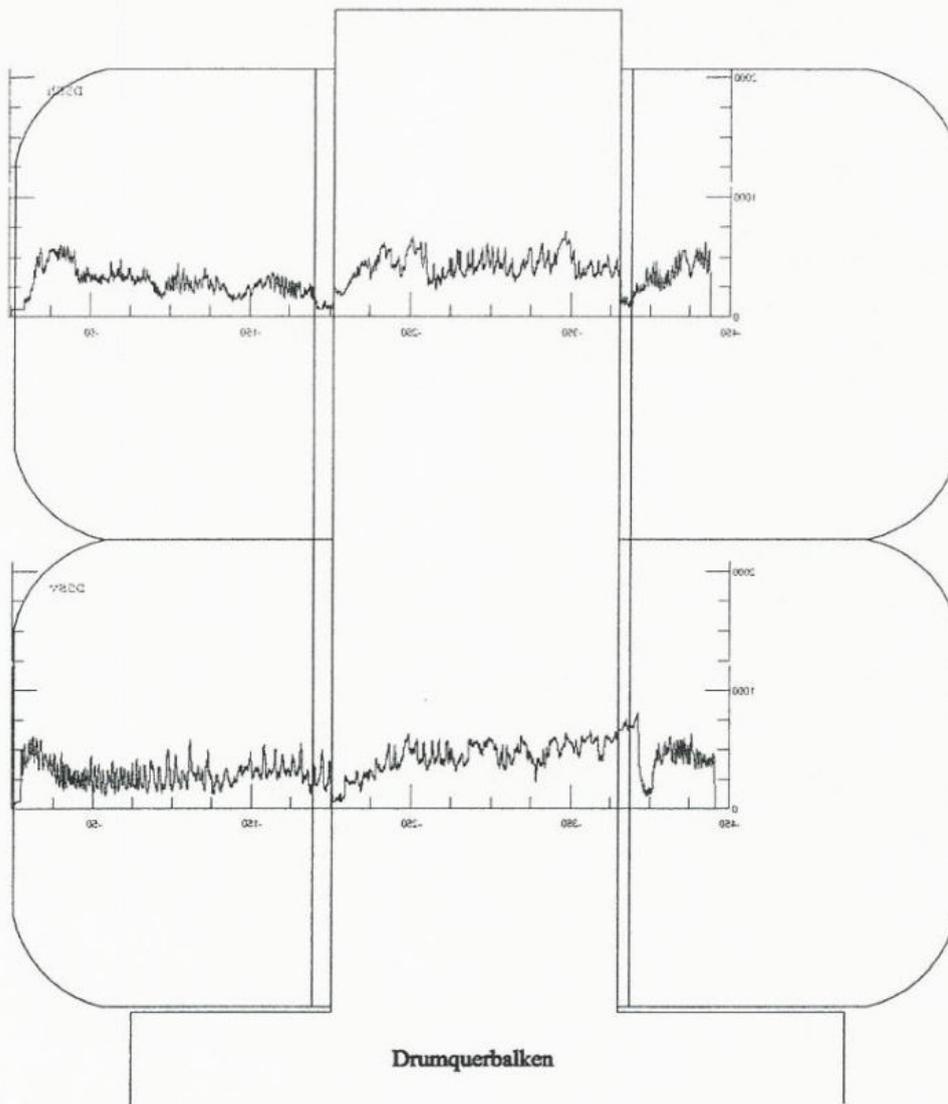


Referenzprobe

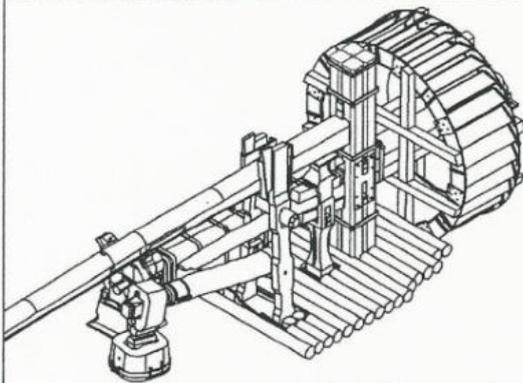


0,05 m

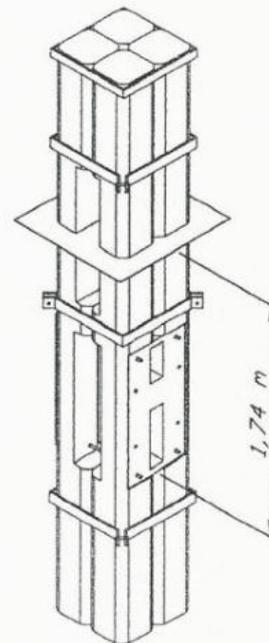
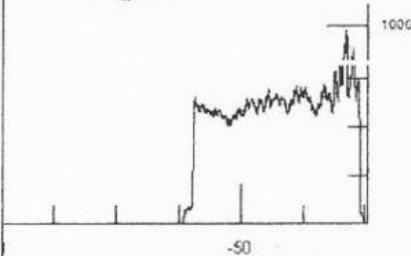
<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>		<p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>Titel: Drumbalken West Schnitt 5</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung</p> <p>Datei: DBW Schnitt 5</p> <p>Blatt: 5/8</p>



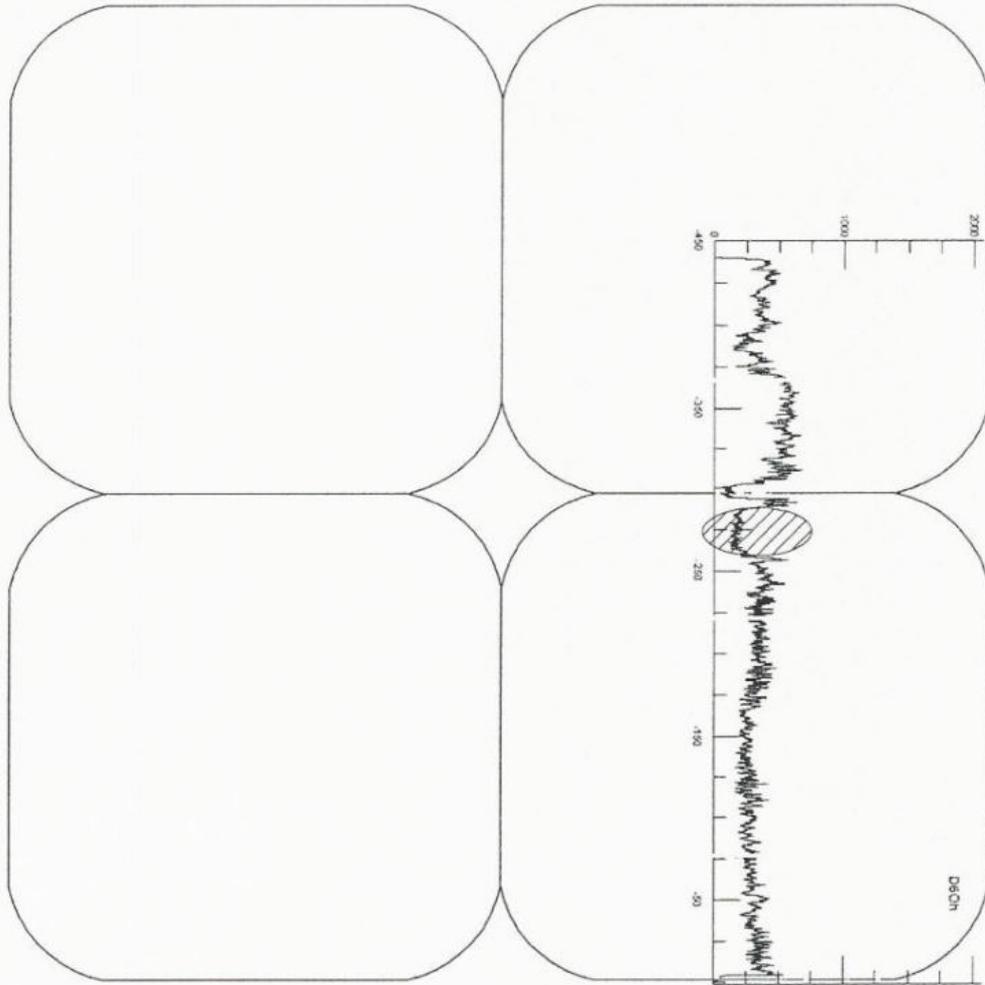
Drumquerbalken



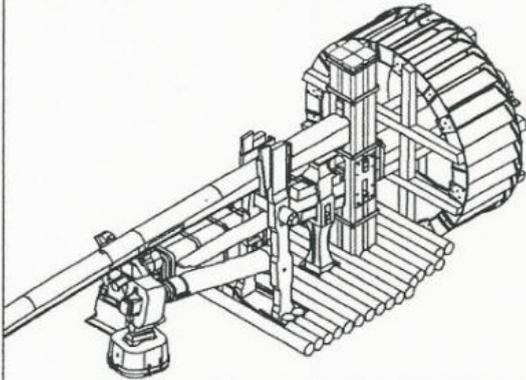
Referenzprobe



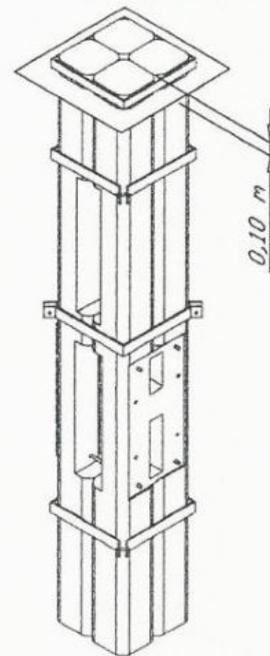
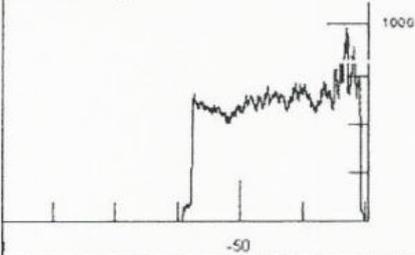
<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Kiefer	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Titel: Drumbalken West Schnitt 6	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung	Datei: DBW Schnitt 6 Blatt: 6/8
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand		FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik			



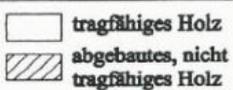
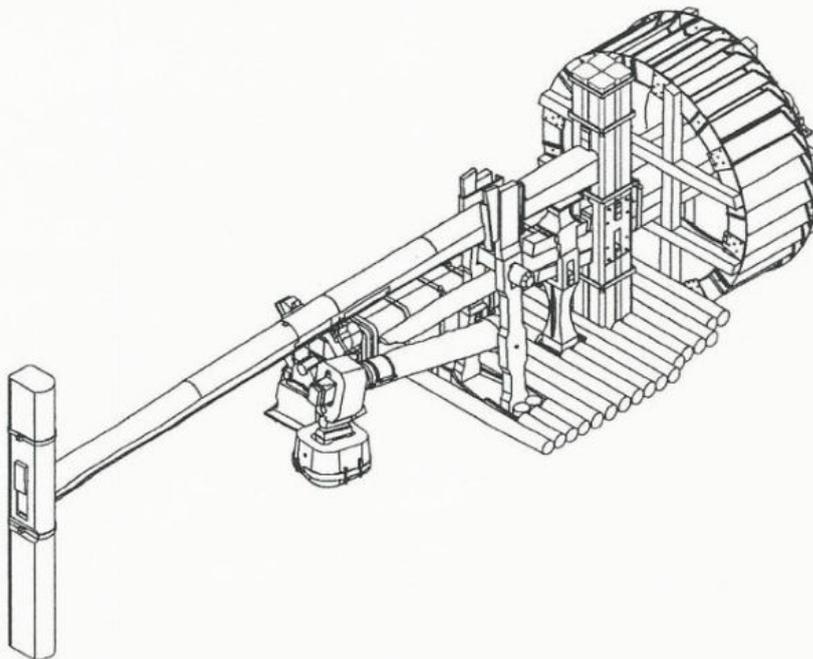
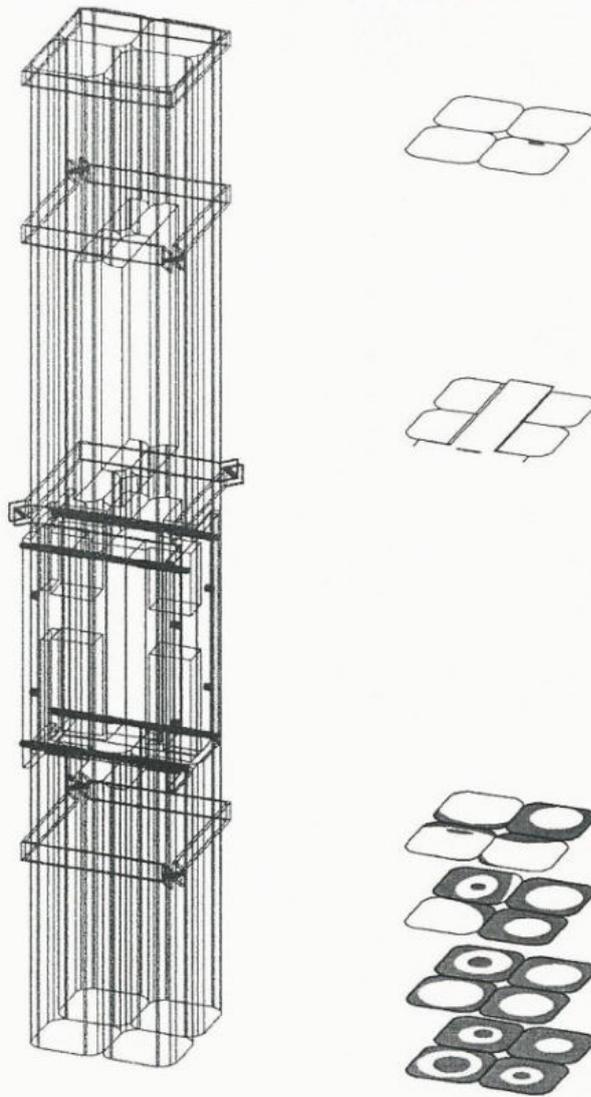
Vorderseite



Referenzprobe



<p>□ tragfähiges Holz ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz</p>	<p>Holzart: Kiefer</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p>Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand</p>		<p>FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>Titel: Drumbalken West Schnitt 7</p>		<p>Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung</p> <p>Datei: DBW Schnitt 7</p> <p>Blatt: 7/8</p>



Holzart:
Kiefer

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

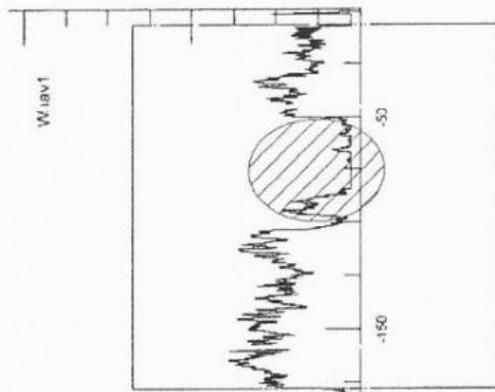
Abzissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

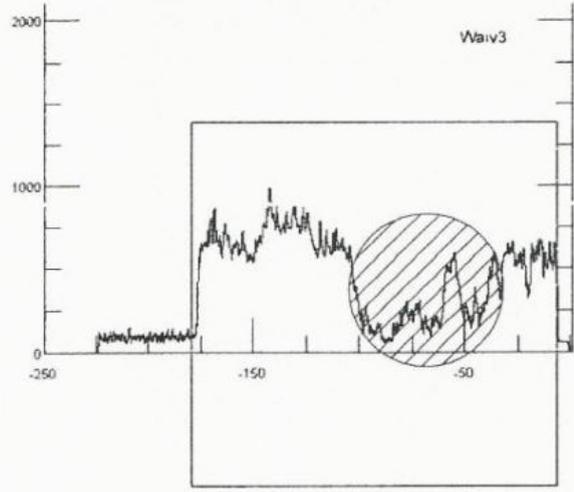
Titel:
Drumbalken West
Schnitte, Übersicht

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwider-
standsmessung

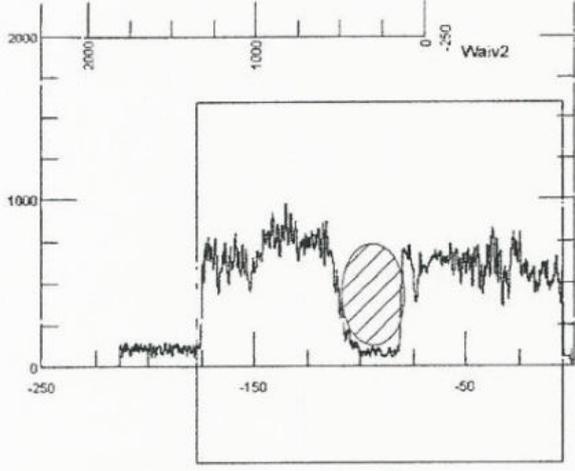
Datei:
DBW
Schnittkombi
Blatt:
8/8



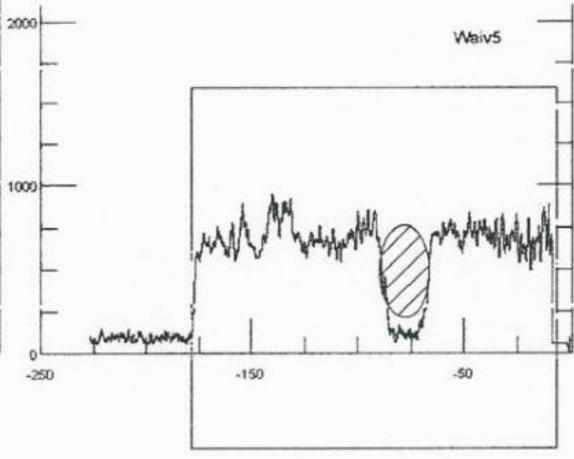
A



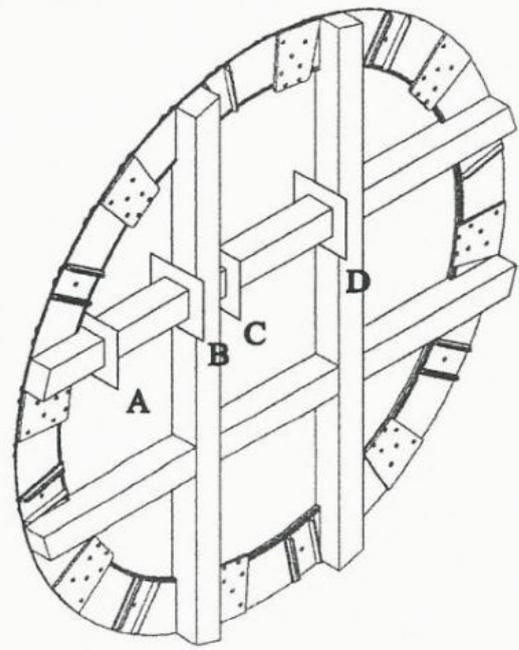
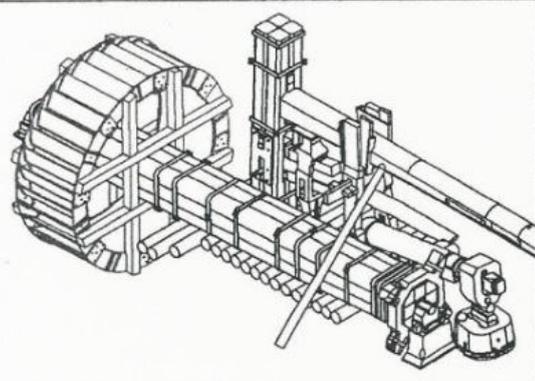
B



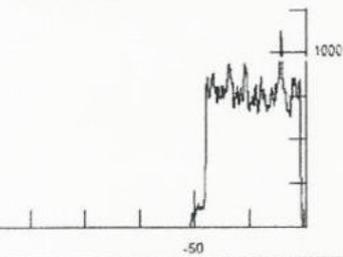
C



D



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Eiche

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

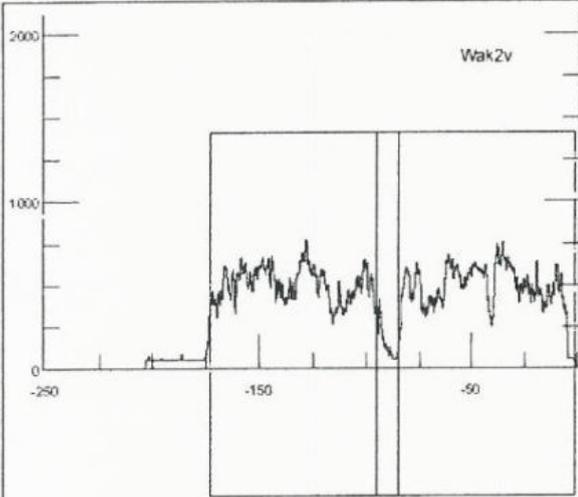
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

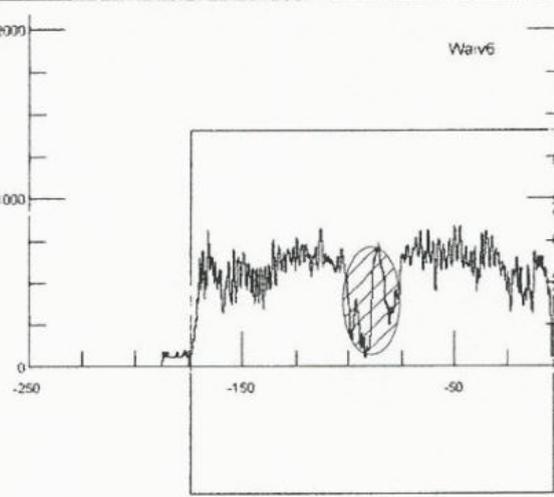
Titel:
Wasserradstrebe 1a Ostseite, Schnitte A-D

Bemerkung:
 Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung

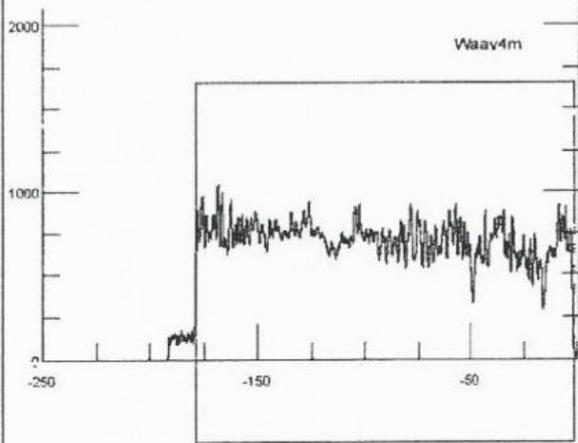
Datei:
 Wasserrad-Ost Strebe 1a
 Blatt:
1/10



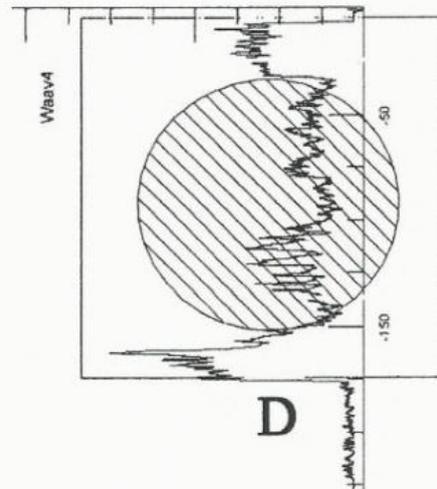
A



B

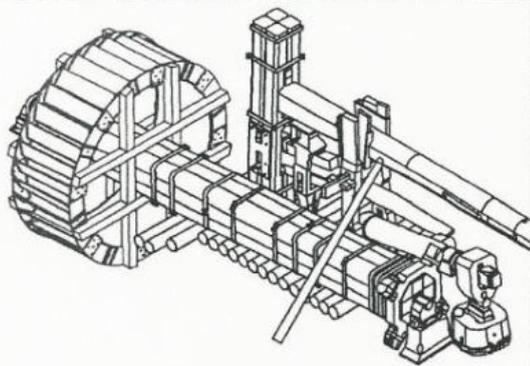


C

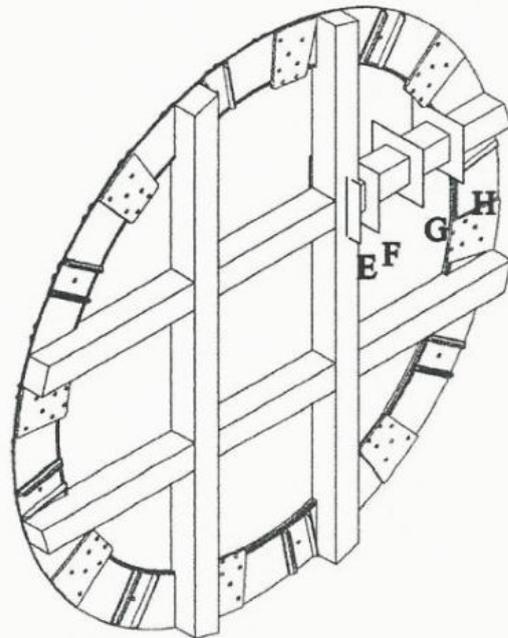
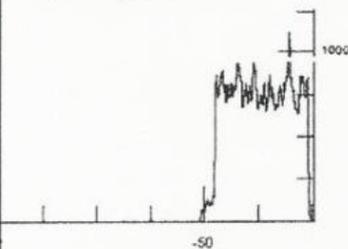


D

Ostseite



Referenzprobe



□ tragfähiges Holz
 ▨ abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
 Eiche

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
 2002/3

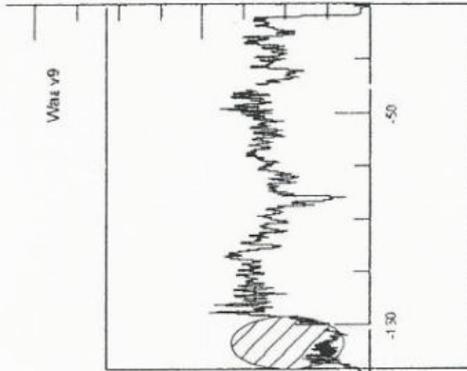
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

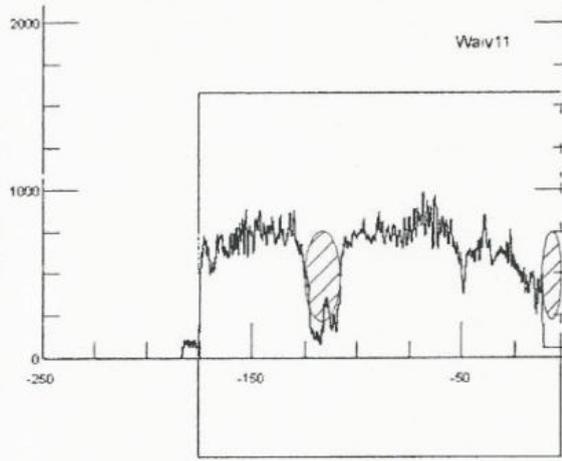
Titel:
Wasserradstrebe 1b
Ostseite, Schnitte E-H

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

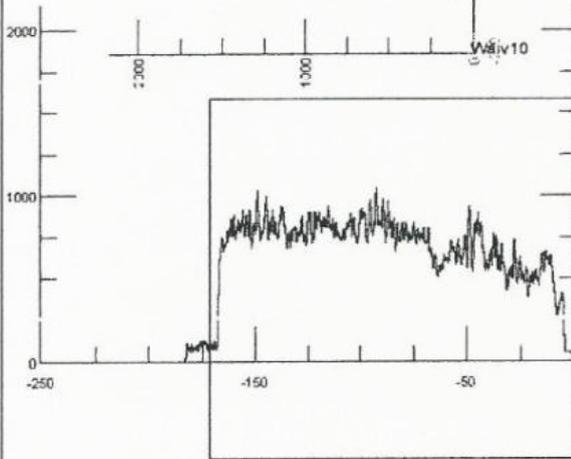
Datel:
 Wasserrad-Ost-
 Strebe 1b
 Blatt:
 1/10



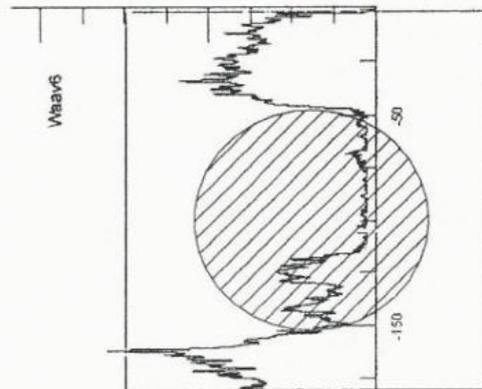
A



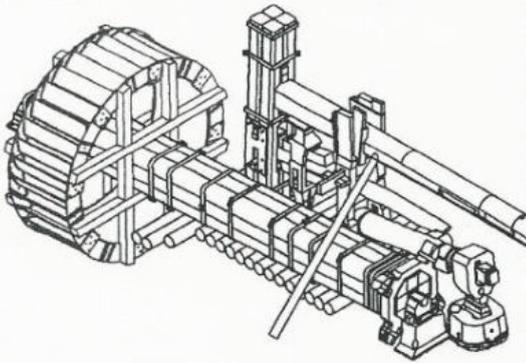
B



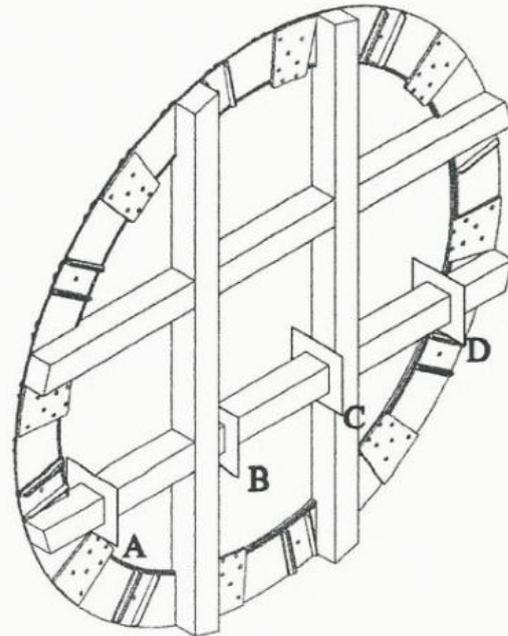
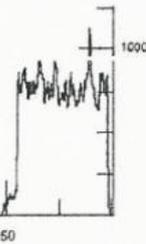
C



D



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Eiche

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

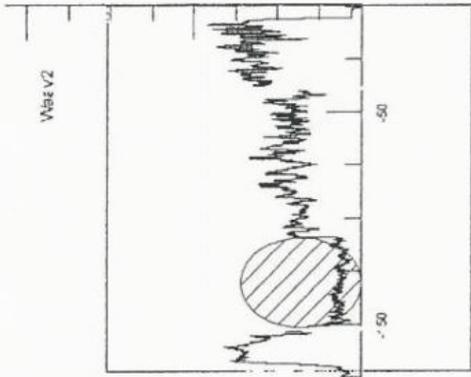
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

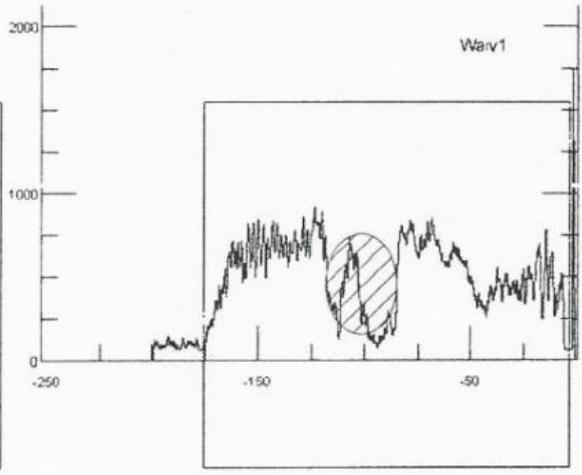
Titel:
Wasserradstrebe 2
Ostseite, Schnitte A-D

Bemerkung:
Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung

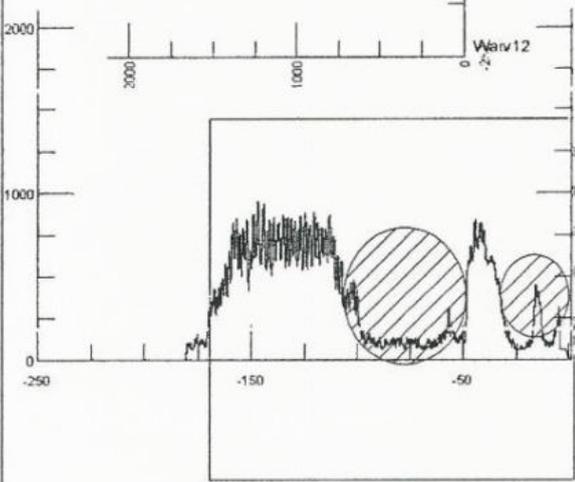
Datei:
 Wasserrad-Ost
 Strebe 2
 Blatt:
 2/10



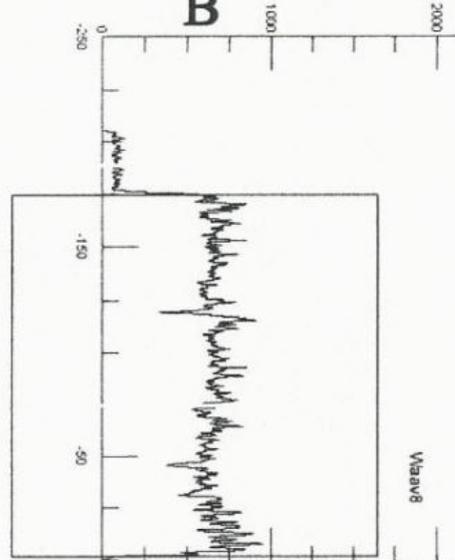
A



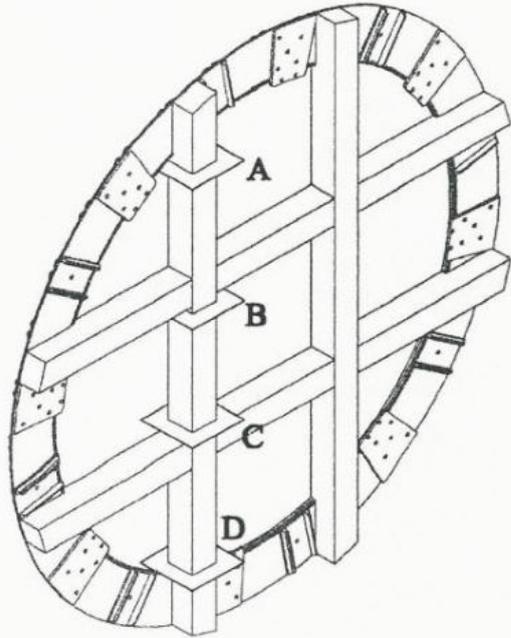
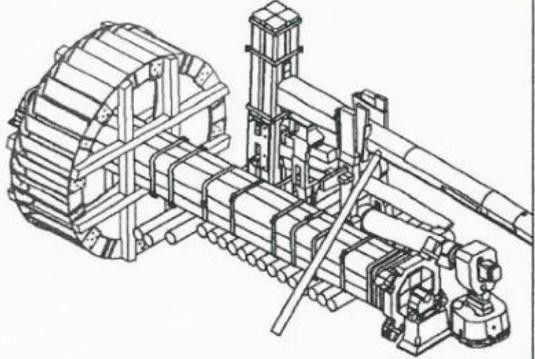
B



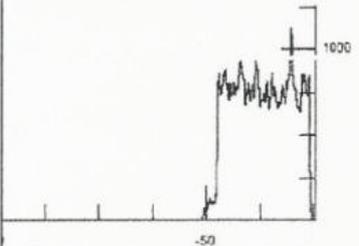
C



D



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Eiche

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

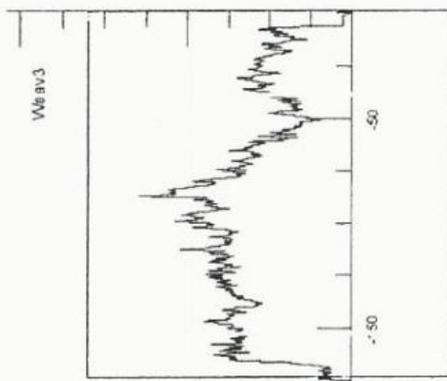
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

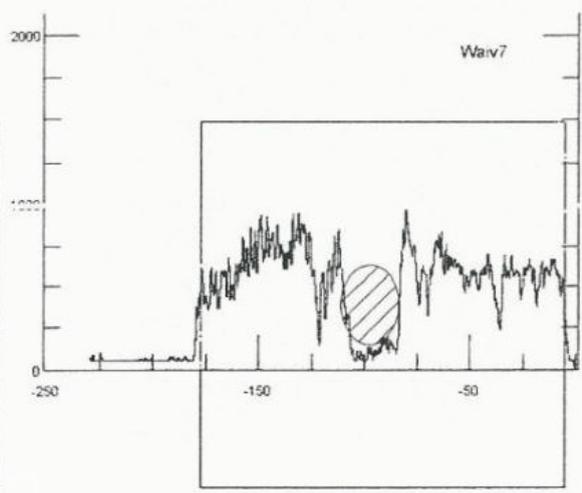
Titel:
Wasserradstrebe 3 Ostseite, Schnitte A-D

Bemerkung:
 Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung

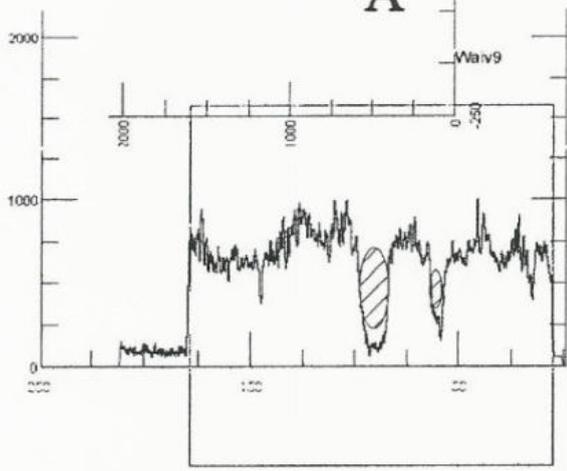
Datei:
 Wasserrad-Ost Strebe 3
 Blatt:
 3/10



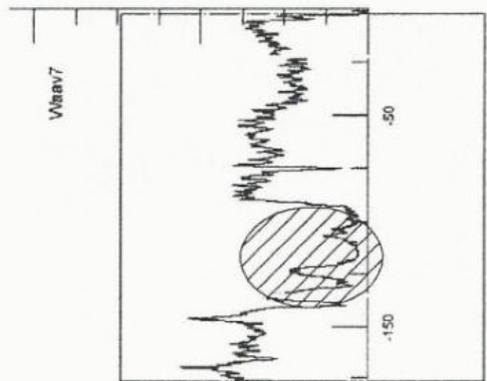
A



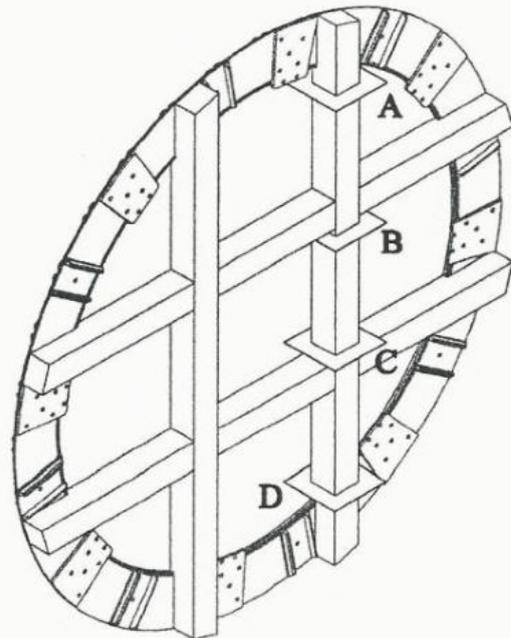
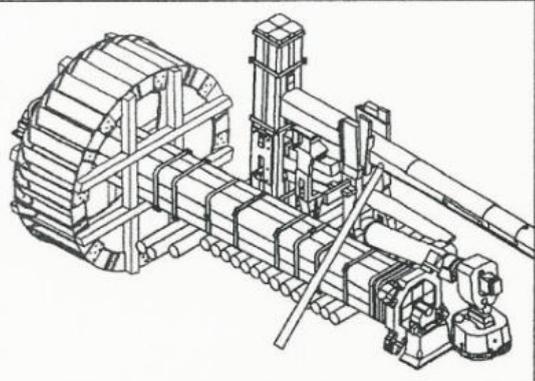
B



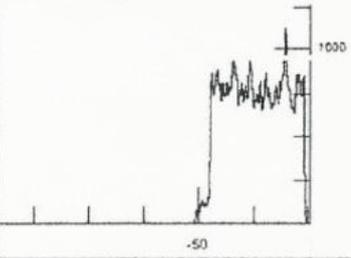
C



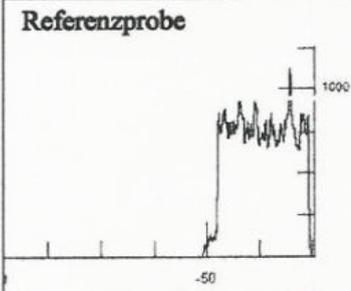
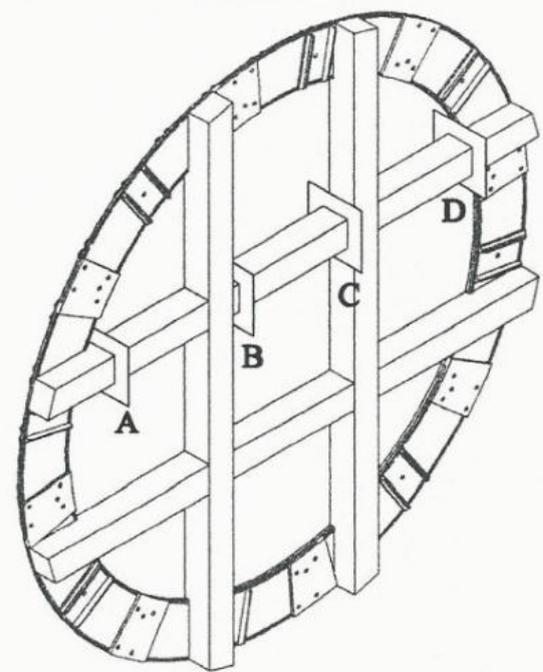
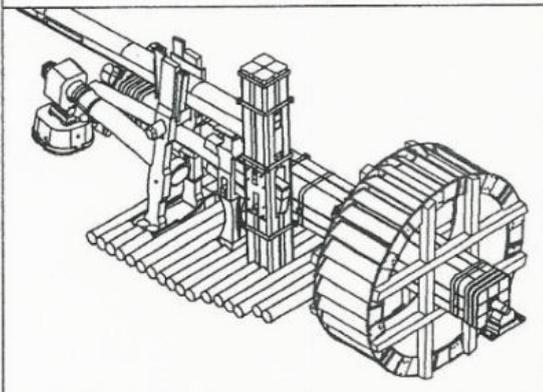
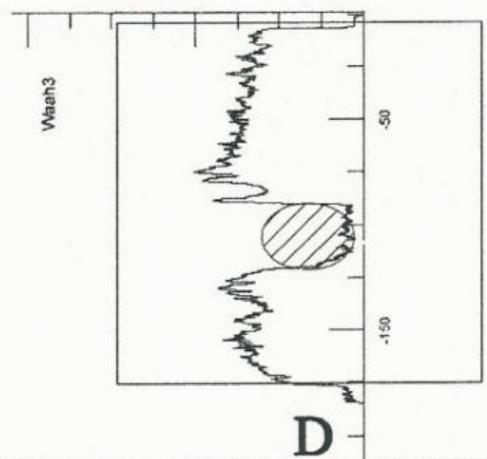
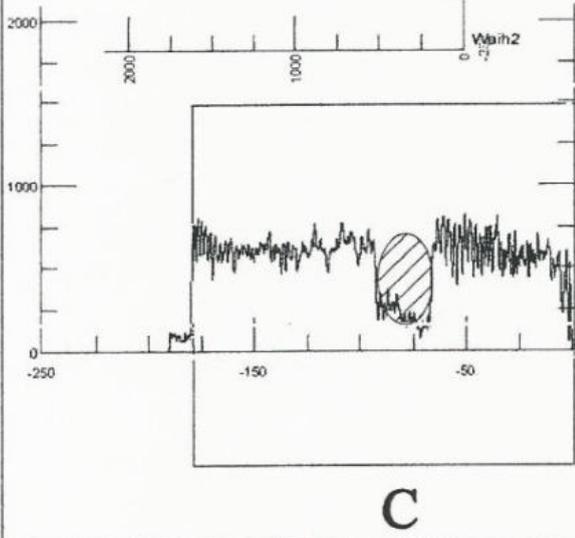
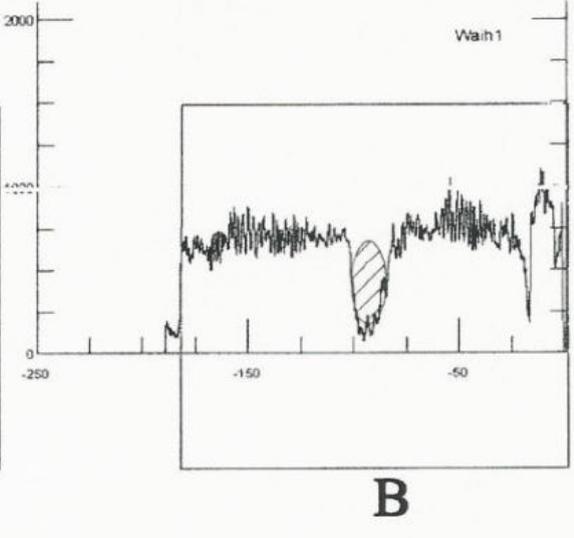
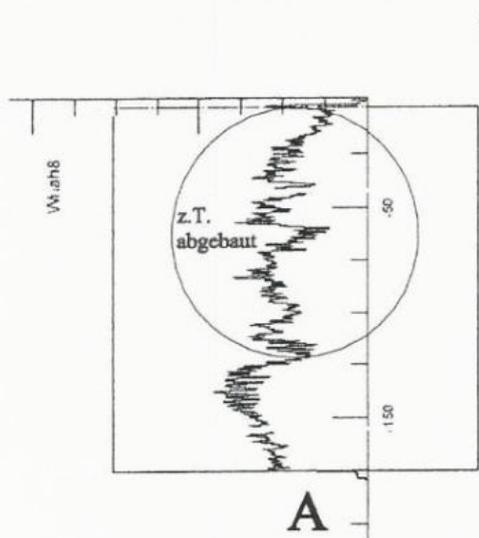
D



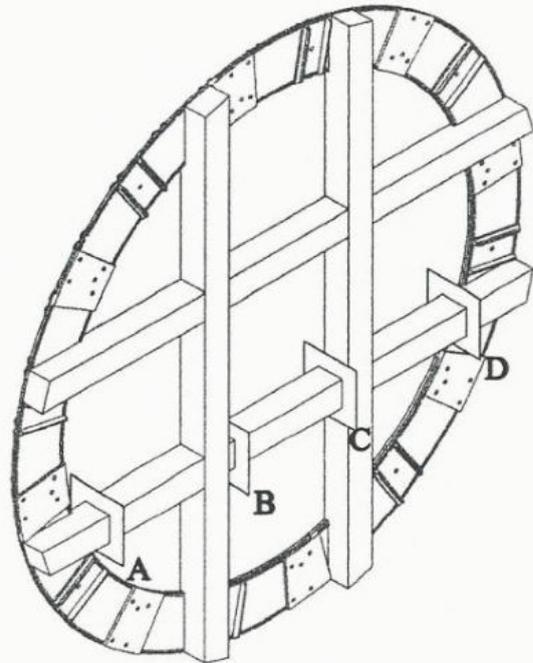
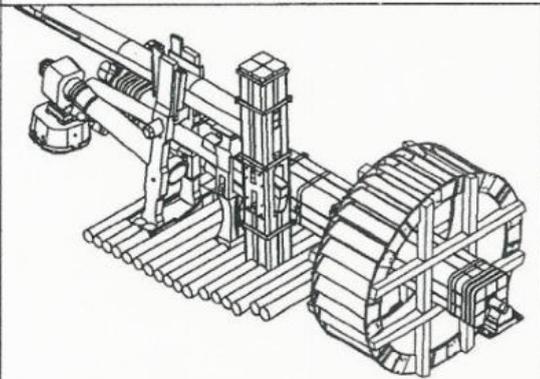
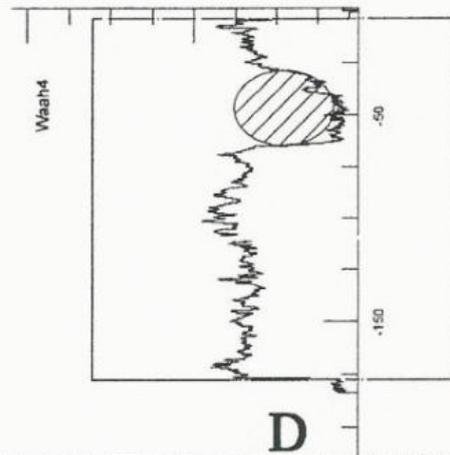
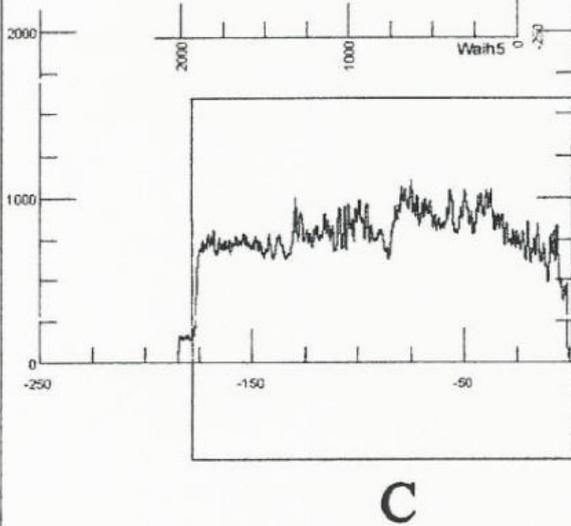
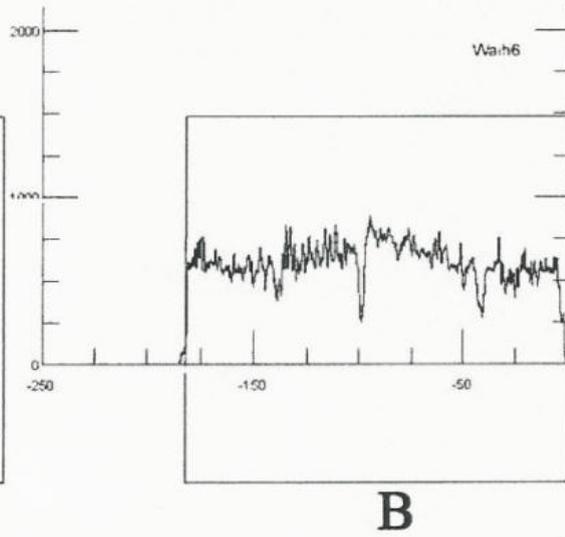
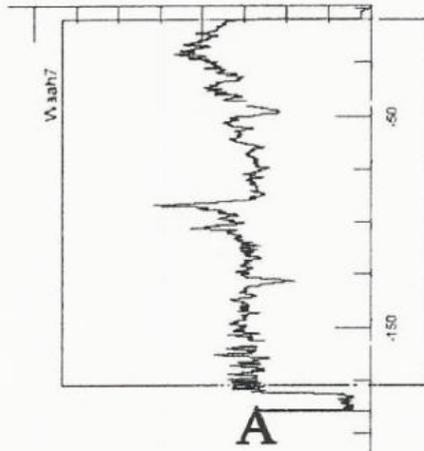
Referenzprobe



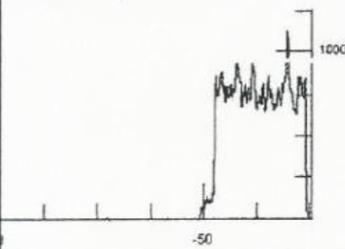
<input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz	Holzart: Eiche	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Titel: Wasserradstrebe 4 Ostseite, Schnitt A-D	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung	Detail: Wasserrad-Ost Strebe 4 Blatt: 4/10
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand					



	Holzart: Eiche	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
			Abzissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung	Titel: Wasserradstrebe 1 Westseite, Schnitte A-D



Referenzprobe



tragfähiges Holz
 abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Eiche

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

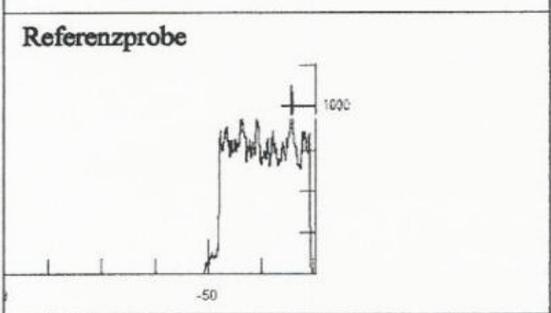
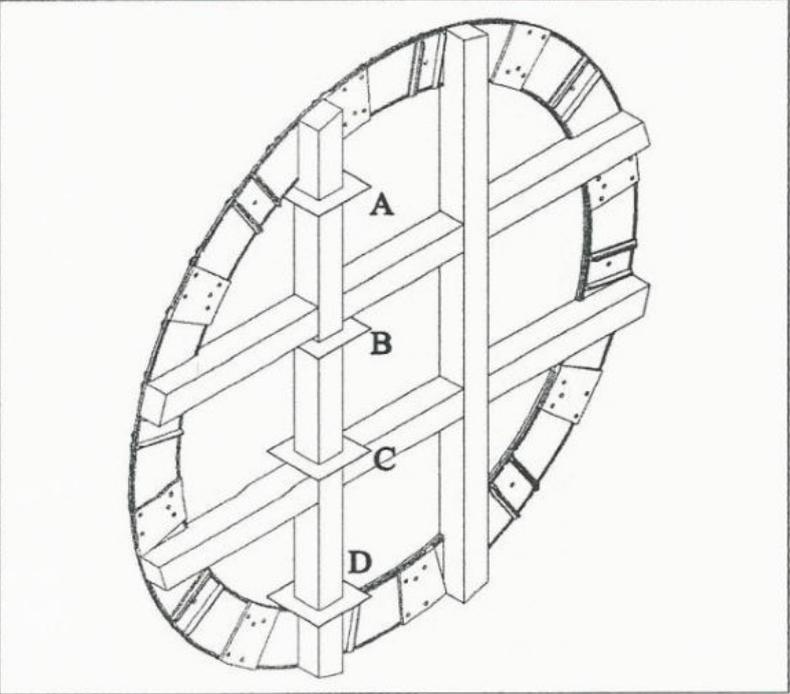
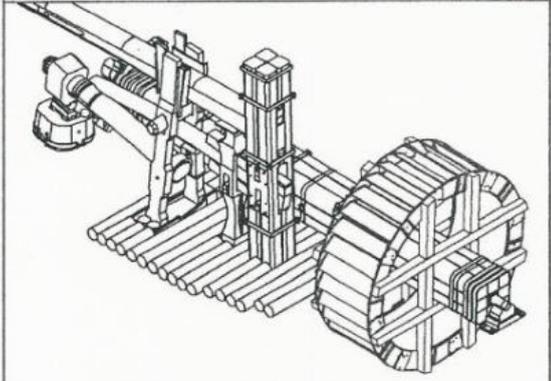
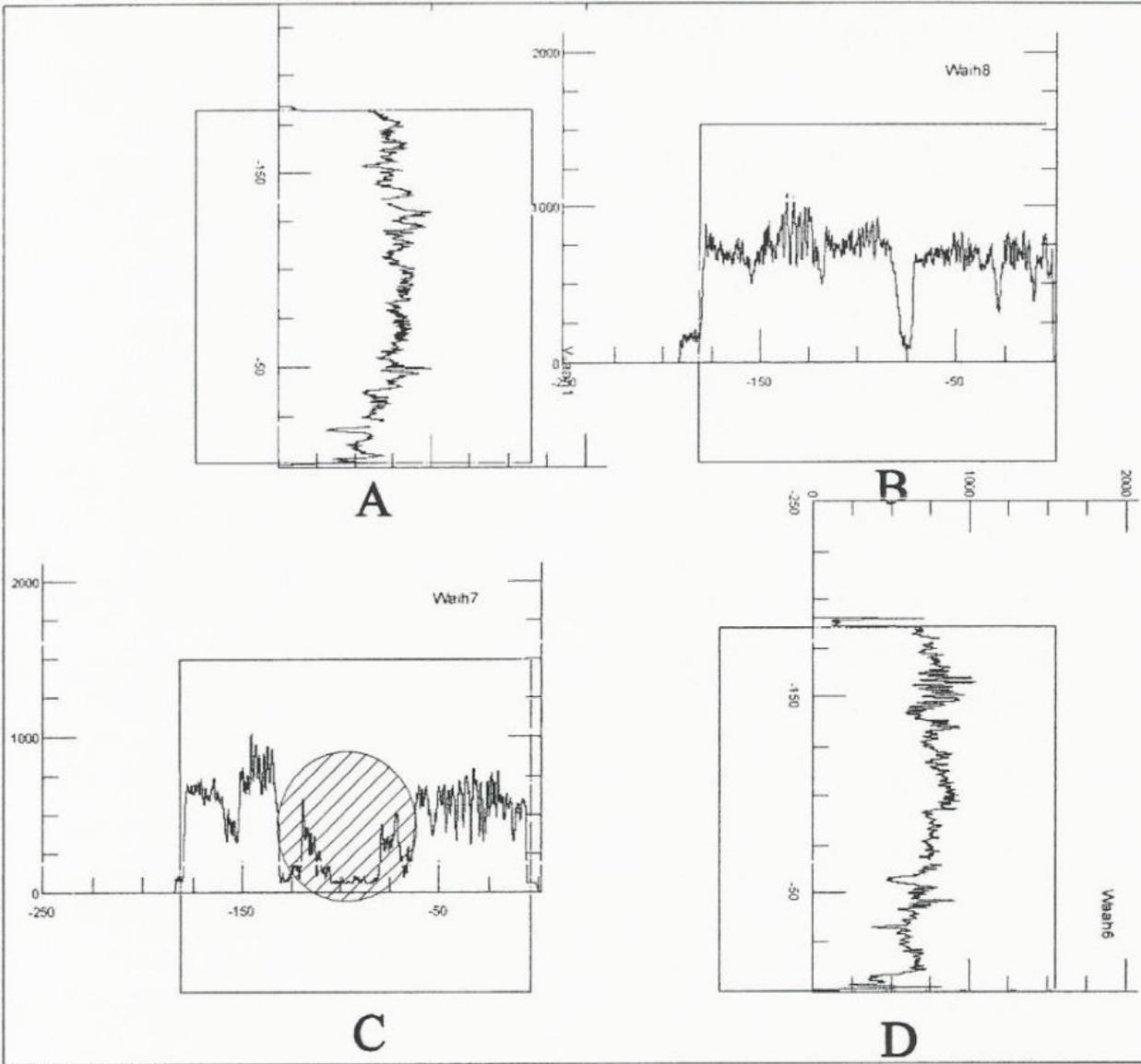
Abszissenachse: Bohrweg in mm
 Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

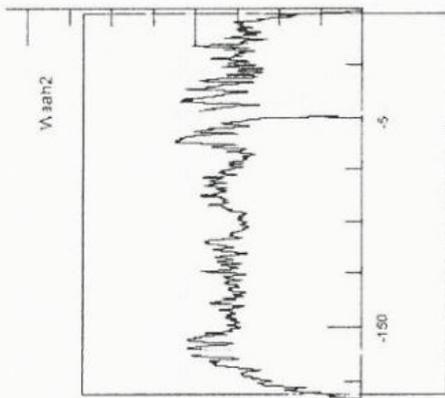
Titel:
Wasserradstrebe 2
 Westseite, Schnitte A-D

Bemerkung:
 Diagnose durch
 Bohrwiderstands-
 messung

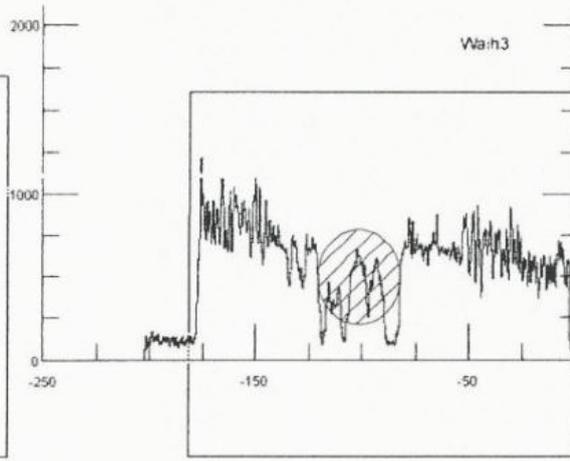
Datei:
 Wasserrad-West
 Strebe 2
 Blatt:
 6/10



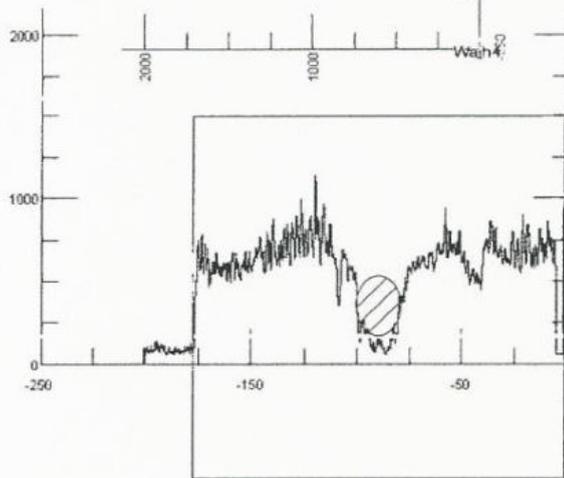
	Holzart: Eiche	Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: 2002/3
Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand			Titel: Wasserradstrebe 3 Westseite, Schnitte A-D	Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung	Datei: Wasserrad-West Strebe 3 Blatt: 7/10



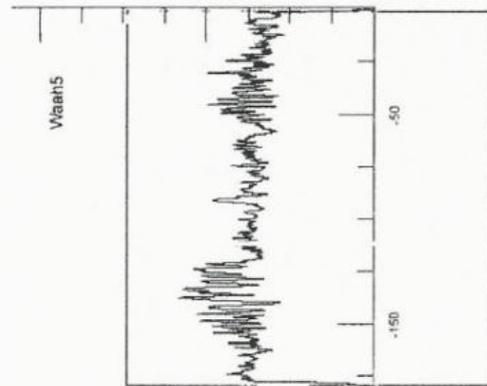
A



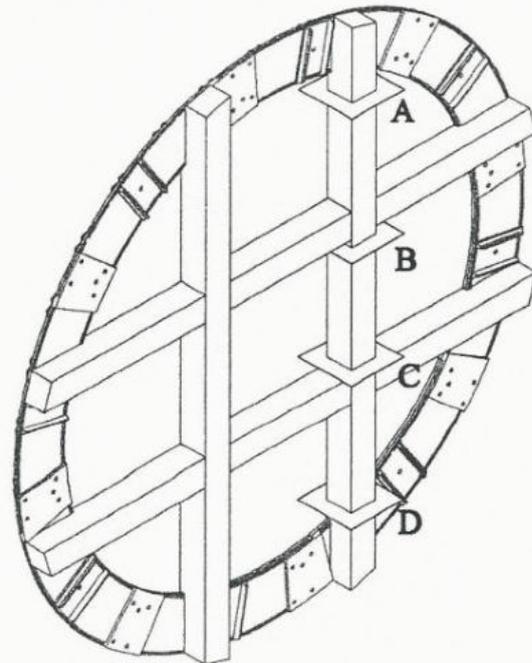
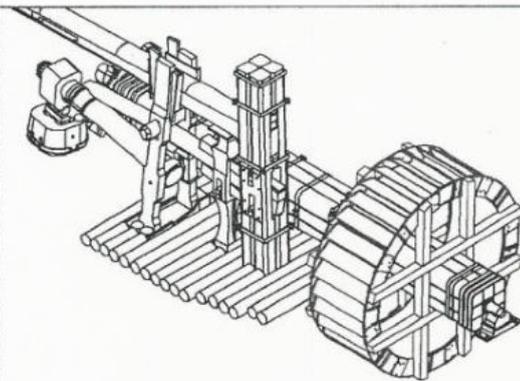
B



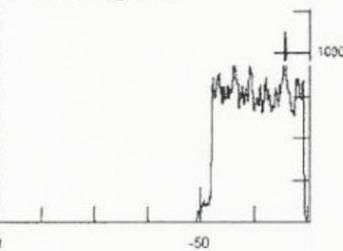
C



D



Referenzprobe



- tragfähiges Holz
- abgebautes, nicht tragfähiges Holz

Holzart:
Eiche

Diplomthema:
Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kämpas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

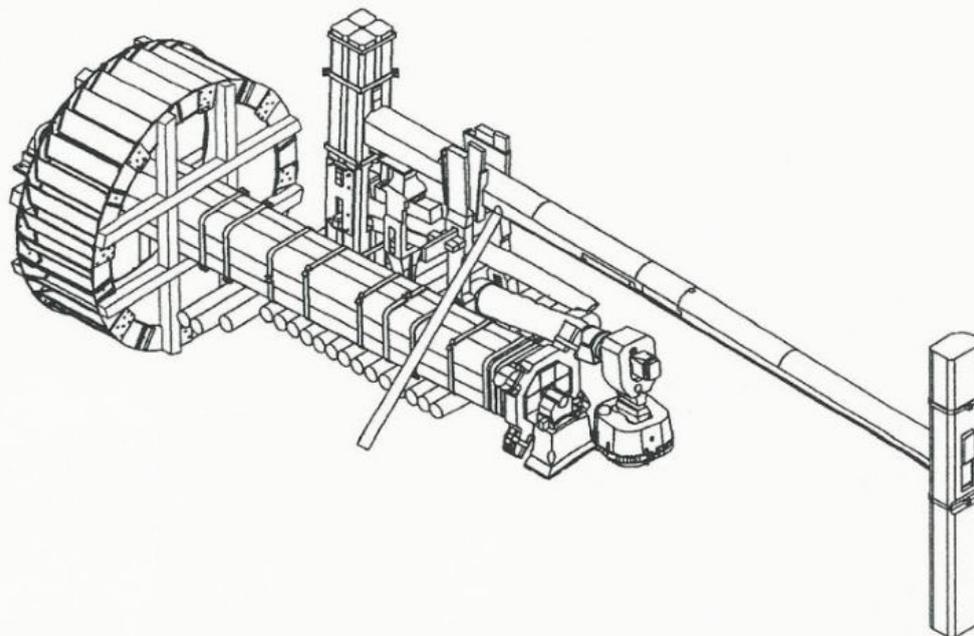
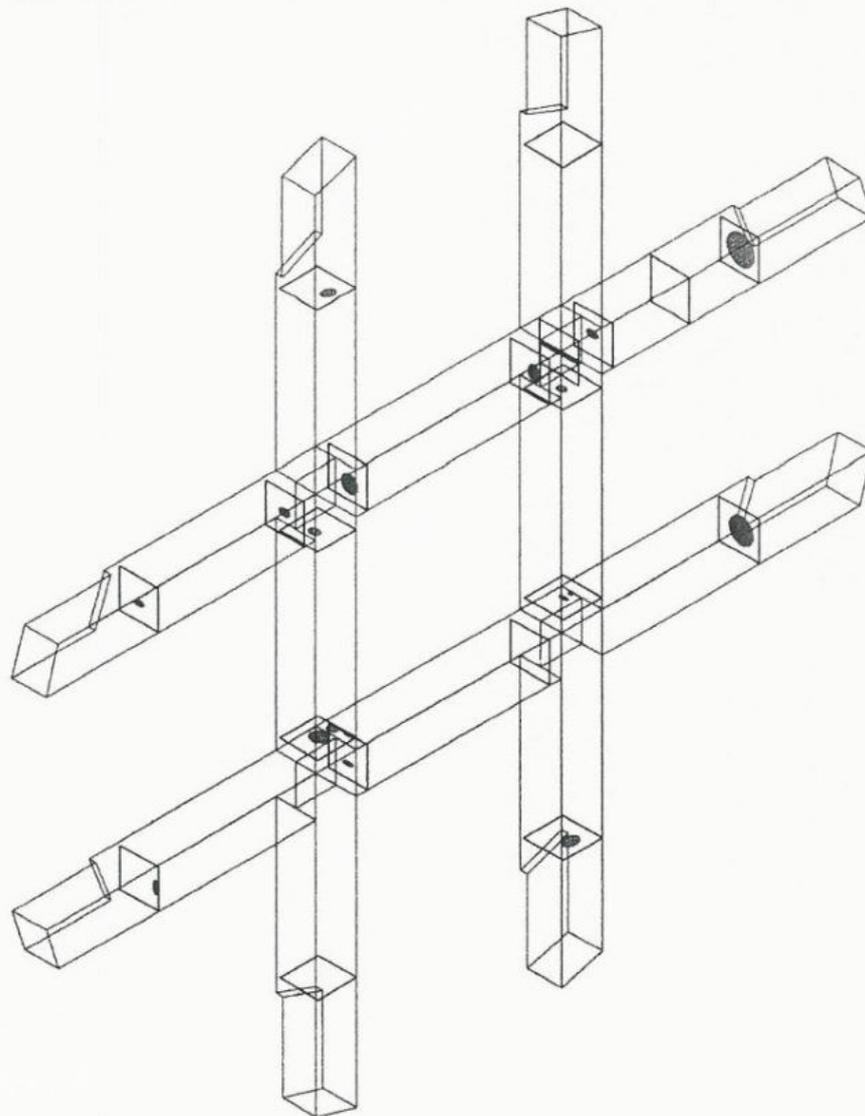
Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

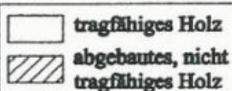
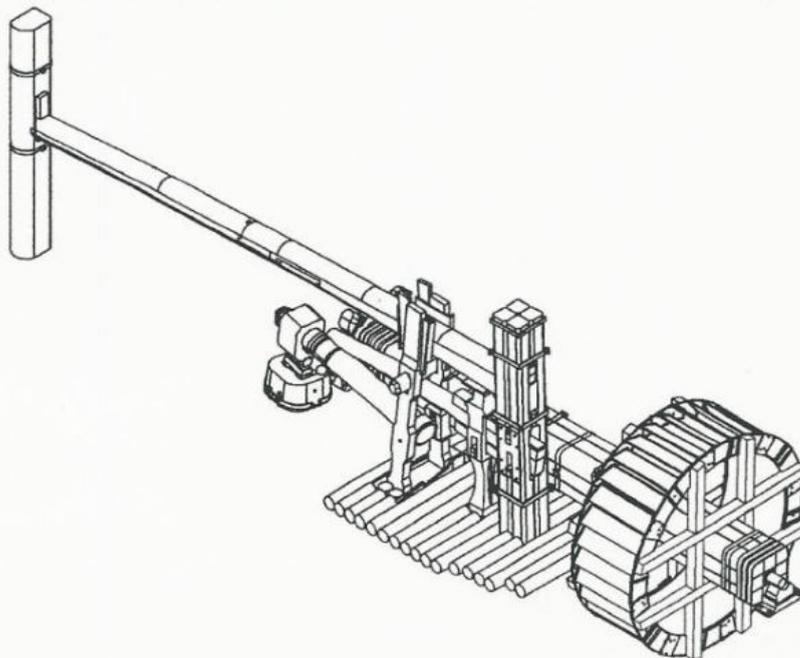
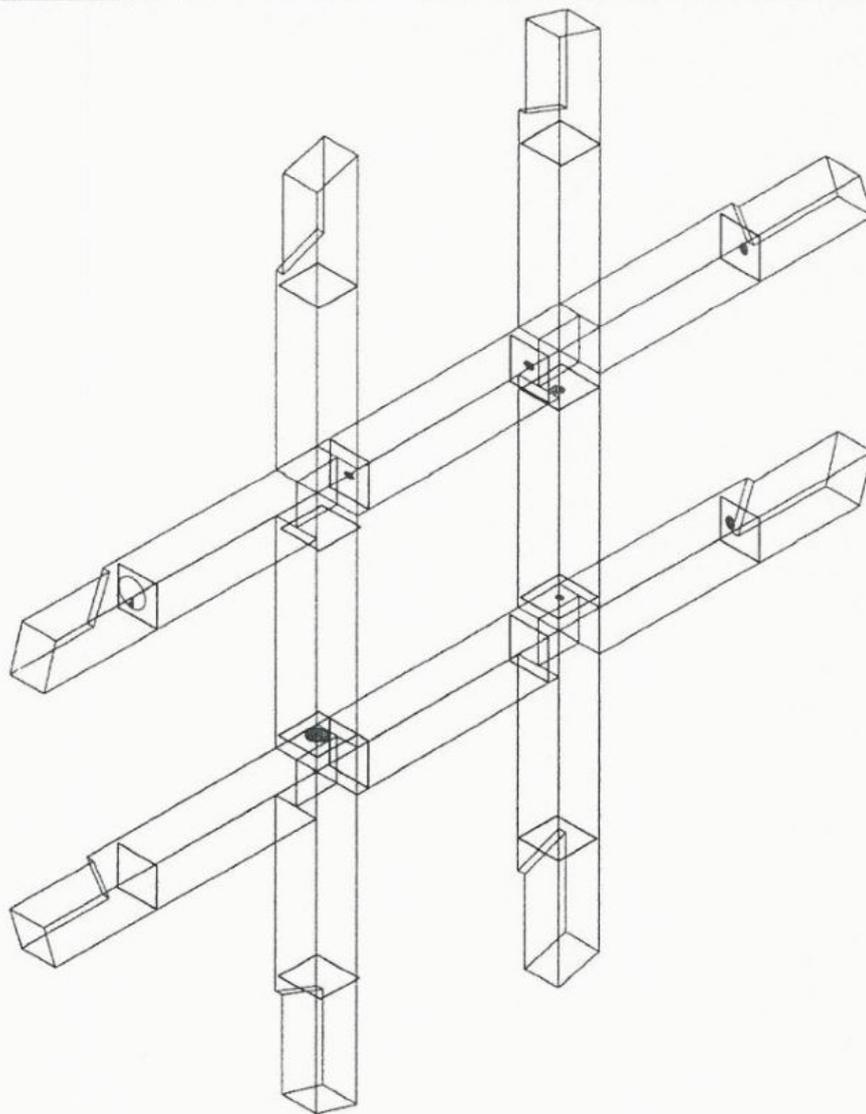
Titel:
Wasserradstrebe 4
Westseite, Schnitte A-D

Bemerkung:
**Diagnose durch Bohrwid-
standsmessung**

Datei:
Wasserrad-West-
Strebe 4
Blatt:
8/10



<p> <input type="checkbox"/> tragfähiges Holz <input checked="" type="checkbox"/> abgebautes, nicht tragfähiges Holz </p>	<p>Holzart: Eiche</p>	<p>Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverkasmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik</p>	<p>gezeichnet von: C. Bode</p>	<p>betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger</p>	<p>Datum: 2002/3</p>
<p> Abszissenachse: Bohrweg in mm Ordinatenachse: Bohrwiderstand </p>			<p> Titel: Wasserrad, Ostseite Schnittübersicht </p>		<p> Bemerkung: Diagnose durch Bohrwiderstandsmessung Datei: Wasserrad-Ost Schnittkonstr. Blatt: 9/10 </p>



Holzart:
Eiche

Diplomthema:
**Die Hammerschmiede des
Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen**
- Erhaltung des Großhammers
- Fragen zu Klimatisierung

gezeichnet von:
C. Bode

betreut durch:
1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
2. Dr. A. Unger

Datum:
2002/3

Abszissenachse: Bohrweg in mm
Ordinatenachse: Bohrwiderstand

FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

Titel:
**Wasserrad, Westseite
Schnittübersicht**

Bemerkung:
Diagnose durch
Bohrwider-
standsmessung

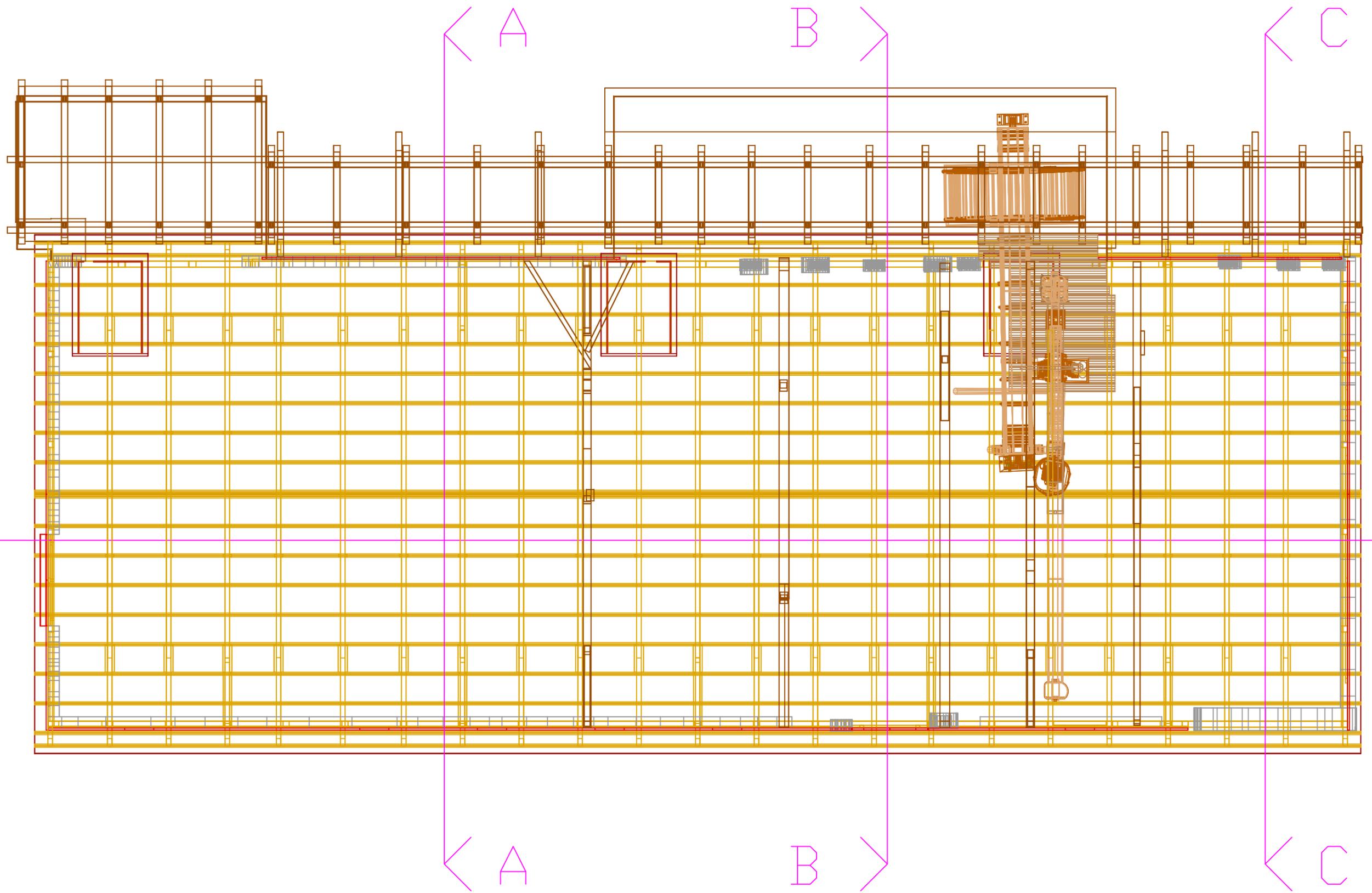
Datei:
Wasserrad-West
Schnittkonstr.
Blatt:
10/10

Anhang III

Zeichnungen des Hammergebäudes

Verzeichnis

1. Hammerschmiede mit Angabe der Schnittrichtungen
2. Hammerschmiede Schnitt A-A
3. Hammerschmiede Schnitt B-B
4. Hammerschmiede Schnitt C-C
5. Hammerschmiede Schnitt D-D
6. Hammerschmiede Ansicht von Norden
7. Hammerschmiede Ansicht von Süden
8. Hammerschmiede Ansicht von Osten
9. Hammerschmiede Ansicht von Westen
10. Storhammer, Ansicht Süd-Ost
11. Storhammer, Ansicht Nord-Ost



Diplomthema:
**Die Hammerschmiede des
 Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen**
 - Erhaltung des Großhammers
 - Fragen zu Klimatisierung
 FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik

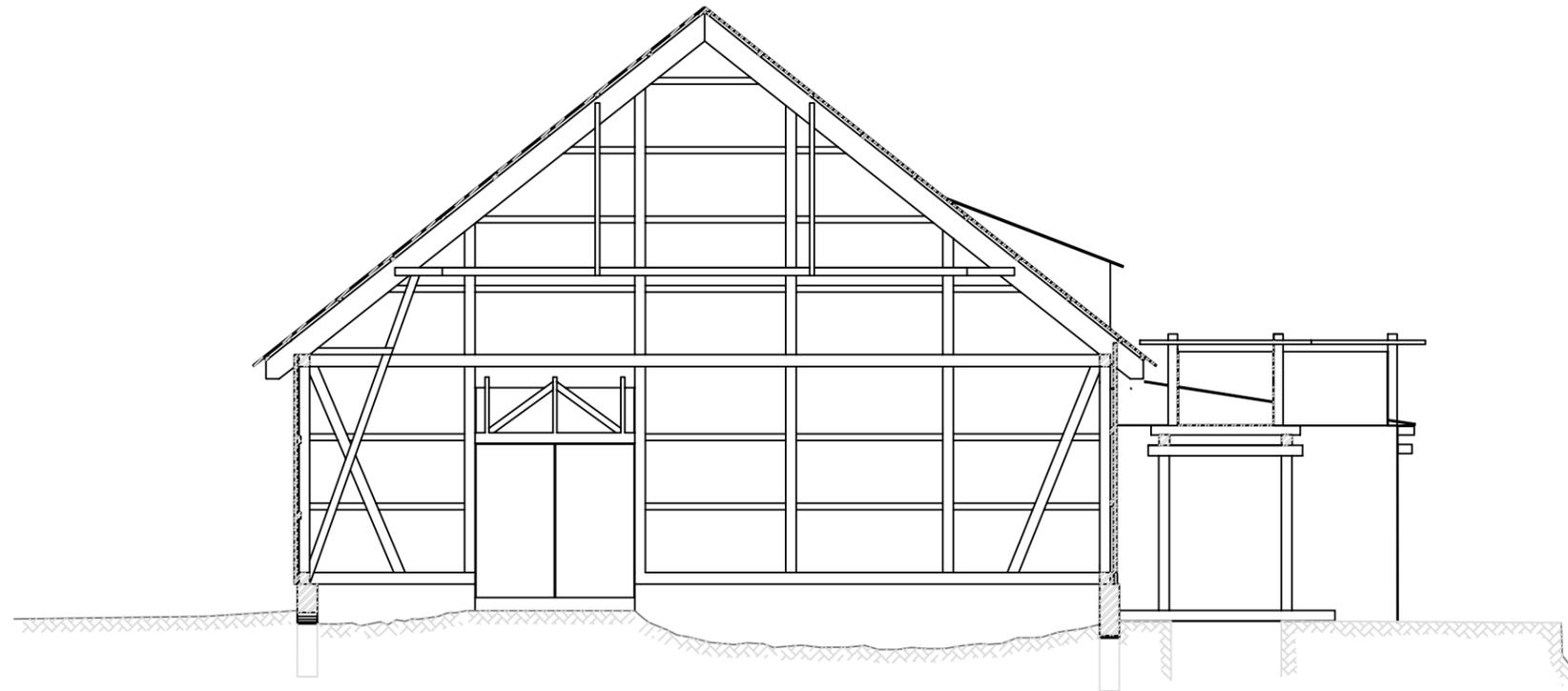
gezeichnet von:
C. Bode
 betreut durch:
 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A.
 2. Dr. A. Unger

Datum:
 SS 2002

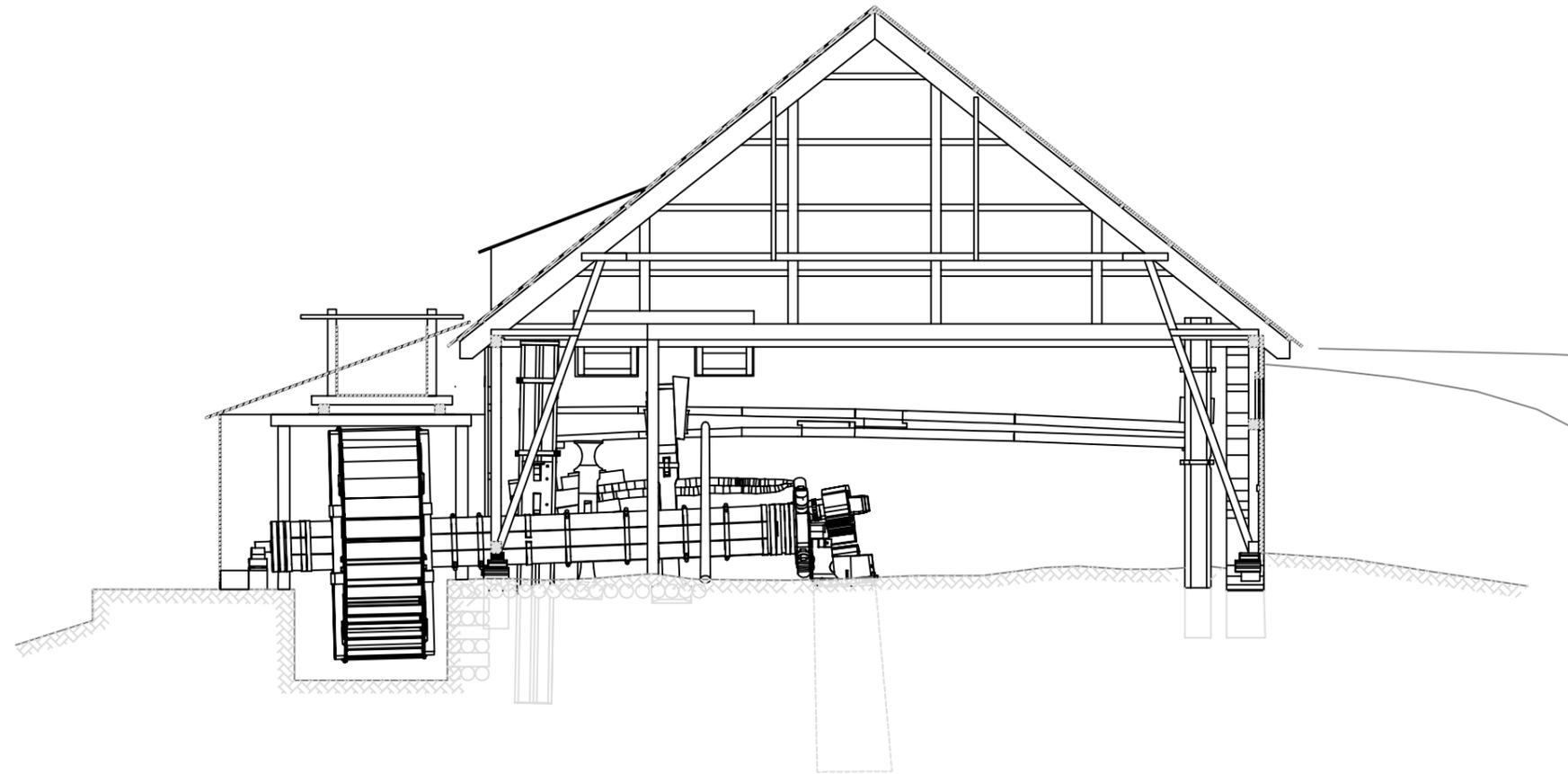
Titel:
**Hammerschmiede
 Schnitt A - A**

Maßstab:
 1:100

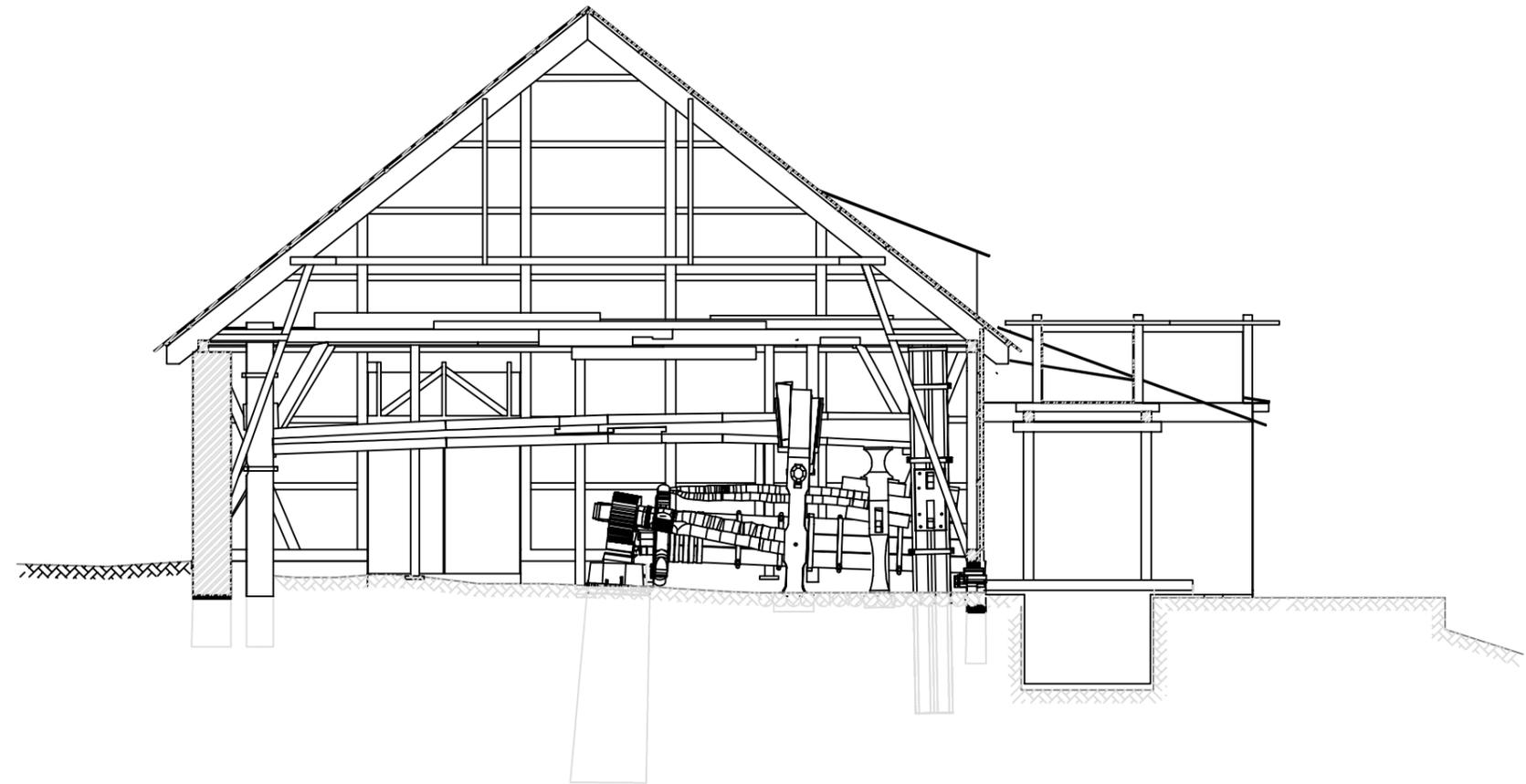
Blatt:
 1/1



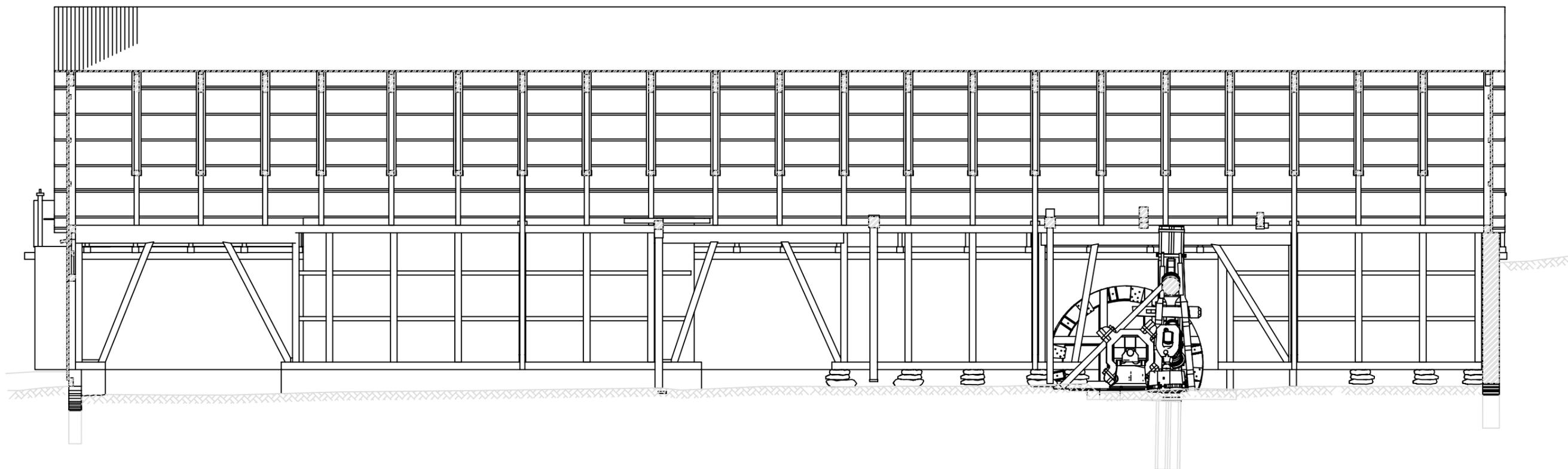
Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Schnitt A - A		Maßstab: 1:100 Blatt: 2/5



Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Schnitt B - B		Maßstab: 1:100 Blatt: 3/5

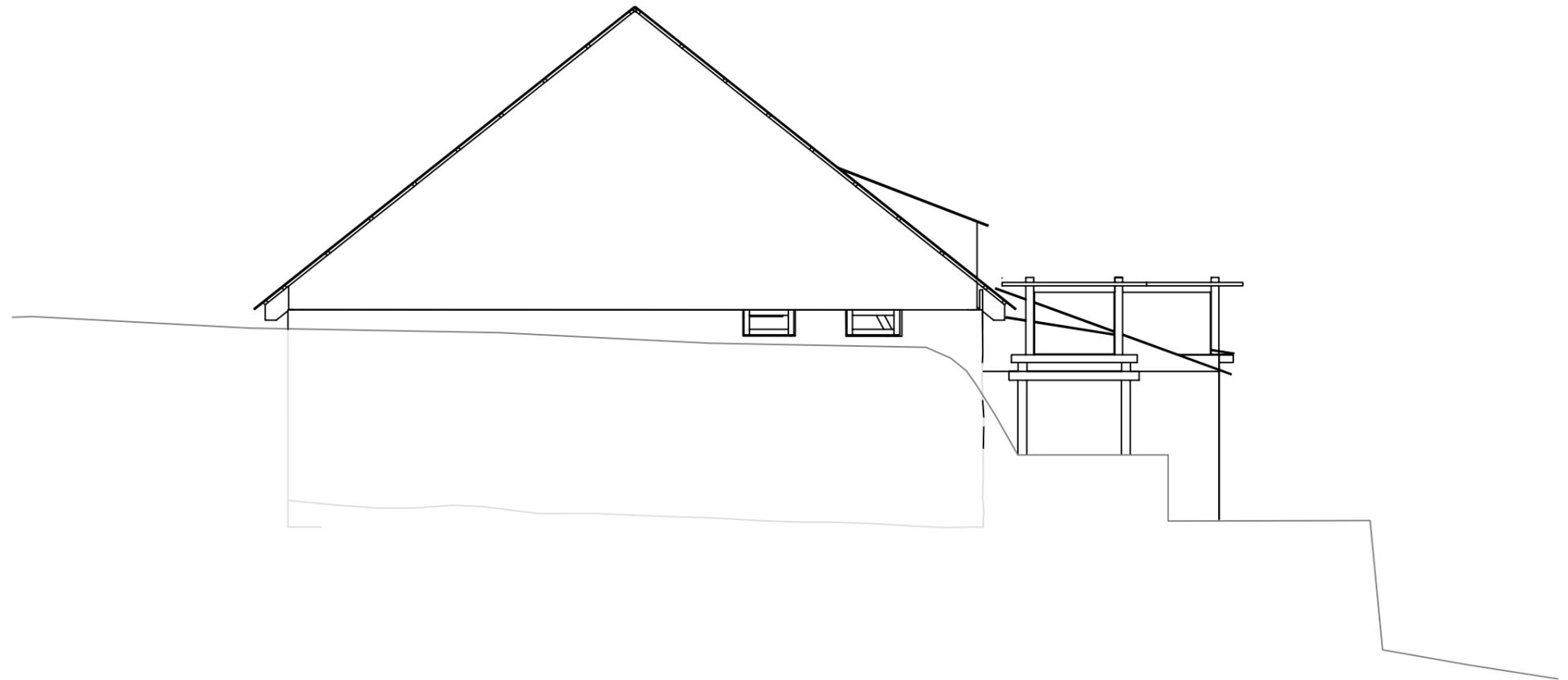


Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Schnitt C - C		Maßstab: 1:100 Blatt: 4/5

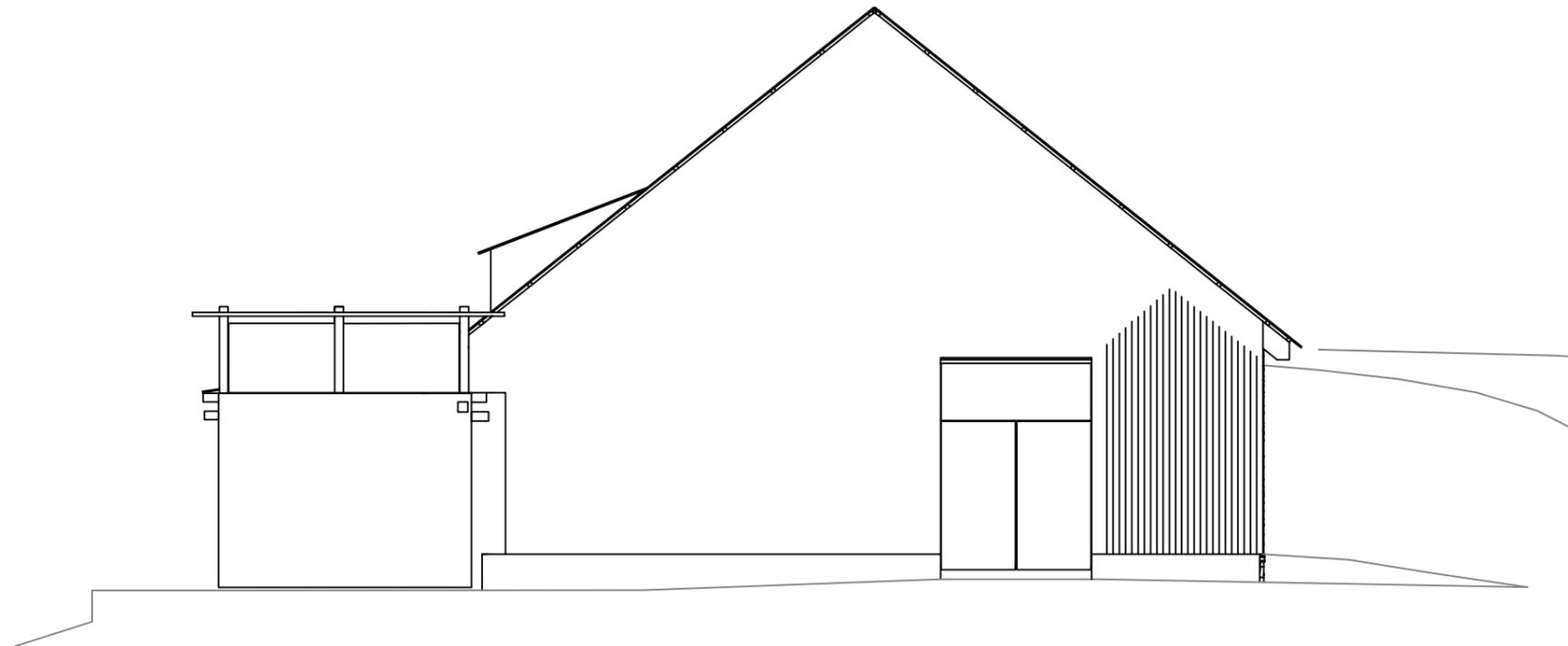


0 2 4 6 8 10 Meter

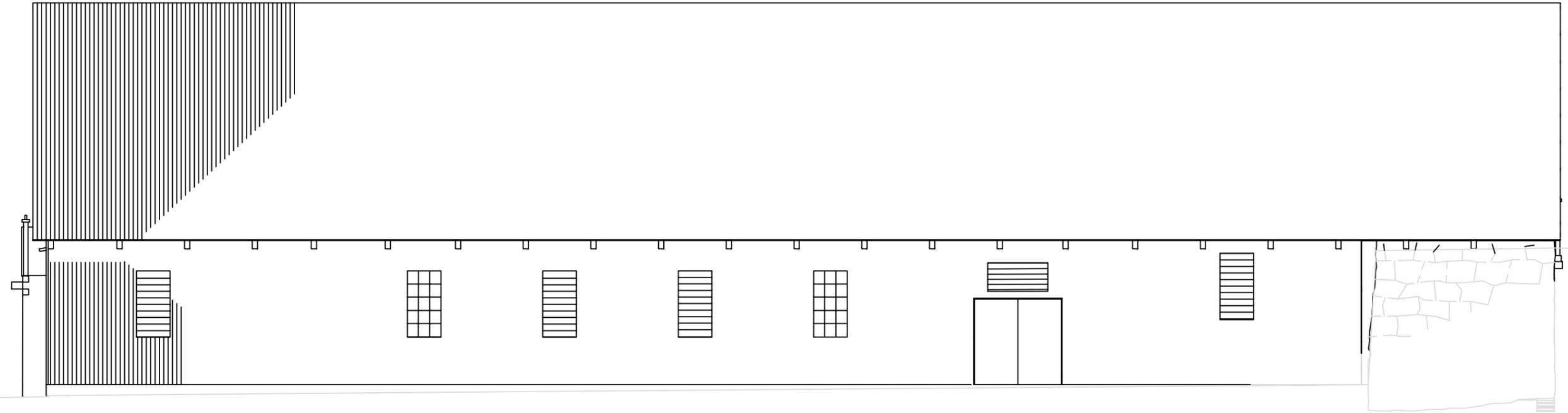
Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Schnitt D - D		Maßstab: 1:100 Blatt: 5/5



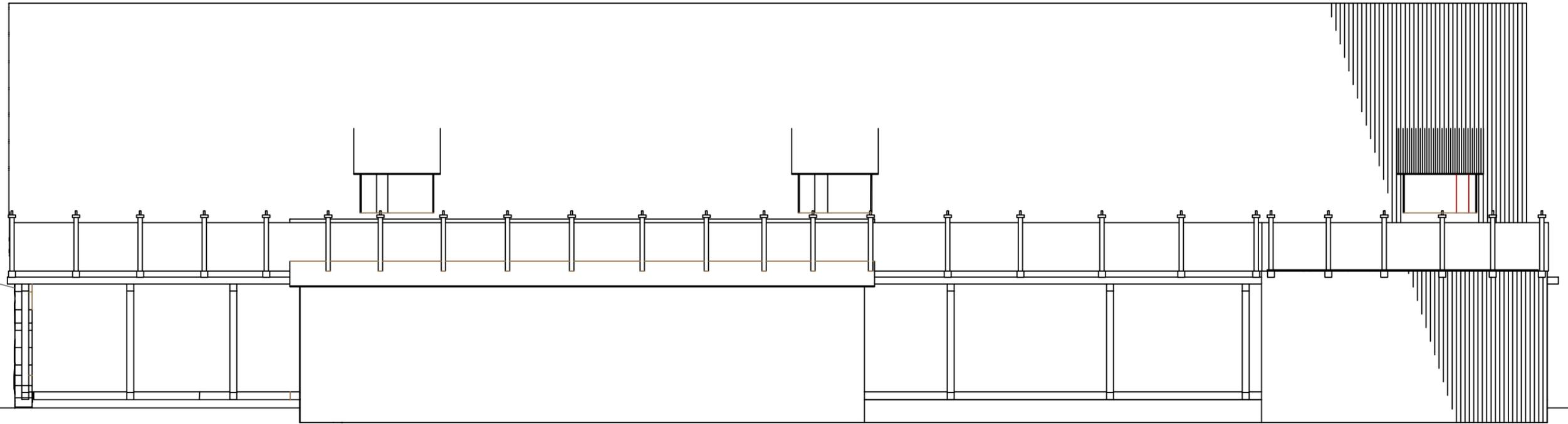
Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Ansicht von Norden		Maßstab: 1:100
			Blatt: 6/9



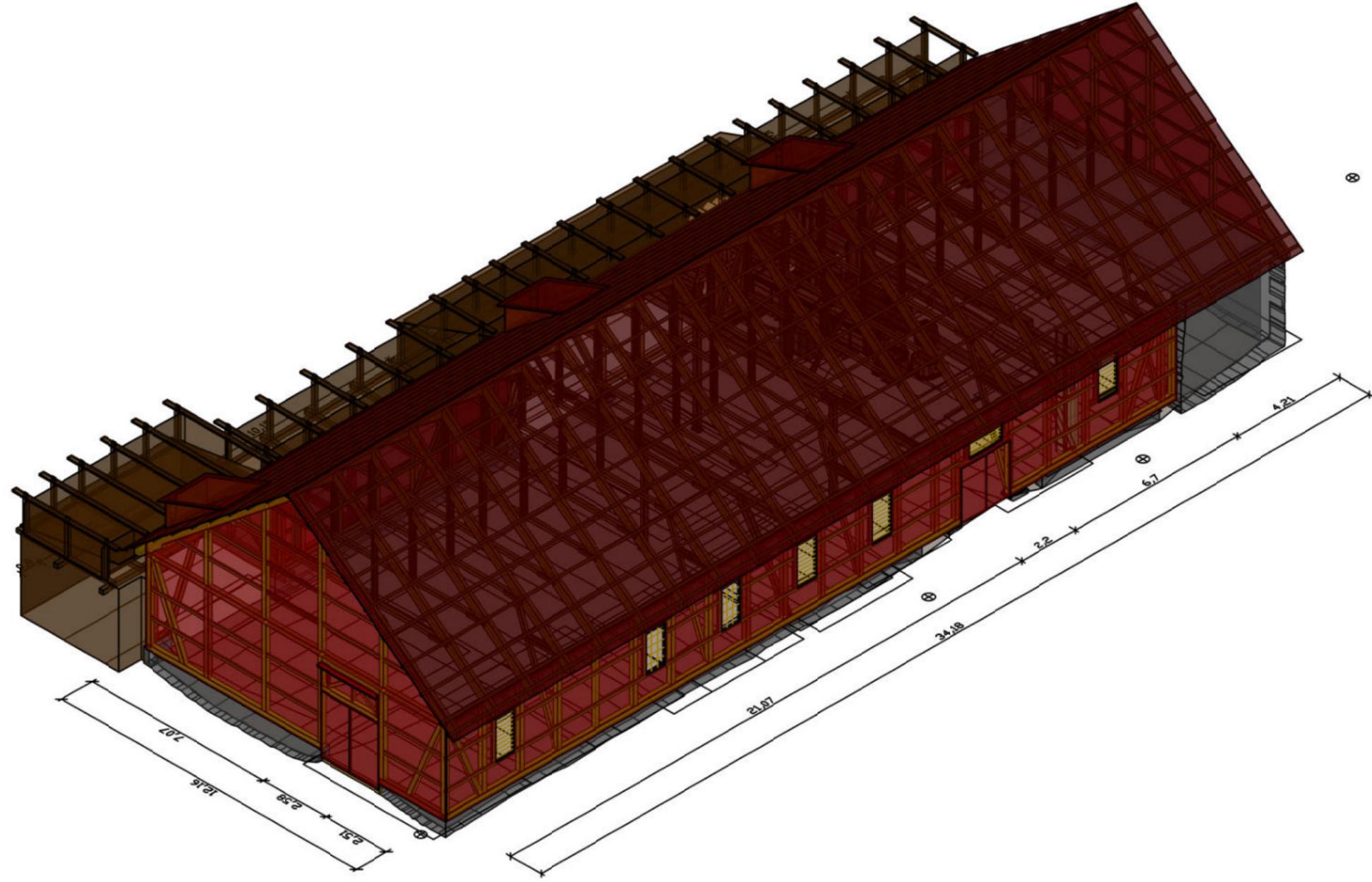
Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Ansicht von Süden		Maßstab: 1:100
			Blatt: 7/9

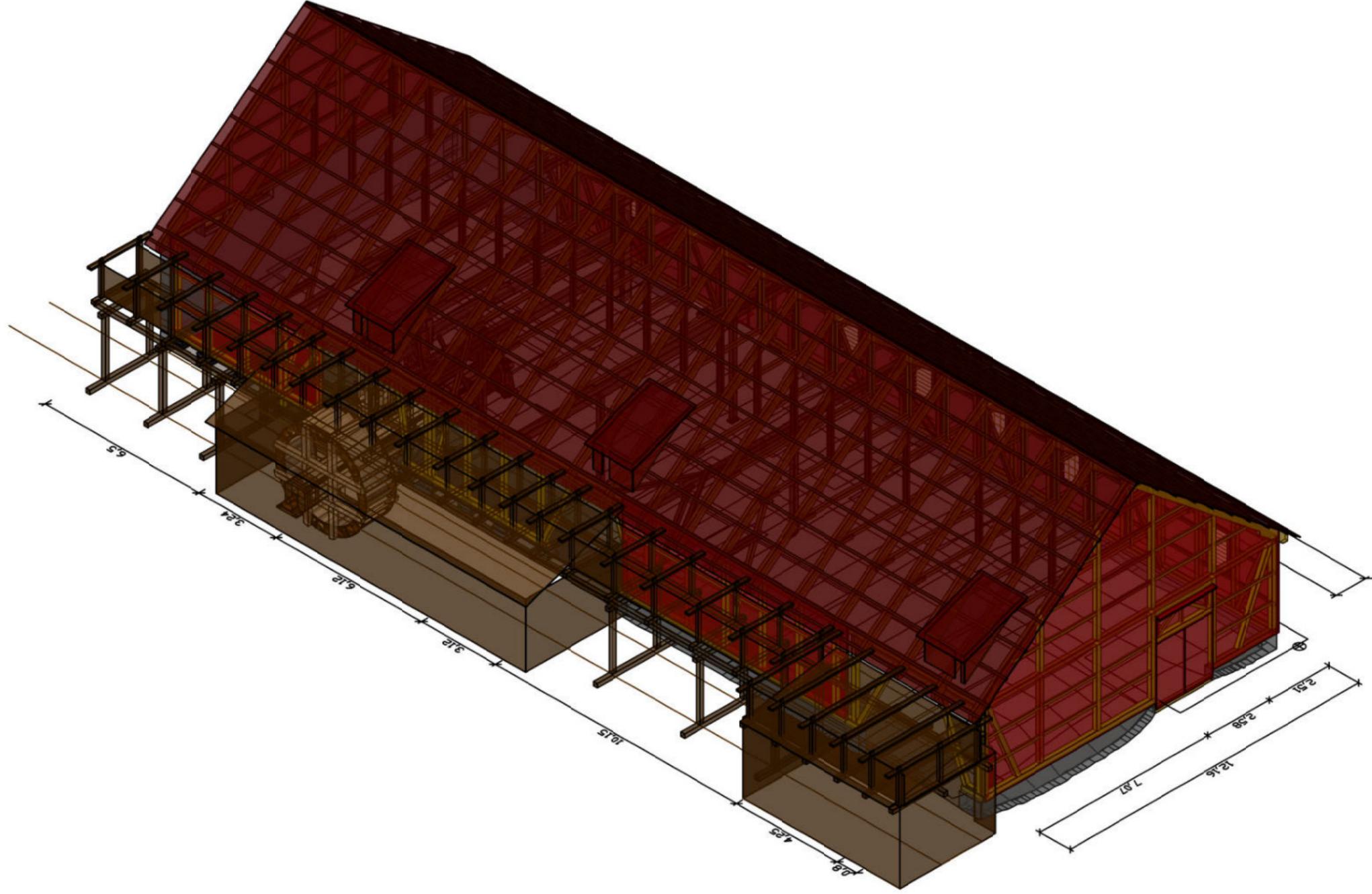


Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerverksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Ansicht von Osten		Maßstab: 1:100 Blatt: 8/9



Diplomthema: Die Hammerschmiede des Næs Jerveksmuseums in Südnorwegen - Erhaltung des Großhammers - Fragen zu Klimatisierung FHTW Berlin Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik	gezeichnet von: C. Bode	betreut durch: 1. Prof. R. Keller-Kempas M.A. 2. Dr. A. Unger	Datum: SS 2002
	Titel: Hammerschmiede Ansicht von Westen		Maßstab: 1:100 Blatt: 9/9





Anhang IV

Statische Berechnungen der Hammerkonstruktion des Storhammers

Verzeichnis

Tabelle 1: Volumen und Massen des Storhammers

1. Statische Berechnung der Radwelle	Blätter 1-1 bis 1-8
2. Statische Berechnung des Drumquerbalkens	2-1 bis 2-7
3. Statische Berechnung der Drumstütze-Ost	3-1 bis 3-9
4. Statische Berechnung, Beispiel Wellen-Träger	4-1 bis 4-7
5. Weitere Beispiele für Wellen-Trägerprofil	A-C

Tabelle 1: Volumen und Massen des Storhammers, ermittelt mit dem Programm AUTOCAD R14

Bauteil	Material	Volumen in m ³	Dichte kg/m ³	Masse in kg	Gewichtskraft in KN
Welle	Kiefer	5,1	650	2780	27,3
Nockenrad	Gußeisenring incl.	0,127	7250	920	9,03
	4 Birkennocken		830		
	4 Stahlringe		7850		
				989	ges. 9,71
2 Lagerzapfen	Gußeisen	0,056	7250	439	4,31
18 Ringe	Stahl	0,0515	7850	404	4
Wasserrad	Gußeisenwangen	0,1784	7250	1293	12,69
	8 Eichenbalken	0,8483	680	580	5,68
	Kieferfächer+Boden	1	650	525	5,15
				2514	ges. 24,67
Gesamtg. Welle				7176	70,4
DBO	Fichte	0,934	680	635	6,23
	2 Stahlringe	0,0032	7850	25	0,246
DBW	Kiefer	1,06	650	689	6,759
	4 Stahlringe	0,0086	7850	67	0,662
	Gußlager	0,054	7250	0,5	5,2
				ges. 756,5	ges. 12,62
DQB alt	Fichte	0,78	680	530	5,2
DQB neu	Kiefer	0,899	650	584	5,7
					ges. 10,9
Feder	Birke	0,25	830	207	2,03
Hammer	Birkenstiel	0,34	830	282	2,76
	Stahlringe	0,0051	7850	40	0,39
	H-Kopf, Guß	0,118	7250	855	8,4
	Stahl-Gesenk	0,0097	7850	76	0,747
	Lagerring	0,0129	7850	101,3	0,99
				ges. 1354	ges. 13,3
Amboß	Guß	0,32	7250	2320	22,76
Bolzen	Kiefer	0,035	650	22,7	0,223
kleine Stütze	Guß, mit Kasten	0,196	7250	1421	13,9
gr. Stütze r.	Guß	0,149	7250	1058	10,4
kl. Stütze l.	Guß	0,14	7250	1015	9,9
Kasten	Guß	0,087	7250	630	6,2
Wellenlager v.	Guß	0,084	7250	609	5,9
Wellenlager h.	Guß	0,016	7250	116	1,1
Gesamtg. Hammer				18,97 t	186,1

1 Statische Berechnung Storhammer - Welle

1.1 Vorbemerkungen

Die Radwelle des Storhammers ist aus neun einzelnen Kanthölzern (gebaut nach 1948) zusammengesetzt. Alle Kanthölzer werden durch 18 Eisenringe, die Wasserradspeichen und das Nockenrad zusammengehalten.

Bis auf das innere Kantholz sind alle Hölzer durch Innenfäule stark abgebaut.

Maße: Länge = 8,58 m (ohne Lagerzapfen)
 Querschnitt = 0,26 x 0,26 m (einzelnes Kantholz)
 ca. 0,78 x 0,78 m gesamt (mit abgebauten Bereichen)

1.2 Verwendete Regelwerke

DIN 1052-1 und DIN 1052-1/A1

1.3 Belastung

Als ständig wirkende Hauptlasten (LF 1) werden die Eigenlast der Wellenbalken (Linienlast), die Masse des Wasserrades und des Nockenrades (je als Punktlast) angesetzt.

Verkehrslasten sind nicht vorhanden.

Bauteil	Material	Volumen in m ³	Dichte kg/m ³	Masse in kg	Gewichtskraft in KN
Welle	Kiefer	5,1	650	2780	27,3
Nockenrad	Gußeisenring incl.	0,127	7250	920	9,03
	4 Birkennocken		830		
	4 Stahlringe		7850		
				989	ges. 9,71
2 Lagerzapfen	Gußeisen	0,056	7250	439	4,31
18 Ringe	Stahl	0,0515	7850	404	4
Wasserrad	Gußeisenwangen	0,1784	7250	1293	12,69
	8 Eichenbalken	0,8483	680	580	5,68
	Kieferfächer+Boden	1	650	525	5,15
				2514	ges. 24,67
Gesamtg. Welle				7176	70,4

1.4 Standsicherheitsnachweis

Die Berechnung wurde mit dem Programm *RSTAB 5.11* und dem Zusatzmodul *Holz-Spannungsbemessung* der Firma DLUBAL GmbH durchgeführt.

Ausgehend von einer Sortierklasse S10 für Nadelholz wurde der aus den Bohrwiderstands-Messungen resultierende Restquerschnitt berechnet und durch Optimierung der erforderliche Querschnitt bestimmt. Als Eigenlast gilt die Masse des gesamten Querschnitts der Welle.

Da die einzelnen Kanthölzer fest zusammengehalten werden, werden sie als ein Gesamtstab betrachtet.

1.5 Ergebnis

Die Spannung des angenommenen Restquerschnitts liegt mit 206% deutlich über der zulässigen Spannung. Die Standsicherheit ist nur durch zusätzliche Unterstützung gegeben (siehe Berechnungsbeispiel Träger).

Der für die Standsicherheit erforderliche Querschnitt wäre min. 208 x 442 mm.

Das maximale Biegemoment M_{max} beträgt 60,35 kNm und wirkt kurz vor dem Wasserrad.

Vorhandener Querschnitt: ca. 260 x 260 mm

Erforderlicher Querschnitt: $\geq 208 \times 442$ mm

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung der Welle

1.1.1 Ausdruckprotokoll aus RSTAB 5.11

INHALT

Inhalt	1
Basisangaben	1
Strukturdaten	
Knoten	1
Materialien	1
Querschnitte	1
Stäbe	1
Auflager	2
Belastungen	
Basisangaben der Lastfälle	2
LF 1 - Eigenlast, Wasserrad, Nockenrad	2
LF-, LG-Ergebnisse	
Schnittgrößen stabbezogen	2
Schnittgrößen querschnittsbezogen	2
Auflagerkräfte und -momente	3
Globale Knotenverformungen	3
Globale Stabverschiebungen	3
Grafik - Ergebnisse	4

Die Hammerschmiede des Nees
Jernverkemuseums

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

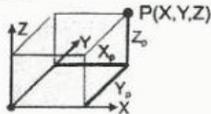
- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Statik | <input checked="" type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Nachweis | <input type="checkbox"/> Theorie II. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Dynamik | <input type="checkbox"/> Seiltheorie |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lastfälle | <input type="checkbox"/> Bemessungsfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Gruppen | <input type="checkbox"/> Dynamikfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Kombinationen | <input type="checkbox"/> Knickfiguren |

STRUKTURKENNWERTE

- | | | |
|---|------------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1D-Durchlaufträger | 2 Knoten | 1 Stäbe |
| <input type="checkbox"/> 2D-Stabwerk | 2 Materialien | 0 Seilstäbe |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3D-Stabwerk | 1 Querschnitte | 0 Voutenstäbe |
| <input type="checkbox"/> Trägerrost | 0 Stabendgelenke | 0 El. gebet. Stäbe |
| | 0 Stabteilungen | 0 Stabzüge |

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinatensystem	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		
			X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	8.930	0.000	0.300

MATERIALIEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/mm ²]	Schubmodul [kN/mm ²]	Sp. Gewicht [kN/mm ³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+02	8.100E+01	7.850E-08	1.200E-05
2	Nadelholz S10/MS10	1.000E+01	5.000E-01	6.000E-09	5.000E-06

Rechteck 780/780



QUERSCHNITTE

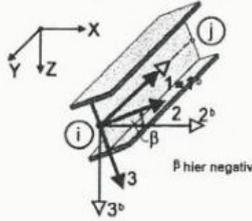
Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I-T A	I-2 A-2	I-3 [mm ⁴] A-3 [mm ²]
1	2	Rechteck 780/780 9 Wellenbalken	5.20678e+10 608400.0	3.08459e+10	3.08459e+10

STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten		Beta [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende			
1	Balken	1	2	0.0	1	1	-	-	-	8.935	ALLG

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung der Welle

Lokales Stabachsensystem



AUFLAGER

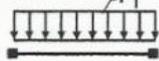
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°]		Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]					
		Alpha	Beta	in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
3	1	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
4	2	0.0	0.0	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja

BELASTUNG

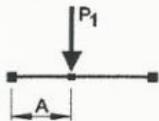
BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigenlast, Wasserrad, Nockenrad	1.00	Ständig	-

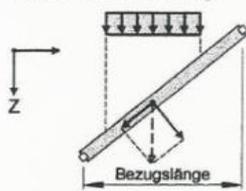
1- Linienlast



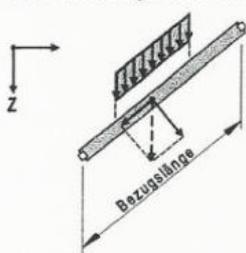
2 - Einzellast



Z - Global in Z-Richtung



G - In Z-Richtung als Gewicht



STABLASTEN

LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]	
				P-1	A
1	1	1	G	3.056	
2	1	2	Z	-9.710	8.740
3	1	2	Z	-24.670	1.980

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			T	Momente [kNm]		
				N	Q-2	Q-3		M-2	M-3	
1	LF1	1	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00	
		links	1.98	-.91	.00	26.99	.00	59.46	.00	
		rechts	1.98	-.08	.00	2.33	.00	59.46	.00	
		links	8.74	.62	.00	-18.32	.00	5.38	.00	
		rechts	8.74	.94	.00	-28.03	.00	5.38	.00	
		2	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00	
		Max N	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00	
		Min N	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00	
		Max Q-3	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00	

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung der Welle

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
				N	Q-2	Q-3	T	M-2	M-3
1	LF1	Min Q-3	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00
		Max M-2	2.68	-.01	.00	.20	.00	60.35	.00
		Min M-2	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			Momente [kNm]				
				N	Q-2	Q-3	T	M-2	M-3		
Querschnitt-Nr. 1: Rechteck 780/780 (9 Wellenbelken)											
1	LF1	1	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00		
		links	1.98	-.91	.00	26.99	.00	59.46	.00		
		rechts	1.98	-.08	.00	2.33	.00	59.46	.00		
		links	8.74	.62	.00	-18.32	.00	5.38	.00		
		rechts	8.74	.94	.00	-28.03	.00	5.38	.00		
		2	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00		
		Max N	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00		
		Min N	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00		
		Max Q-3	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00		
		Min Q-3	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00		
		Max M-2	2.68	-.01	.00	.20	.00	60.35	.00		
		Min M-2	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00		
		1	LF1	MAX N	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00
		1	LF1	MIN N	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00
1	LF1	MAX Q-3	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00		
1	LF1	MIN Q-3	8.94	.96	.00	-28.61	.00	.00	.00		
1	LF1	MAX M-2	2.68	-.01	.00	.20	.00	60.35	.00		
1	LF1	MIN M-2	.00	-1.11	.00	33.04	.00	.00	.00		

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN]			Auflagermomente [kNm]		
		P-X	P-Y	P-Z	M-X	M-Y	M-Z
1	LF1	.000	.000	-33.059	.000	.000	.000
2	LF1	.000	.000	-28.626	.000	.000	.000
Σ Lasten		.000	.000	-61.685			
Σ Kräfte		.000	.000	-61.685			

GLOBALE KNOTENVERFORMUNGEN

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Verschiebungen [mm]			Verdrehungen [mrad]		
		u-X	u-Y	u-Z	φ -X	φ -Y	φ -Z
1	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	.62957	.00000
2	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	-53578	.00000
Maxi	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	.62957	.00000
Mini	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	-53578	.00000

GLOBALE STABVERSCHIEBUNGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm]		
				u-X	u-Y	u-Z
1	LF1	1	.00	.00000	.00000	.00000
		2	8.94	.00000	.00000	.00000

Statische Berechnung Storhammer Berechnung der Welle

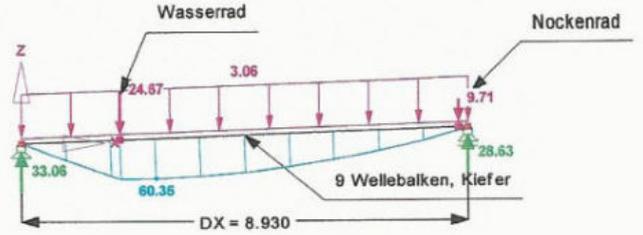
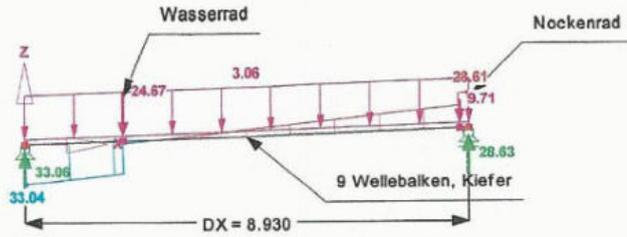
ERGEBNISSE

LF 1 - Eigenlast, Wasserrad, Nockenrad
Schnittgrößen Q-3
Auflagerreaktionen

In Y-Richtung

LF 1 - Eigenlast, Wasserrad, Nockenrad
Schnittgrößen M-2
Auflagerreaktionen

In Y-Richtung



60.297 kN
Max Q-3: 33.04, Min Q-3: -28.61 kN

1.529 m

110.137 kNm
Max M-2: 60.35 kNm

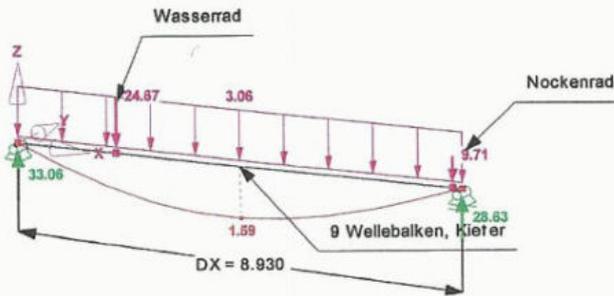
1.529 m

LF 1 - Eigenlast, Wasserrad, Nockenrad
Verschiebungen
Auflagerreaktionen

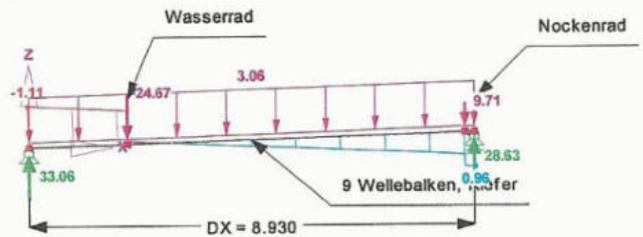
Isometrie

LF 1 - Eigenlast, Wasserrad, Nockenrad
Schnittgrößen N
Auflagerreaktionen

In Y-Richtung



Max u: 1.59 mm
Faktor für Verschiebungen: 600



2.031 kN
Max N: 0.96, Min N: -1.11 kN

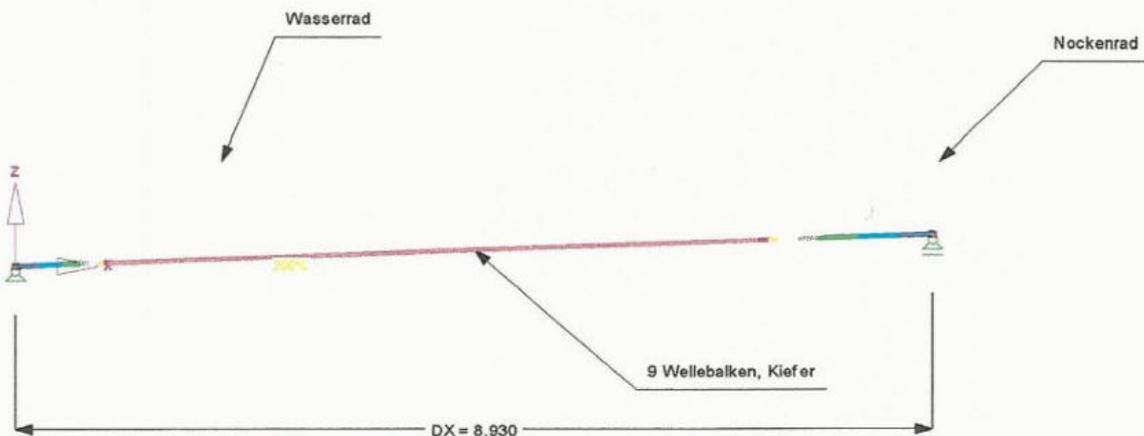
1.533 m

Statische Berechnung Storhammer Berechnung der Welle

SPANNUNGS-AUSNUTZUNG

HOLZ1 - Spannungsbemessung
Sigma M

In Y-Richtung

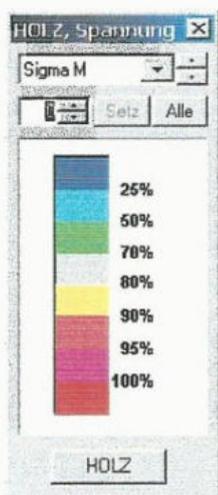


Max = 206%

0.739 m

QUERSCHNITT

bei angenommenem Restquerschnitt 260/260, entspricht einem Balken

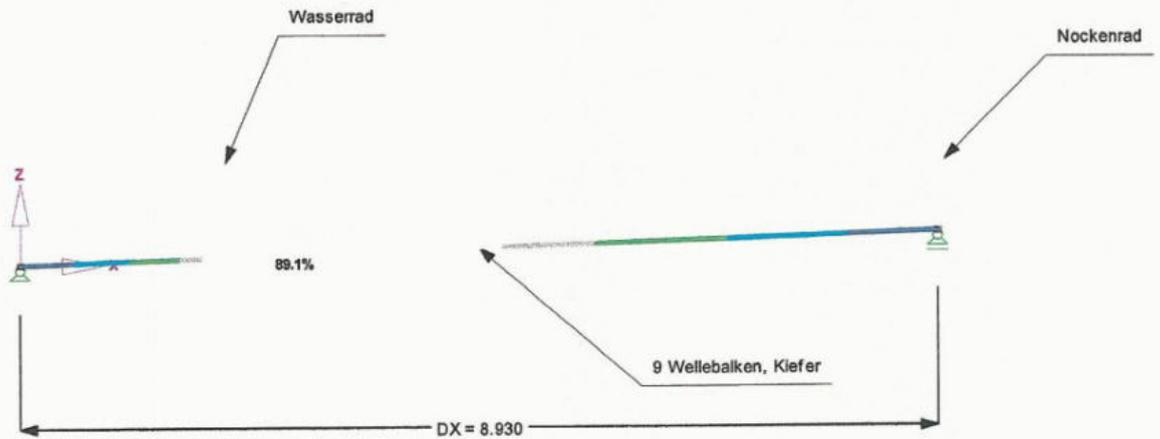


Statische Berechnung Storhammer
Berechnung der Welle

SPANNUNGS-AUSNUTZUNG

HOLZ1 - Spannungsbeurteilung
Sigma M

In Y-Richtung

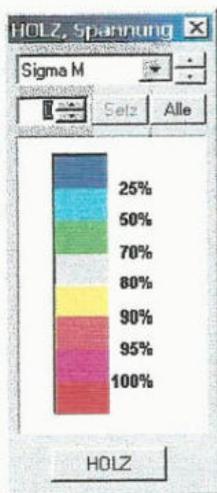


Max = 89.1%

0.739 m

QUERSCHNITT

bei optimiertem Querschnitt 208/442



2 Statische Berechnung Storhammer - Drumquerbalken

2.1 Vorbemerkungen

Der Drumquerbalken (DQB) wurde aus einem Stamm gefertigt und durch spätere Reparatur auf der Hälfte seiner Länge, über ein Doppeltes Hakenblatt, mit einem neuen Stamm verbunden. Die Enden sind durch einfache Zapfenverbindungen in den Drumstützen gelagert. Zwei weitere Stützen werden unter dem neuen Stamm durch die Zange und die Büchensäule gebildet (siehe Band 1, Abs. 3)

Maße: Länge = 11,08 m (mit Zapfen)
mittlerer Durchmesser = 450 mm

2.2 Verwendete Regelwerke

DIN 1052-1 und DIN 1052-1/A1

2.3 Belastung

Als ständig wirkende Hauptlasten (LF 1) wird die Eigenlast des gesamten Querbalkens (Linienlast) angesetzt.

Verkehrslasten sind nicht vorhanden.

Bauteil	Material	Volumen in m ³	Dichte kg/m ³	Masse in kg	Gewichtskraft in KN
DQB alt	Fichte	0,78	680	530	5,2
DQB neu	Kiefer	0,899	650	584	5,7
					ges. 10,9

2.4 Standsicherheitsnachweis

Die Berechnung wurde mit dem Programm *RSTAB 5.11* und dem Zusatzmodul *Holz-Spannungsbemessung* der Firma DLUBAL GmbH durchgeführt.

Da die Bohrwiderstands-Messungen keine bedeutenden Materialverluste zeigten, konnte mit dem vollen Querschnitt gerechnet werden.

2.5 Ergebnis

Die maximale Spannung liegt lediglich bei 9,4% über der Zange. Dadurch wird die Drumstütze-West, über die Zange als Hebellager, hängend auf dem Drumquerbalken gelagert.

2.6 Ausdruckprotokoll aus RSTAB 5.11

INHALT

Inhalt	1
Basisangaben	1
Strukturdaten	
Knoten	1
Materialien	1
Querschnitte	1
Stäbe	1
Auflager	2
Belastungen	
Basisangaben der Lastfälle	2
LF 1 - Eigenlast	2
LF-, LG-Ergebnisse	
Schnittgrößen stabbezogen	2
Schnittgrößen querschnittsbezogen	2
Auflagerkräfte und -momente	3
Globale Knotenverformungen	3
Globale Stabverschiebungen	3
Grafik - Ergebnisse	4

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

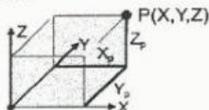
- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Statik | <input checked="" type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Nachweis | <input type="checkbox"/> Theorie II. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Dynamik | <input type="checkbox"/> Seiltheorie |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lastfälle | <input type="checkbox"/> Bemessungsfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Gruppen | <input type="checkbox"/> Dynamikfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Kombinationen | <input type="checkbox"/> Knickfiguren |

STRUKTURKENNWERTE

- | | | |
|---|------------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1D-Durchlaufträger | 4 Knoten | 3 Stäbe |
| <input type="checkbox"/> 2D-Stabwerk | 2 Materialien | 0 Seilstäbe |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3D-Stabwerk | 1 Querschnitt | 0 Voutenstäbe |
| <input type="checkbox"/> Trägerrost | 0 Stabendgelenke | 0 El. gebet. Stäbe |
| | 0 Stabteilungen | 0 Stabzüge |

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinatensystem	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		
			X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	10.570	0.000	0.000
3	Kartesisch Gelagert	-	8.550	0.000	0.000
4	Kartesisch Gelagert	-	9.810	0.000	0.000

MATERIALIEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/mm ²]	Schubmodul [kN/mm ²]	Sp. Gewicht [kN/mm ³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+02	8.100E+01	7.850E-08	1.200E-05
2	Nadelholz S10/MS10	1.000E+01	5.000E-01	6.000E-09	5.000E-08

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I-T A	I-2 A-2	I-3 [mm ⁴] A-3 [mm ²]
1	2	Kreis 450	4025780000. 159043.0	2012890000.	2012890000.

Kreis 450

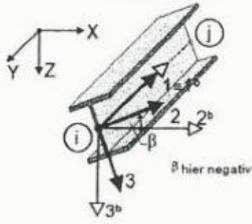


STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten		Beta [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende			
1	Balken	1	3	0.0	1	1	-	-	-	8.550	HORI
2	Balken	3	4	0.0	1	1	-	-	-	1.260	HORI
3	Balken	4	2	0.0	1	1	-	-	-	0.760	HORI

Statische Berechnung Storhammer Berechnung des Drumquerbalkens

Lokales Stabachsensystem



AUFLAGER

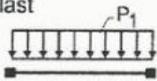
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°]		Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]					
		Alpha	Beta	in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1,2	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
2	3,4	0.0	0.0	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja

BELASTUNG

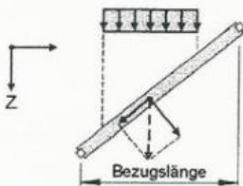
BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigenlast	1.00	Ständig	-

1- Linienlast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN

LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]
1	1-3	1	Z	-1.030

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
				N	Q-2	Q-3	T	M-2	M-3
1	LF1	1	.00	.00	.00	3.42	.00	.00	.00
		3	8.55	.00	.00	-5.38	.00	-8.39	.00
		Max N	.00	.00	.00	3.42	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.42	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.42	.00	.00	.00
		Min Q-3	8.55	.00	.00	-5.38	.00	-8.39	.00
		Max M-2	3.42	.00	.00	-1.10	.00	5.68	.00
Min M-2	8.55	.00	.00	-5.38	.00	-8.39	.00		
2	LF1	3	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00
		4	1.28	.00	.00	7.96	.00	2.46	.00
		Max N	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00
		Min N	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00
		Min Q-3	1.28	.00	.00	7.96	.00	2.46	.00
		Max M-2	1.28	.00	.00	7.96	.00	2.46	.00
Min M-2	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00		
3	LF1	4	.00	.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00
		2	.76	.00	.00	-3.63	.00	.00	.00
		Max N	.00	.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00
		Min N	.00	.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00
		Min Q-3	.76	.00	.00	-3.63	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00
Min M-2	.76	.00	.00	-3.63	.00	.00	.00		

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
				N	Q-2	Q-3	T	M-2	M-3
Querschnitt-Nr. 1: Kreis 450									
1	LF1	1	.00	.00	.00	3.42	.00	.00	.00

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung des Drumquerbalkens

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	N	Kräfte [kN]			T	Momente [kNm]		
					Q-2	Q-3	M-2		M-3		
1	LF1	3	8.55	.00	.00	-5.38	.00	-8.39	.00		
		Max N	.00	.00	3.42	.00	.00				
		Min N	.00	.00	3.42	.00	.00				
		Max Q-3	.00	.00	3.42	.00	.00				
		Min Q-3	8.55	.00	-5.38	.00	-8.39				
		Max M-2	3.42	.00	-1.10	.00	5.68				
		Min M-2	8.55	.00	-5.38	.00	-8.39				
2	LF1	3	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00		
		4	1.26	.00	.00	7.96	.00	2.46	.00		
		Max N	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00		
		Min N	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00		
		Max Q-3	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00		
		Min Q-3	1.26	.00	.00	7.96	.00	2.46	.00		
		Max M-2	1.26	.00	.00	7.96	.00	2.46	.00		
		Min M-2	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00		
		3	LF1	4	.00	.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00
				2	.76	.00	.00	-3.63	.00	.00	.00
Max N	.00			.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00		
Min N	.00			.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00		
Max Q-3	.00			.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00		
Min Q-3	.76			.00	.00	-3.63	.00	.00	.00		
Max M-2	.00			.00	.00	-2.85	.00	2.46	.00		
Min M-2	.76	.00	.00	-3.63	.00	.00	.00				
1	LF1	MAX N	.00	.00	.00	3.42	.00	.00	.00		
1	LF1	MIN N	.00	.00	.00	3.42	.00	.00	.00		
2	LF1	MAX Q-3	.00	.00	.00	9.26	.00	-8.39	.00		
1	LF1	MIN Q-3	8.55	.00	.00	-5.38	.00	-8.39	.00		
1	LF1	MAX M-2	3.42	.00	.00	-1.10	.00	5.68	.00		
1	LF1	MIN M-2	8.55	.00	.00	-5.38	.00	-8.39	.00		

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	P-X	Auflagerkräfte [kN]			Auflagermomente [kNm]		
			P-Y	P-Z	M-X	M-Y	M-Z	
1	LF1	.000	.000	-3.422	.000	.000	.000	
2	LF1	.000	.000	-3.629	.000	.000	.000	
3	LF1	.000	.000	-14.642	.000	.000	.000	
4	LF1	.000	.000	10.806	.000	.000	.000	
ΣLasten	LF1	.000	.000	-10.887				
ΣKräfte		.000	.000	-10.887				

Globale Knotenverformungen

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Verschiebungen [mm]			Verdrehungen [mrad]		
		u-X	u-Y	u-Z	φ-X	φ-Y	φ-Z
1	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	.73884	.00000
2	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	-.01642	.00000
3	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	-.14507	.00000
4	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	.03190	.00000
Max	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	.73884	.00000
Mini	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	-.14507	.00000

Globale Stabverschiebungen

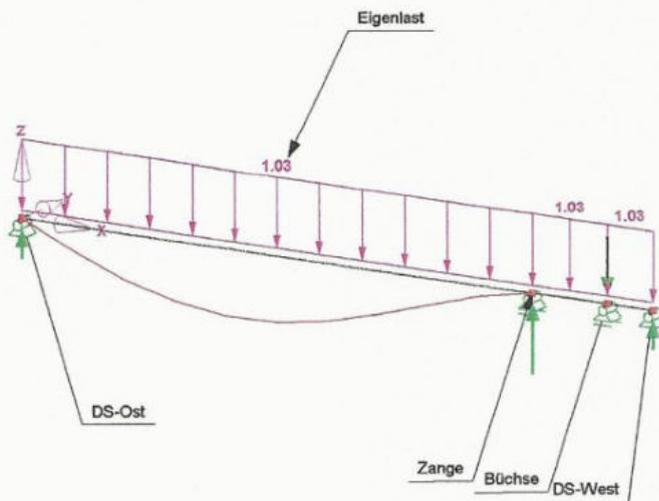
Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm]		
				u-X	u-Y	u-Z
1	LF1	1	.00	.00000	.00000	.00000
		3	8.55	.00000	.00000	.00000
2	LF1	3	.00	.00000	.00000	.00000
		4	1.26	.00000	.00000	.00000
3	LF1	4	.00	.00000	.00000	.00000
		2	.76	.00000	.00000	.00000

Statische Berechnung Storhammer Berechnung des Drumquerbalkens

ERGEBNISSE

LF 1 - Eigenlast
Verschiebungen
Auflagerreaktionen

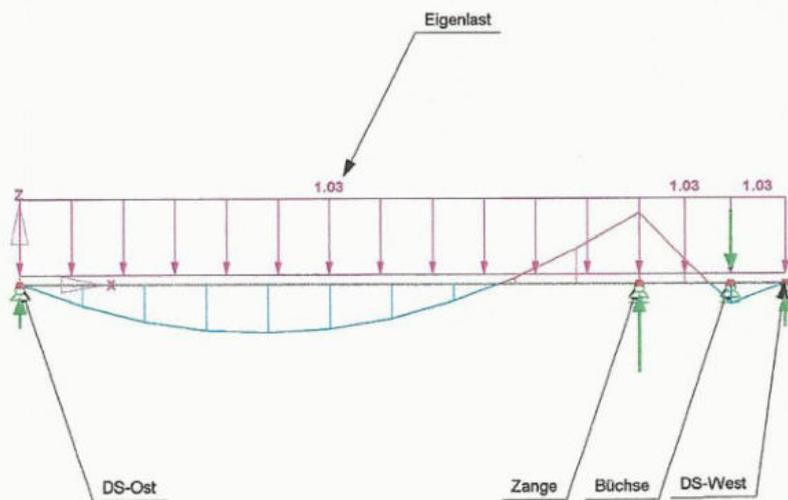
Isometrie



Max u: 1.69 mm
Faktor für Verschiebungen: 600

LF 1 - Eigenlast
Schnittgrößen M-2
Auflagerreaktionen

In Y-Richtung

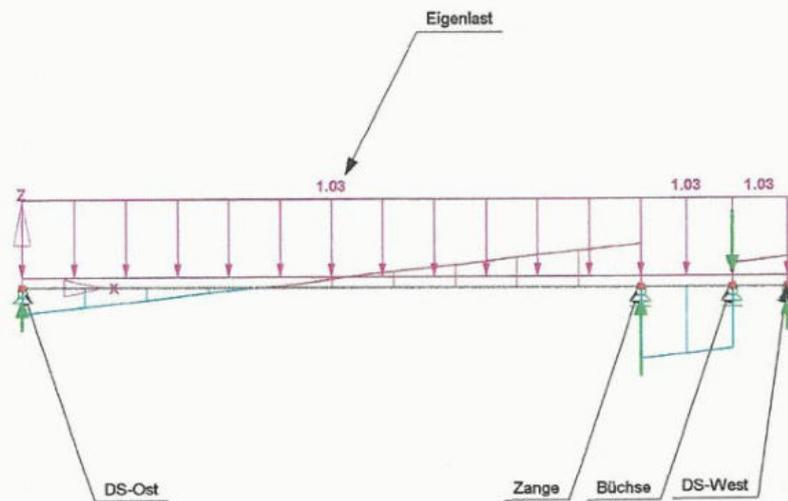


8.883 kNm
Max M-2: 5.68, Min M-2: -8.39 kNm

1.049 m

LF 1 - Eigenlast
Schnittgrößen Q-3
Auflagerreaktionen

In Y-Richtung



9.816 kN
Max Q-3: 9.26, Min Q-3: -5.38 kN

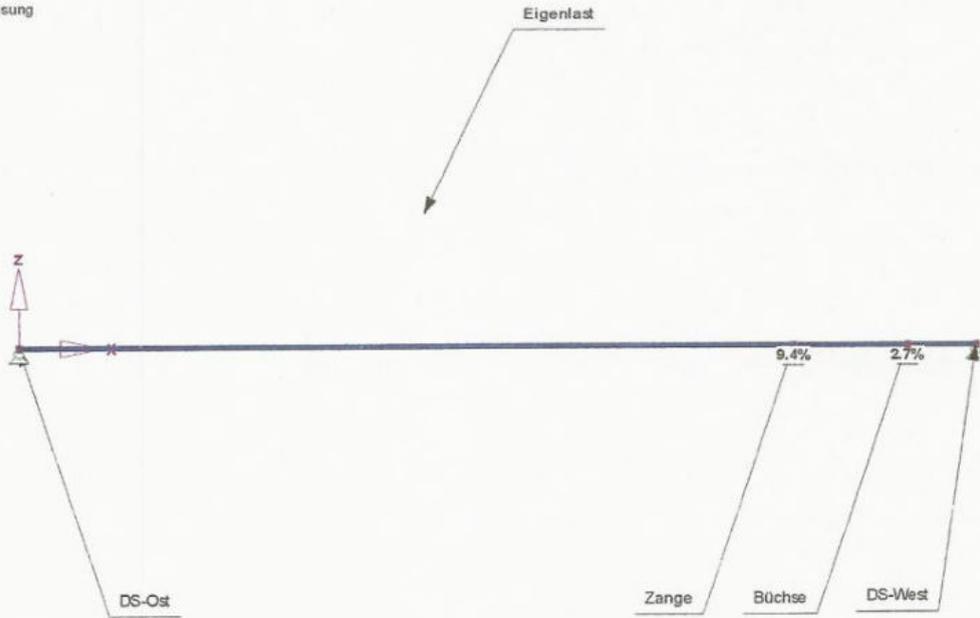
1.050 m

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung des Drumquerbalkens

SPANNUNGS AUSNUTZUNG

HOLZ1 - Spannungsbeurteilung
Sigma M

In Y-Richtung

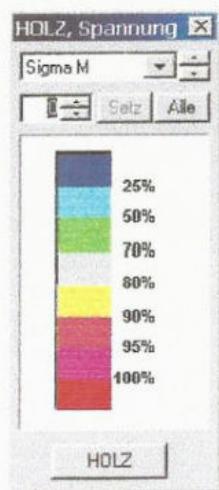


Max = 9.4%

0.843 m

QUERSCHNITT

bei Querschnitt Rd 450 mm



3 Statische Berechnung Storhammer – Drumstütze-Ost

3.1 Vorbemerkungen

Der Drumstütze-Ost (DBO) wurde aus einem Stamm gefertigt. Infolge der abgebauten Pfahlgründung im Boden wurde ein neues Fundament als Steckverbindung (um x und y frei drehbar) aus Kiefer-Vollholz montiert.

Maße: Länge = 4 m (oberster Auflagerpunkt der Steckverbindung bis Stamme)

Querschnitt = 450 x 650 mm

3.2 Verwendete Regelwerke

DIN 1052-1 und DIN 1052-1/A1

DIN 18 800-1 u. 2 (11.90)

DIN 1052-2 und DIN 571

3.3 Belastung

Als ständig wirkende Hauptlasten (LF 1) werden die Eigenlast der gesamten Drumstütze (Linienlast) und die Auflagerkraft des Drumquerbalkens angesetzt. Als Verkehrslast wird eine horizontal wirkende Einmannlast von 500N (Lastannahme pro Person) angenommen (DIN 1052-1, 10.5)

Bauteil	Material	Volumen in m ³	Dichte kg/m ³	Masse in kg	Gewichtskraft in KN
DBO	Fichte	0,934	680	635	6,23
	2 Stahlringe, St 37	0,0032	7850	25	0,246

3.4 Standsicherheitsnachweis

Die Berechnung wurde mit dem Programm *RSTAB 5.11* und dem Zusatzmodul *Stahl-Spannungsanalyse* der Firma DLUBAL GmbH durchgeführt.

Der abgebaute Bereich wurde entfernt. Da die Bohrwiderstands-Messungen oberhalb des abgebauten Fußbereichs keine bedeutenden Materialverluste zeigten, konnte mit dem vollen Querschnitt gerechnet werden.

Zur Abstützung der Horizontalkräfte wurden zwei 12 mm Rundeisen St 37 am oberen Eisenring der Drumstütze (angeschmiedete Schellenverbindung) und der Gebäudekonstruktion (angeschmiedete Laschenanbindung) mit je 2 10 x 60 mm Sechskant-Holzschrauben (DIN 571) in Längsrichtung montiert.

3.5 Ergebnis

Die vorhandenen Spannungen liegen deutlich unter den zulässigen Spannungen. Die zulässige Spannung der Rundeisen wird mit etwa 75 % unterschritten, die Standsicherheit ist somit gegeben.

3.6 Ausdruckprotokoll aus RSTAB 5.11

INHALT

Inhalt	1
Basisangaben	1
Strukturdaten	
Knoten	1
Materialien	1
Querschnitte	1
Stäbe	2
Auflager	2
Belastungen	
Basisangaben der Lastfälle	2
LF 1	2
LF-, LG-Ergebnisse	
Schnittgrößen stabbezogen	2
Schnittgrößen querschnittsbezogen	3
Auflagerkräfte und -momente	4
Globale Knotenverformungen	4
Globale Stabverschiebungen	4
Grafik - Ergebnisse	5

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

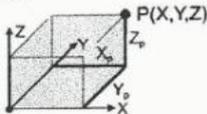
- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Statik | <input checked="" type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Nachweis | <input type="checkbox"/> Theorie II. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Dynamik | <input type="checkbox"/> Seittheorie |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lastfälle | <input type="checkbox"/> Bemessungsfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Gruppen | <input type="checkbox"/> Dynamikfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Kombinationen | <input type="checkbox"/> Knickfiguren |

STRUKTURKENNWERTE

- | | | |
|---|-----------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1D-Durchlaufträger | 6 Knoten | 5 Stäbe |
| <input type="checkbox"/> 2D-Stabwerk | 4 Materialien | 0 Seilstäbe |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3D-Stabwerk | 3 Querschnitte | 0 Voutenstäbe |
| <input type="checkbox"/> Trägerrost | 0 Stabengelenke | 0 El. gebet. Stäbe |
| | 0 Stabteilungen | 0 Stabzüge |

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinatensystem	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		
			X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch	-	0.000	0.000	2.000
3	Kartesisch	-	0.000	0.000	4.000
4	Kartesisch	-	-0.420	0.600	3.500
5	Kartesisch	-	0.420	0.600	3.500
6	Kartesisch	-	0.000	0.000	3.500

MATERIALIEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/mm ²]	Schubmodul [kN/mm ²]	Sp. Gewicht [kN/mm ³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+02	8.100E+01	7.850E-08	1.200E-05
2	Nadelholz S7	8.000E+00	5.000E-01	6.000E-09	5.000E-06
3	Stahl St 37	2.100E+02	8.100E+01	7.850E-08	1.200E-05
4	Stahl St 37	2.100E+02	8.100E+01	7.850E-08	1.200E-05

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I-T A	I-2 A-2	I-3 [mm ⁴] A-3 [mm ²]
1	2	Rechteck 450/650	1.12957e+10 292500.0	1.02984e+10	4935940000.
2	3	Kreis 12	2036. 113.1	1018.	1018.
3	4	Kreis 12	2036. 113.1	1018.	1018.

Rechteck 450/650

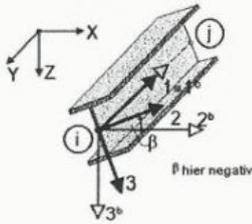


Kreis 12



Statische Berechnung Storhammer
Berechnung des Drumstütze-Ost

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten		Beta [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende			
1	Balken	1	2	0.0	1	1	-	-	-	2.000	VERT
2	Balken	2	6	0.0	1	1	-	-	-	1.500	VERT
3	Balken	6	3	0.0	1	1	-	-	-	0.500	VERT
4	Balken	5	6	0.0	3	3	-	-	-	0.732	HORI
5	Balken	4	6	0.0	3	3	-	-	-	0.732	HORI

AUFLAGER

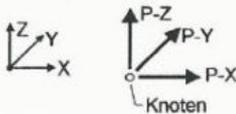
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°]		Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]					
		Alpha	Beta	in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
2	4,5	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
3	1	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja

BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1		1.00	Ständig	-

Globale Knotenkraft

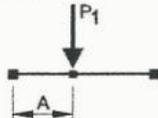


KNOTENKRÄFTE

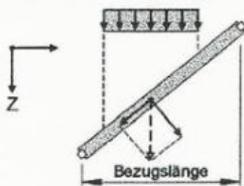
LF 1

Nr.	Belastete Knoten	P-X [kN]	Knotenkräfte P-Y [kN]	P-Z [kN]
1	2	0.500	0.500	0.000

2 - Einzellast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN

LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]		
				P-1	A	
1	2	2	Z	-10.000		0.000

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	N	Kräfte [kN]			T	Momente [kNm]		
					Q-2	Q-3			M-2	M-3	
1	LF1	1	.00	-10.00			.00				
		2	2.00	-10.00			.00			.43	.43
		Max N	.00	-10.00			.00			.00	.00
		Min N	.00	-10.00			.00			.00	.00
		Max Q-3	.00	-10.00			.00			.00	.00
		Min Q-3	.00	-10.00			.00			.00	.00
		Max M-2	2.00	-10.00			.00			.43	.43
		Min M-2	.00	-10.00			.00			.00	.00
2	LF1	2	.00	-10.00			.00			.43	.43
		rechts	.00	.00			.00			.43	.43
		6	1.50	.00			.00			.00	.00
		Max N	.00	.00			.00			.43	.43
		Min N	.00	-10.00			.00			.43	.43
		Max Q-3	.00	-10.00			.00			.43	.43
		Min Q-3	.00	-10.00			.00			.43	.43
		Max M-2	.00	-10.00			.00			.43	.43
Min M-2	1.50	.00			.00			.00	.00		
3	LF1	6	.00	.00			.00		.00	.00	
		3	.50	.00			.00		.00	.00	
		Max N	.00	.00			.00		.00	.00	.00
		Min N	.00	.00			.00		.00	.00	.00
Max Q-3	.00	.00			.00		.00	.00	.00		

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung des Drumstütze-Ost

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	N	Kräfte [kN]		T	Momente [kNm]	
					Q-2	Q-3		M-2	M-3
3	LF1	Min Q-3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Max M-2	.50	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	LF1	5	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		6	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Max N	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Min N	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Max Q-3	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Max M-2	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
5	LF1	4	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		6	.73	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Max N	.73	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Min N	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Max M-2	.73	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	N	Kräfte [kN]		T	Momente [kNm]	
					Q-2	Q-3		M-2	M-3
Querschnitt-Nr. 1: Rechteck 450/650									
1	LF1	1	.00	-10.00	-21	.21	.00	.00	.00
		2	2.00	-10.00	-21	.21	.00	.43	.43
		Max N	.00	-10.00	-21	.21	.00	.00	.00
		Min N	.00	-10.00	-21	.21	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-10.00	-21	.21	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	-10.00	-21	.21	.00	.00	.00
		Max M-2	2.00	-10.00	-21	.21	.00	.43	.43
		Min M-2	.00	-10.00	-21	.21	.00	.00	.00
2	LF1	rechts	.00	-10.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		6	1.50	.00	.29	-.29	.00	.00	.00
		Max N	.00	.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		Min N	.00	-10.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		Max Q-3	.00	-10.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		Min Q-3	.00	-10.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		Max M-2	.00	-10.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		Min M-2	1.50	.00	.29	-.29	.00	.00	.00
3	LF1	6	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		3	.50	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Max N	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Max M-2	.50	.00	.00	.00	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	LF1	MAX N	.00	.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		MIN N	.00	-10.00	.21	-.21	.00	.00	.00
		MAX Q-3	.00	-10.00	.21	-.21	.00	.00	.00
		MIN Q-3	.00	-10.00	.29	-.29	.00	.43	.43
		MAX M-2	2.00	-10.00	.21	-.21	.00	.43	.43
		MIN M-2	.00	-10.00	.21	-.21	.00	.00	.00
Querschnitt-Nr. 3: Kreis 12									
4	LF1	5	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		6	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Max N	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Min N	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Max Q-3	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Max M-2	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
5	LF1	4	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		6	.73	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Max N	.73	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Min N	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Max M-2	.73	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00
5	LF1	MAX N	.73	.07	.00	.00	.00	.00	.00
		MIN N	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		MAX Q-3	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		MIN Q-3	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		MAX M-2	.73	-42	.00	.00	.00	.00	.00
		MIN M-2	.00	-42	.00	.00	.00	.00	.00

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung des Drumstütze-Ost

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN]			Auflagermomente [kNm]		
		P-X	P-Y	P-Z	M-X	M-Y	M-Z
1	LF1	.214	.214	-10.000	.000	.000	.000
4	LF1	.043	-.061	.000	.000	.000	.000
5	LF1	.243	.347	.000	.000	.000	.000
ΣLasten	LF1	.500	.500	-10.000			
ΣKräfte		.500	.500	-10.000			

Globale Knotenverformungen

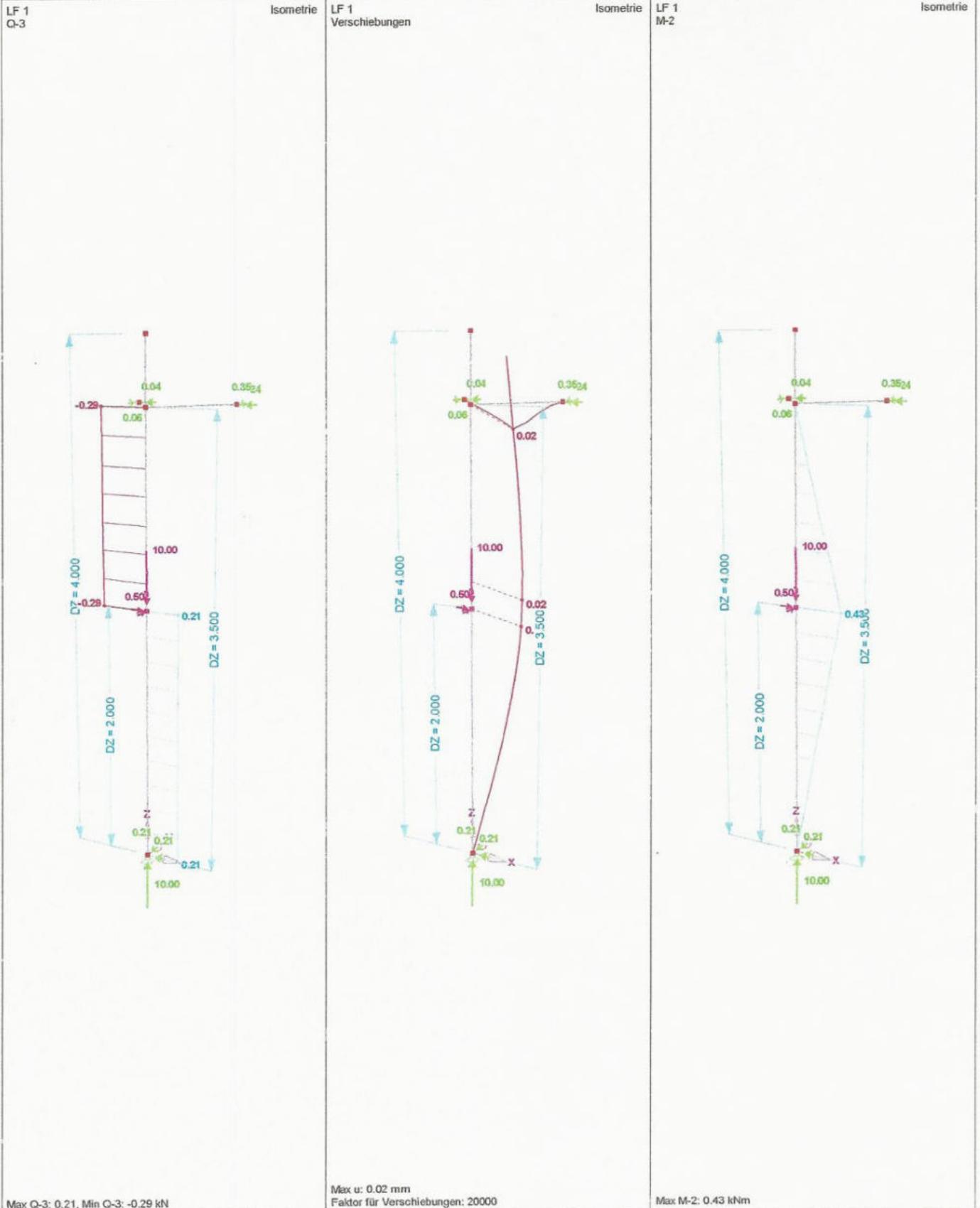
Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Verschiebungen [mm]			Verdrehungen [mrad]		
		u-X	u-Y	u-Z	φ-X	φ-Y	φ-Z
1	LF1	.00000	.00000	.00000	-.01092	.00816	.00000
2	LF1	.01285	.01460	-.00855	-.00007	.00296	.00002
3	LF1	.01292	.00253	-.00855	.00807	-.00094	.00003
4	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
5	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
6	LF1	.01339	.00656	-.00855	.00807	-.00094	.00003
Maxi	LF1	.01339	.01460	.00000	.00807	.00816	.00003
Mini	LF1	.00000	.00000	-.00855	-.01092	-.00094	.00000

Globale Stabverschiebungen

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm]		
				u-X	u-Y	u-Z
1	LF1	1	.00	.00000	.00000	.00000
		2	2.00	.01285	.01460	-.00855
2	LF1	2	.00	.01285	.01460	-.00855
		6	1.50	.01339	.00656	-.00855
3	LF1	6	.00	.01339	.00656	-.00855
		3	.50	.01292	.00253	-.00855
4	LF1	5	.00	.00000	.00000	.00000
		6	.73	.01339	.00656	-.00855
5	LF1	4	.00	.00000	.00000	.00000
		6	.73	.01339	.00656	-.00855

Statische Berechnung Storhammer
 Berechnung des Drumstütze-Ost

ERGEBNISSE

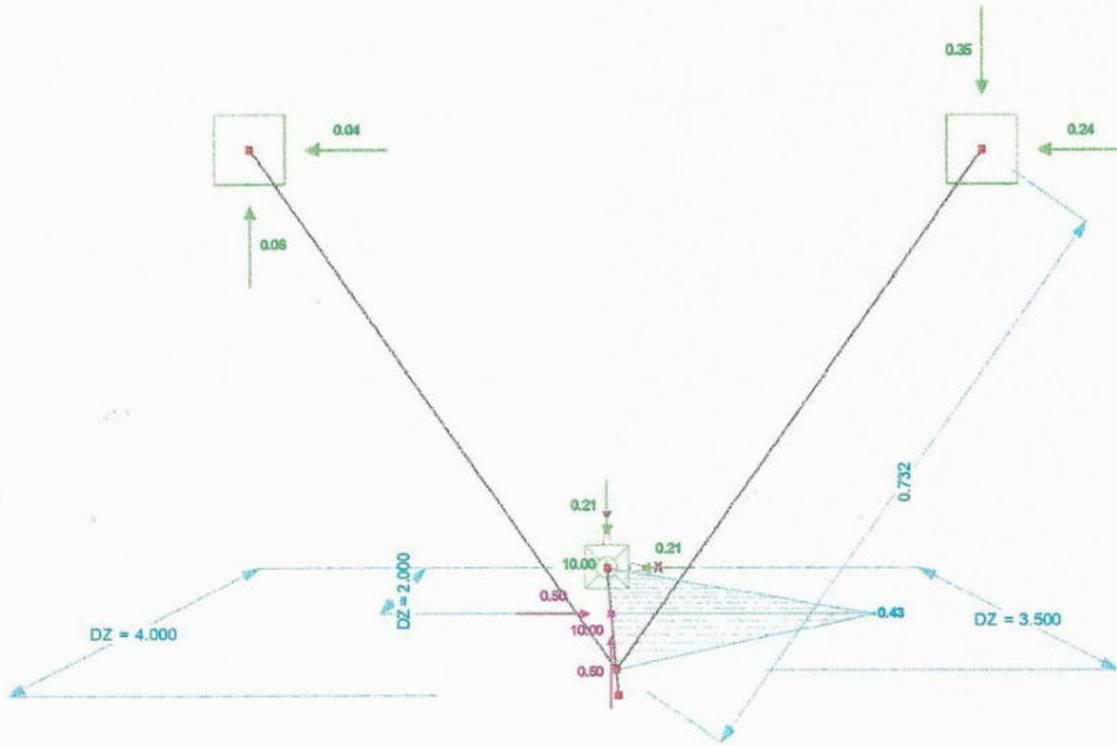


Statische Berechnung Storhammer
Berechnung des Drumstütze-Ost

ERGEBNISSE

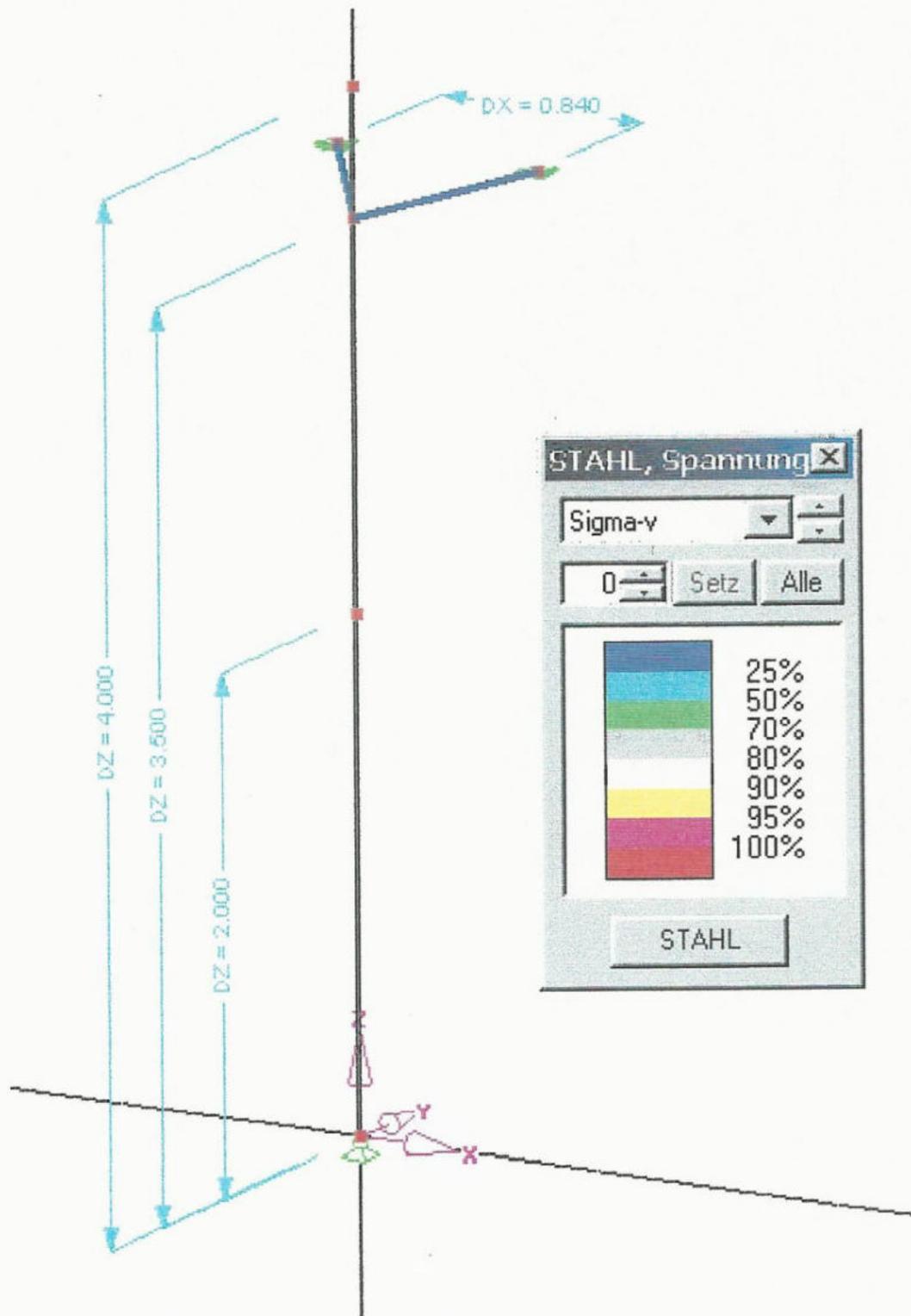
LF 1
Schnittgrößen M-2
Auflagerreaktionen

Entgegen der Z-Richtung



Max M-2: 0.43 kNm

Spannungsanalyse mit Zusatzmodul *Stahl-Spannung* für die Stahlstreben



4 Statische Berechnung Storhammer

4.1 Berechnung Beispiel Träger aus Quadratrohr 120 x 8 mm, Ausdruckprotokoll aus RSTAB 5.11

Inhalt	1
Basisangaben	1
Strukturdaten	
Knoten	1
Materialien	1
Querschnitte	1
Stäbe	1
Auflager	2
Belastungen	
Basisangaben der Lastfälle	2
LF 1 - Eigenlast, Welle, Wasserrad, Nockenrad	2
LF-, LG-Ergebnisse	
Schnittgrößen stabbezogen	2
Schnittgrößen querschnittsbezogen	3
Auflagerkräfte und -momente	4
Globale Knotenverformungen	5
Globale Stabverschiebungen	5
Grafik - Ergebnisse	6

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

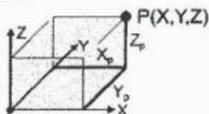
- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Statik | <input checked="" type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Nachweis | <input type="checkbox"/> Theorie II. Ordnung |
| <input type="checkbox"/> Dynamik | <input type="checkbox"/> Seiltheorie |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lastfälle | <input type="checkbox"/> Bemessungsfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Gruppen | <input type="checkbox"/> Dynamikfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Kombinationen | <input type="checkbox"/> Knickfiguren |

STRUKTURKENNWERTE

- | | | |
|---|-----------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1D-Durchlaufträger | 9 Knoten | 10 Stäbe |
| <input type="checkbox"/> 2D-Stabwerk | 2 Materialien | 0 Seilstäbe |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3D-Stabwerk | 1 Querschnitte | 0 Voutenstäbe |
| <input type="checkbox"/> Trägerrost | 0 Stabengelenke | 0 El. gebet. Stäbe |
| | 0 Stabteilungen | 0 Stabzüge |

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinatensystem	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		
			X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	8.900	0.000	0.000
3	Kartesisch Gelagert	-	3.500	0.000	0.000
4	Kartesisch	-	0.930	0.000	0.000
5	Kartesisch	-	0.930	0.000	-0.250
6	Kartesisch	-	0.700	0.000	0.000
7	Kartesisch	-	2.630	0.000	-0.250
8	Kartesisch	-	2.630	0.000	0.000
9	Kartesisch	-	2.880	0.000	0.000

MATERIALIEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/mm ²]	Schubmodul [kN/mm ²]	Sp. Gewicht [kN/mm ³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+02	8.100E+01	7.850E-08	1.200E-05
2	Stahl St 37	2.100E+02	8.100E+01	7.850E-08	1.200E-05

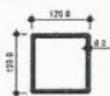
QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I-T A	I-2 A-2	I-3 [mm ⁴] A-3 [mm ²]
1	2	QRO 120x8	1150000. 3490.0	7200000.	7200000.

STÄBE

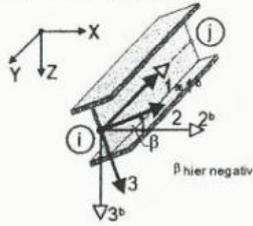
Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten		Beta [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende			
1	Balken	1	6	0.0	1	1	-	-	-	0.700	HORI

QRO 120x8



Statische Berechnung Storhammer
Berechnung Beispiel Träger aus Quadratrohr 120 x 8 mm

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten		Beta [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende			
2	Balken	2	3	0.0	1	1	-	-	-	5.400	HORI
3	Balken	4	5	0.0	1	1	-	-	-	0.250	VERT
4	Balken	5	7	0.0	1	1	-	-	-	1.700	HORI
5	Balken	7	8	0.0	1	1	-	-	-	0.250	VERT
6	Balken	8	9	0.0	1	1	-	-	-	0.250	HORI
7	Balken	6	4	0.0	1	1	-	-	-	0.230	HORI
8	Balken	9	3	0.0	1	1	-	-	-	0.620	HORI
9	Balken	6	5	0.0	1	1	-	-	-	0.340	ALLG
10	Balken	7	9	0.0	1	1	-	-	-	0.354	ALLG

AUFLAGER

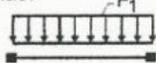
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°]		Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]					
		Alpha	Beta	in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
2	2,3	0.0	0.0	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja

BELASTUNG

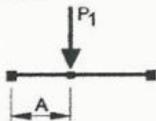
BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigenlast, Welle, Wasserrad, Nockenrad	1.00	Ständig	-1.00

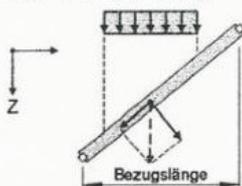
1- Linienlast



2 - Einzellast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN

LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]		
				P-1	A	
1	1,2,7	1	Z	-3.056		
2	2	2	Z	-9.710	0.160	
4	3-6,8	1	Z	-3.056		
5	4	2	Z	-24.700	0.900	

SNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
				N	Q-2	Q-3	T	M-2	M-3
1	LF1	1	.00	.00	.00	13.79	.00	.00	.00
		6	.70	.00	.00	11.46	.00	8.84	.00
		Max N	.00	.00	.00	13.79	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	13.79	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	13.79	.00	.00	.00
		Min Q-3	.70	.00	.00	11.46	.00	8.84	.00
		Max M-2	.70	.00	.00	11.46	.00	8.84	.00
Min M-2	.00	.00	.00	13.79	.00	.00	.00		
2	LF1	2	.00	.00	.00	15.34	.00	.00	.00
		links	.16	.00	.00	14.81	.00	2.41	.00
		rechts	.16	.00	.00	5.10	.00	2.41	.00
		3	5.40	.00	.00	-12.35	.00	-16.57	.00
		Max N	.00	.00	.00	15.34	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	15.34	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	15.34	.00	.00	.00
Min Q-3	5.40	.00	.00	-12.35	.00	-16.57	.00		
Max M-2	1.62	.00	.00	.24	.00	6.31	.00		
Min M-2	5.40	.00	.00	-12.35	.00	-16.57	.00		
3	LF1	4	.00	-30.41	.00	31.54	.00	-1.05	.00
		5	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00
		Max N	.00	-30.41	.00	31.54	.00	-1.05	.00
		Min N	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00
		Max Q-3	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung Beispiel Träger aus Quadratrohr 120 x 8 mm

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			T	Momente [kNm]	
				N	Q-2	Q-3		M-2	M-3
3	LF1	Min Q-3	.00	-30.41	.00	31.54*	.00	-1.05	.00
		Max M-2	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83*	.00
		Min M-2	.00	-30.41	.00	31.54	.00	-1.05*	.00
4	LF1	5	.00	.00	.00	9.77	.00	11.37	.00
		links	.90	.00	.00	6.77	.00	18.81	.00
		rechts	.90	.00	.00	-17.93	.00	18.81	.00
		7	1.70	.00	.00	-20.60	.00	3.40	.00
		Max N	.00	.00*	.00	9.77	.00	11.37	.00
		Min N	.00	.00*	.00	9.77	.00	11.37	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	9.77*	.00	11.37	.00
		Min Q-3	1.70	.00	.00	-20.60*	.00	3.40	.00
		Max M-2	.90	.00	.00	6.77	.00	18.81*	.00
		Min M-2	1.70	.00	.00	-20.60	.00	3.40*	.00
5	LF1	7	.00	2.95	.00	-4.47	.00	1.37	.00
		8	.25	3.79	.00	-4.47	.00	.25	.00
		Max N	.25	3.79*	.00	-4.47	.00	.25	.00
		Min N	.00	2.95*	.00	-4.47	.00	1.37	.00
		Max Q-3	.25	3.79	.00	-4.47*	.00	.25	.00
		Min Q-3	.00	2.95	.00	-4.47*	.00	1.37	.00
		Max M-2	.00	2.95	.00	-4.47	.00	1.37*	.00
		Min M-2	.25	3.79	.00	-4.47	.00	.25*	.00
6	LF1	8	.00	-4.47	.00	-3.79	.00	.25	.00
		9	.25	-4.47	.00	-4.62	.00	-.80	.00
		Max N	.25	-4.47*	.00	-4.62	.00	-.80	.00
		Min N	.00	-4.47*	.00	-3.79	.00	.25	.00
		Max Q-3	.00	-4.47	.00	-3.79*	.00	.25	.00
		Min Q-3	.25	-4.47	.00	-4.62*	.00	-.80	.00
		Max M-2	.00	-4.47	.00	-3.79	.00	.25*	.00
		Min M-2	.25	-4.47	.00	-4.62	.00	-.80*	.00
7	LF1	6	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		4	.23	-31.54	.00	-30.41	.00	-1.05	.00
		Max N	.00	-31.54*	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		Min N	.00	-31.54*	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		Max Q-3	.00	-31.54	.00	-29.64*	.00	5.85	.00
		Min Q-3	.23	-31.54	.00	-30.41*	.00	-1.05	.00
		Max M-2	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85*	.00
		Min M-2	.23	-31.54	.00	-30.41	.00	-1.05*	.00
8	LF1	9	.00	.00	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		3	.62	.00	.00	-24.42	.00	-16.57	.00
		Max N	.00	.00*	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		Min N	.00	.00*	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	-22.36*	.00	-2.07	.00
		Min Q-3	.62	.00	.00	-24.42*	.00	-16.57	.00
		Max M-2	.00	.00	.00	-22.36	.00	-2.07*	.00
		Min M-2	.62	.00	.00	-24.42	.00	-16.57*	.00
9	LF1	6	.00	51.60	.00	4.62	.00	2.98	.00
		5	.34	51.53	.00	4.56	.00	4.54	.00
		Max N	.00	51.60*	.00	4.62	.00	2.98	.00
		Min N	.34	51.53*	.00	4.56	.00	4.54	.00
		Max Q-3	.00	51.60	.00	4.62*	.00	2.98	.00
		Min Q-3	.34	51.53	.00	4.56*	.00	4.54	.00
		Max M-2	.34	51.53	.00	4.56	.00	4.54*	.00
		Min M-2	.00	51.60	.00	4.62	.00	2.98*	.00
10	LF1	7	.00	15.64	.00	-9.31	.00	2.04	.00
		9	.35	15.70	.00	-9.38	.00	-1.27	.00
		Max N	.35	15.70*	.00	-9.38	.00	-1.27	.00
		Min N	.00	15.64*	.00	-9.31	.00	2.04	.00
		Max Q-3	.00	15.64	.00	-9.31*	.00	2.04	.00
		Min Q-3	.35	15.70	.00	-9.38*	.00	-1.27	.00
		Max M-2	.00	15.64	.00	-9.31	.00	2.04*	.00
		Min M-2	.35	15.70	.00	-9.38	.00	-1.27*	.00

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			T	Momente [kNm]	
				N	Q-2	Q-3		M-2	M-3
Querschnitt-Nr. 1: QRO 120x8									
1	LF1	1	.00	.00	.00	13.79	.00	.00	.00
		6	.70	.00	.00	11.46	.00	8.84	.00
		Max N	.00	.00*	.00	13.79	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00*	.00	13.79	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	13.79*	.00	.00	.00
		Min Q-3	.70	.00	.00	11.46*	.00	8.84	.00
		Max M-2	.70	.00	.00	11.46	.00	8.84*	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	13.79	.00	.00*	.00
2	LF1	2	.00	.00	.00	15.34	.00	.00	.00
		links	.16	.00	.00	14.81	.00	2.41	.00
		rechts	.16	.00	.00	5.10	.00	2.41	.00
		3	5.40	.00	.00	-12.35	.00	-16.57	.00
		Max N	.00	.00*	.00	15.34	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00*	.00	15.34	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	15.34*	.00	.00	.00
		Min Q-3	5.40	.00	.00	-12.35*	.00	-16.57	.00
Max M-2	1.62	.00	.00	.24	.00	6.31*	.00		

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung Beispiel Träger aus Quadratrohr 120 x 8 mm

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
				N	Q-2	Q-3	T	M-2	M-3
2	LF1	Min M-2	5.40	.00	.00	-12.35	.00	-16.57	.00
3	LF1	4	.00	-30.41	.00	31.54	.00	-1.05	.00
		5	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00
		Max N	.00	-30.41	.00	31.54	.00	-1.05	.00
		Min N	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00
		Max Q-3	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00
		Min Q-3	.00	-30.41	.00	31.54	.00	-1.05	.00
		Max M-2	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00
		Min M-2	.00	-30.41	.00	31.54	.00	-1.05	.00
4	LF1	5	.00	.00	.00	9.77	.00	11.37	.00
		links	.90	.00	.00	6.77	.00	18.81	.00
		rechts	.90	.00	.00	-17.93	.00	18.81	.00
		7	1.70	.00	.00	-20.60	.00	3.40	.00
		Max N	.00	.00	.00	9.77	.00	11.37	.00
		Min N	.00	.00	.00	9.77	.00	11.37	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	9.77	.00	11.37	.00
		Min Q-3	1.70	.00	.00	-20.60	.00	3.40	.00
Max M-2	.90	.00	.00	6.77	.00	18.81	.00		
Min M-2	1.70	.00	.00	-20.60	.00	3.40	.00		
5	LF1	7	.00	2.95	.00	-4.47	.00	1.37	.00
		8	.25	3.79	.00	-4.47	.00	.25	.00
		Max N	.25	3.79	.00	-4.47	.00	.25	.00
		Min N	.00	2.95	.00	-4.47	.00	1.37	.00
		Max Q-3	.25	3.79	.00	-4.47	.00	.25	.00
		Min Q-3	.00	2.95	.00	-4.47	.00	1.37	.00
		Max M-2	.00	2.95	.00	-4.47	.00	1.37	.00
		Min M-2	.25	3.79	.00	-4.47	.00	.25	.00
6	LF1	8	.00	-4.47	.00	-3.79	.00	.25	.00
		9	.25	-4.47	.00	-4.62	.00	-0.80	.00
		Max N	.25	-4.47	.00	-4.62	.00	-0.80	.00
		Min N	.00	-4.47	.00	-3.79	.00	.25	.00
		Max Q-3	.00	-4.47	.00	-3.79	.00	.25	.00
		Min Q-3	.25	-4.47	.00	-4.62	.00	-0.80	.00
		Max M-2	.00	-4.47	.00	-3.79	.00	.25	.00
		Min M-2	.25	-4.47	.00	-4.62	.00	-0.80	.00
7	LF1	6	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		4	.23	-31.54	.00	-30.41	.00	-1.05	.00
		Max N	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		Min N	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		Max Q-3	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		Min Q-3	.23	-31.54	.00	-30.41	.00	-1.05	.00
		Max M-2	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85	.00
		Min M-2	.23	-31.54	.00	-30.41	.00	-1.05	.00
8	LF1	9	.00	.00	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		3	.62	.00	.00	-24.42	.00	-16.57	.00
		Max N	.00	.00	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		Min N	.00	.00	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		Min Q-3	.62	.00	.00	-24.42	.00	-16.57	.00
		Max M-2	.00	.00	.00	-22.36	.00	-2.07	.00
		Min M-2	.62	.00	.00	-24.42	.00	-16.57	.00
9	LF1	6	.00	51.60	.00	4.62	.00	2.98	.00
		5	.34	51.53	.00	4.56	.00	4.54	.00
		Max N	.00	51.60	.00	4.62	.00	2.98	.00
		Min N	.34	51.53	.00	4.56	.00	4.54	.00
		Max Q-3	.00	51.60	.00	4.62	.00	2.98	.00
		Min Q-3	.34	51.53	.00	4.56	.00	4.54	.00
		Max M-2	.34	51.53	.00	4.56	.00	4.54	.00
		Min M-2	.00	51.60	.00	4.62	.00	2.98	.00
10	LF1	7	.00	15.64	.00	-9.31	.00	2.04	.00
		9	.35	15.70	.00	-9.38	.00	-1.27	.00
		Max N	.35	15.70	.00	-9.38	.00	-1.27	.00
		Min N	.00	15.64	.00	-9.31	.00	2.04	.00
		Max Q-3	.00	15.64	.00	-9.31	.00	2.04	.00
		Min Q-3	.35	15.70	.00	-9.38	.00	-1.27	.00
		Max M-2	.00	15.64	.00	-9.31	.00	2.04	.00
		Min M-2	.35	15.70	.00	-9.38	.00	-1.27	.00
9	LF1	MAX N	.00	51.60	.00	4.62	.00	2.98	.00
7	LF1	MIN N	.00	-31.54	.00	-29.64	.00	5.85	.00
3	LF1	MAX Q-3	.25	-31.24	.00	31.54	.00	6.83	.00
7	LF1	MIN Q-3	.23	-31.54	.00	-30.41	.00	-1.05	.00
4	LF1	MAX M-2	.90	.00	.00	6.77	.00	18.81	.00
2	LF1	MIN M-2	5.40	.00	.00	-12.35	.00	-16.57	.00

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN]			Auflagermomente [kNm]		
		P-X	P-Y	P-Z	M-X	M-Y	M-Z
1	LF1	.000	.000	-13.788	.000	.000	.000
2	LF1	.000	.000	-15.344	.000	.000	.000
3	LF1	.000	.000	-36.769	.000	.000	.000
ΣLasten	LF1	.000	.000	-65.902			
ΣKräfte		.000	.000	-65.902			

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung Beispiel Träger aus Quadratrohr 120 x 8 mm

Globale Knotenverformungen

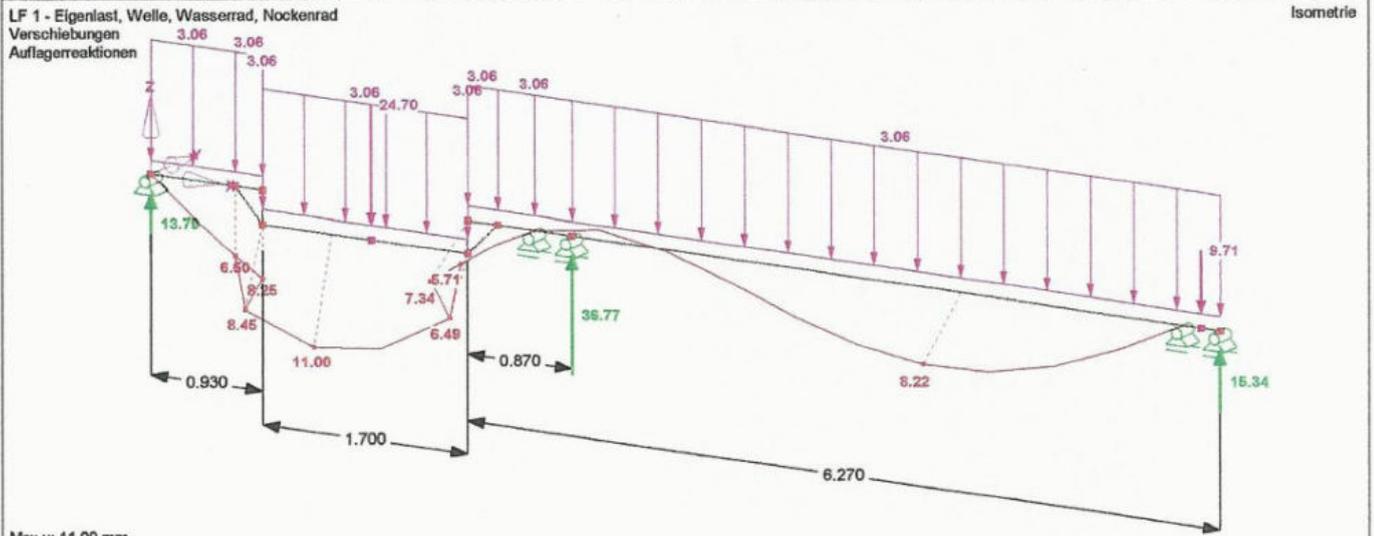
Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Verschiebungen [mm]			Verdrehungen [mrad]		
		u-X	u-Y	u-Z	φ -X	φ -Y	φ -Z
1	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	9.99895	.00000
2	LF1	-3.89096	.00000	.00000	.00000	-6.35347	.00000
3	LF1	-3.89096	.00000	.00000	.00000	-4.35505	.00000
4	LF1	-.00990	.00000	-8.25244	.00000	7.52314	.00000
5	LF1	-1.85811	.00000	-8.24192	.00000	7.04528	.00000
6	LF1	.00000	.00000	-6.49999	.00000	7.89065	.00000
7	LF1	-1.85811	.00000	-6.22224	.00000	-8.04320	.00000
8	LF1	-3.88943	.00000	-6.22109	.00000	-8.17659	.00000
9	LF1	-3.89096	.00000	-4.17870	.00000	-8.13357	.00000
Maxi	LF1	.00000	.00000	.00000	.00000	9.99895	.00000
Mini	LF1	-3.89096	.00000	-8.25244	.00000	-8.17659	.00000

Globale Stabverschiebungen

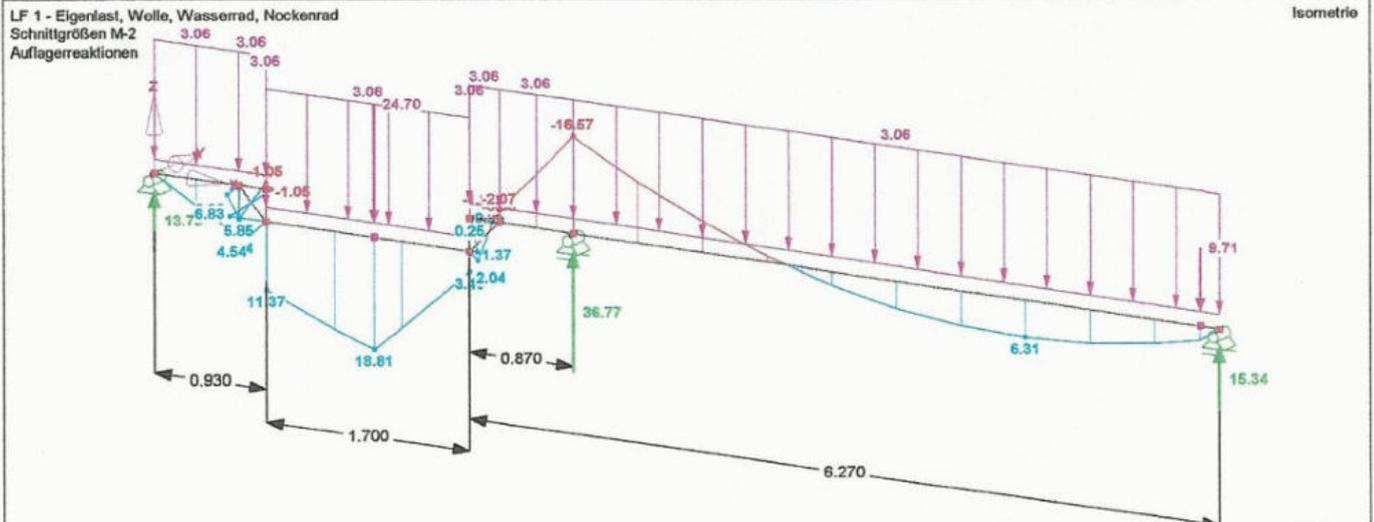
Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm]		
				u-X	u-Y	u-Z
1	LF1	1	.00	.00000	.00000	.00000
		6	.70	.00000	.00000	-6.49999
2	LF1	2	.00	-3.89096	.00000	.00000
		3	5.40	-3.89096	.00000	.00000
3	LF1	4	.00	-.00990	.00000	-8.25244
		5	.25	-1.85811	.00000	-8.24192
4	LF1	5	.00	-1.85811	.00000	-8.24192
		7	1.70	-1.85811	.00000	-6.22224
5	LF1	7	.00	-1.85811	.00000	-6.22224
		8	.25	-3.88943	.00000	-6.22109
6	LF1	8	.00	-3.88943	.00000	-6.22109
		9	.25	-3.89096	.00000	-4.17870
7	LF1	6	.00	.00000	.00000	-6.49999
		4	.23	-.00990	.00000	-8.25244
8	LF1	9	.00	-3.89096	.00000	-4.17870
		3	.62	-3.89096	.00000	.00000
9	LF1	6	.00	.00000	.00000	-6.49999
		5	.34	-1.85811	.00000	-8.24192
10	LF1	7	.00	-1.85811	.00000	-6.22224
		9	.35	-3.89096	.00000	-4.17870

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung Beispiel Träger aus Quadratrohr 120 x 8 mm

ERGEBNISSE

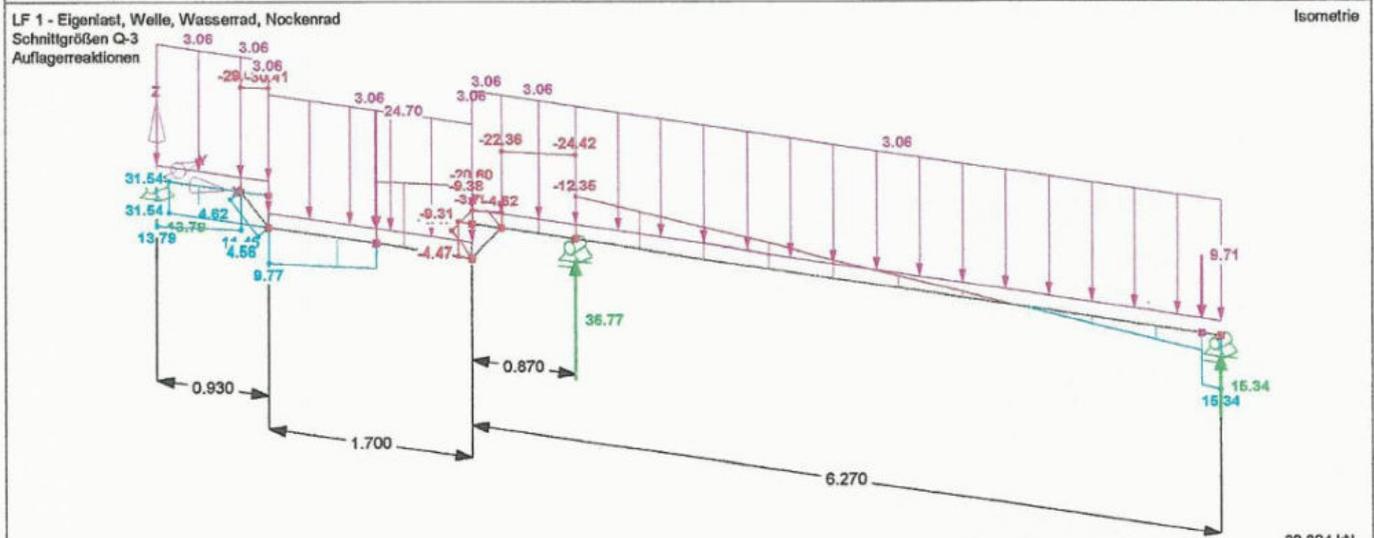


Max u: 11.00 mm
Faktor für Verschiebungen: 80



Max M-2: 18.81, Min M-2: -16.57 kNm

12.394 kNm



Max Q-3: 31.54, Min Q-3: -30.41 kN

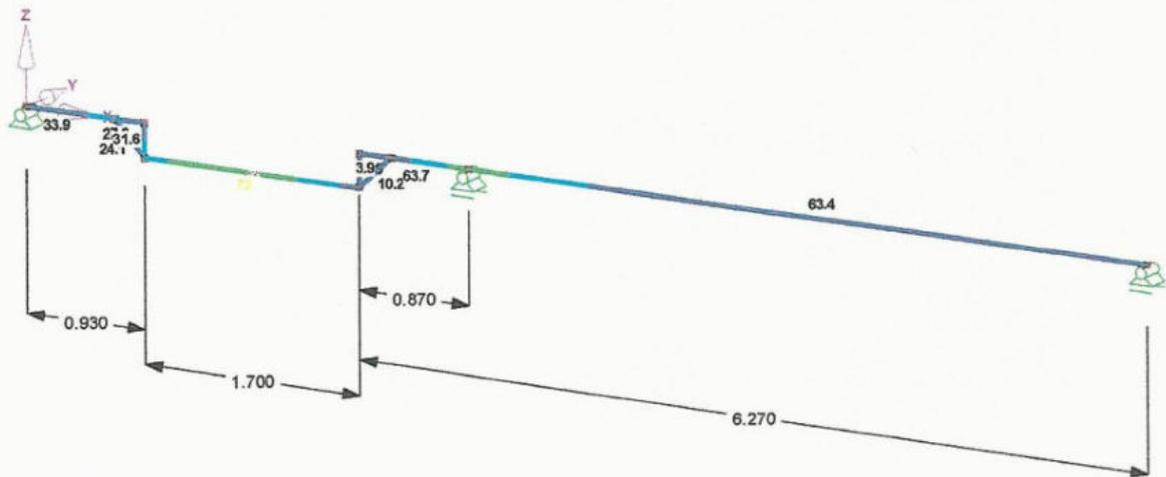
20.804 kN

Statische Berechnung Storhammer
Berechnung Beispiel Träger aus Quadratrohr 120 x 8 mm

SPANNUNGS-AUSNUTZUNG

STAHL1 - Spannungsanalyse
Sigma-v

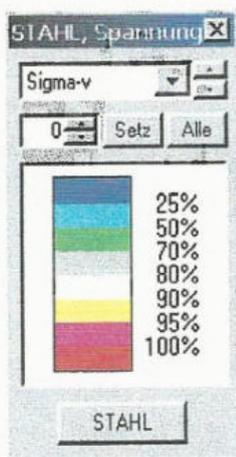
Isometrie



Max = 72%

QUERSCHNITT:

Quadratrohr 120 x 8 mm, Stahl St 37



1.1 Verschiedene Varianten von Längsträgern zur Unterstützung der Radwelle
(Darstellung im Querschnitt)

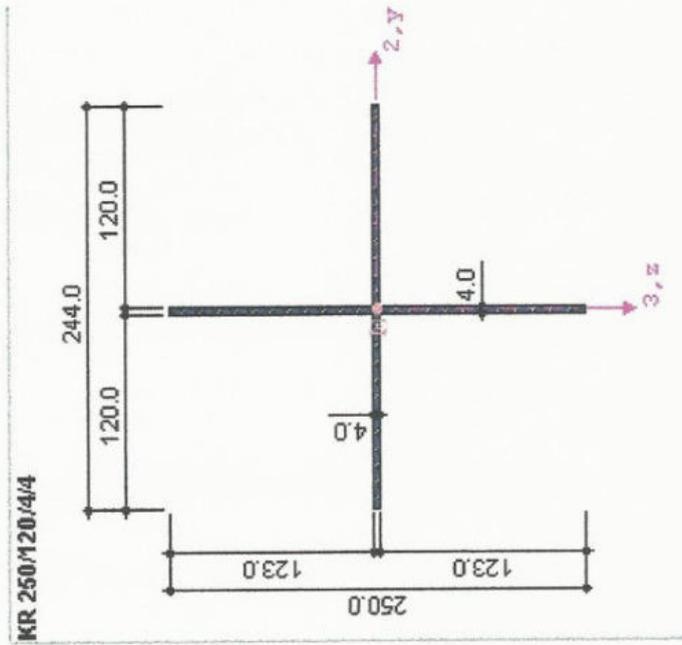
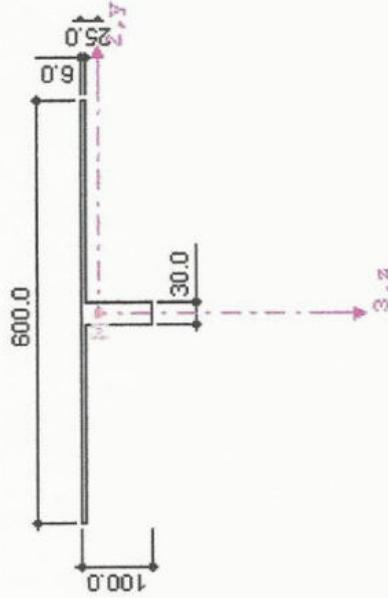


Abbildung 2: 4 Kreuzblechträger aus Edelstahl, Bleche geschweißt, Maße in mm liegen im innern der Welle zwischen den 9 Balken, somit ohne Stützen

PB 100/600/6/30



**Abbildung 1: geschweißter Baustahlträger, Maße in mm
Flachisensteg mit aufgesetztem Blech zur flächigen Lastaufnahme
Zusätzlich vertikale Stützen siehe Abbildung 5**

Kasten(A) 600/6/6/198/100/221/20

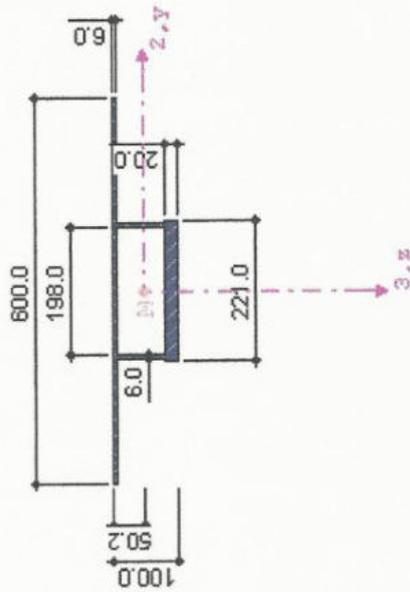


Abbildung 3: geschweißter Baustahlträger, Maße in mm ohne Stützen

QRO 120x8

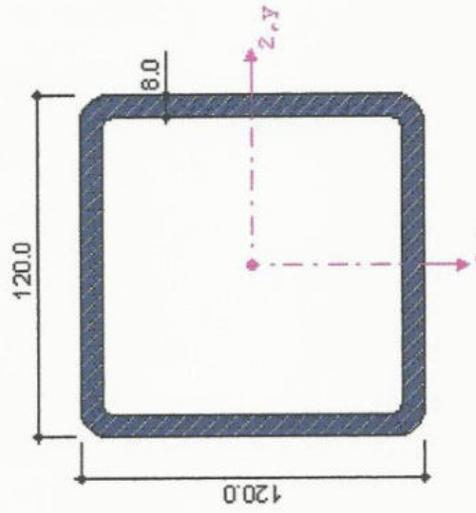


Abbildung 4: Baustahlträger aus Kastenprofil, Maße in mm
Mit aufgesetztem Blech wie Abbildung 1 (nicht dargestellt)
Zusätzlich vertikale Stützen siehe Abbildung 5

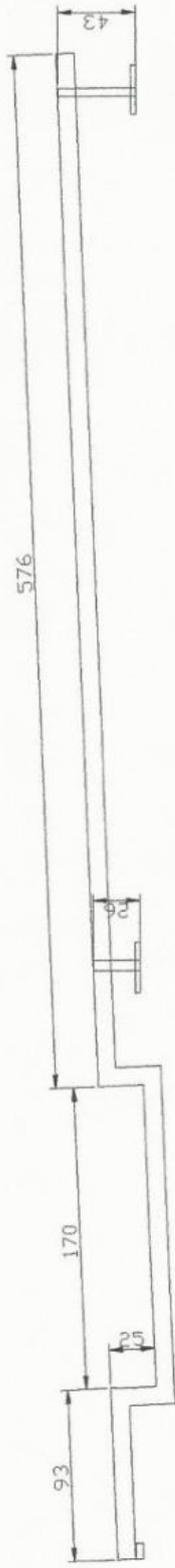


Abbildung 5: Seitenansicht Träger zur Unterstüztung der Welle, Maße in cm

Anhang V

Verzeichnis

1. Protokoll der Bodenanalysen
2. Diagramme zu eingelagerten Substanzen in den Holzzellen
3. Bescheinigung des Imprägnierwerks
4. Angebote FEM Design und MORKAS

Bohrlochmessungen Næs Jernverk, 24.-25. Mai 2002

Hammer außen Mitte Ost (HaMO):

HaMO 1: 10 cm

HaMO 2: 20 cm

HaMO 3: 70 cm

HaMO 4: 120 cm

bei 125 cm Wasser (Lichtlot)

HaMO 5: etwa 140 cm

Hammer außen Südost (HaSO):

HaSO 1: 20 cm

HaSO 2: 50 cm

HaSO 3: 80 cm

HaSO 4: 170 cm

bei 210 cm Wasser

Hammer außen Nordost (HaNO):

HaNO 1: 20 cm

HaNO 2: 70 cm

HaNO 3: 90 cm

HaNO 4: 120 cm

bei 155 cm Wasser

Hammer außen Nordest oben (HaNOo):

HaNOo 1: 20 cm

HaNOo 2: 100 cm

HaNOo 3: 120 cm

Stein (Fels) bei 140 cm

Hammer innen Nord (HiN):

HiN 1: 20 cm

HiN 2: 30 cm

HiN 3: 80 cm

HiN 4: 100 cm

HiN 5: 120 cm

bei 110 cm Wasser

Hammer innen Mitte (HiM):

HiM 1: 20 cm

HiM 2: 70 cm

HiM 3: 110 cm

Stein (Fels) bei 120 cm

Hammer innen Süd (HiS):

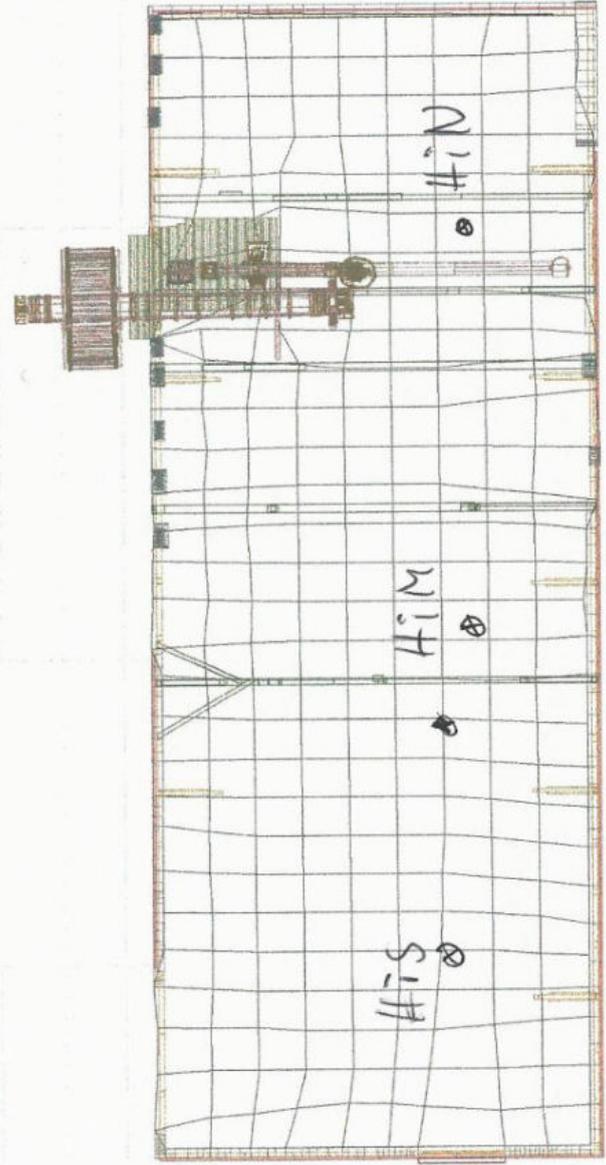
HiS 1: 20 cm

HiS 2: 40 cm

HiS 3: 120 cm

Stein (Fels) bei 130 cm

0.8 4.25 10.15 3.12 6.12 3.24 6.5



12.15 2.51 2.58 7.07

⊕ HaN00

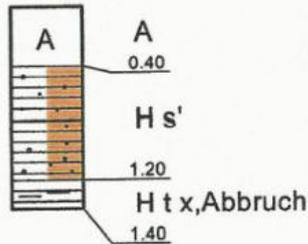
21.07 34.18 6.77 2.2 4.21

⊕ HaM0 HaN0

HaS0 →

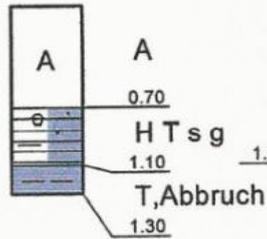
HiS

0.00 m



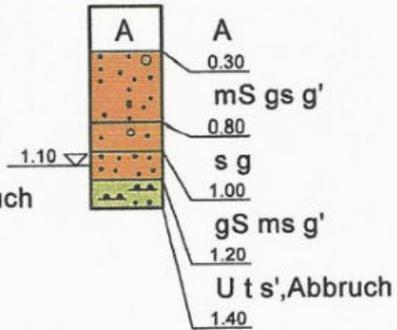
HiM

0.00 m



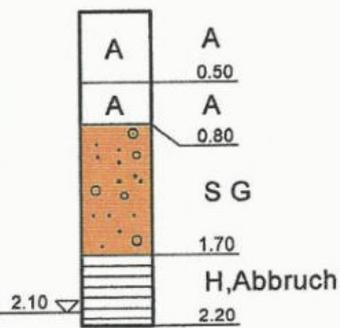
HiN

0.00 m



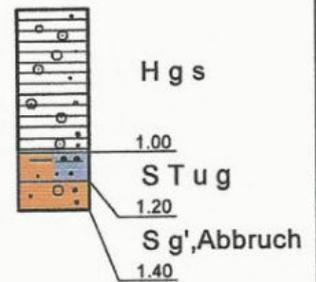
HaSO

0.00 m



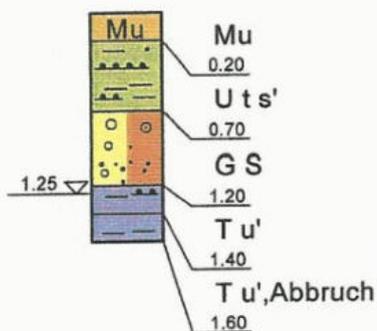
HaNOo

0.00 m



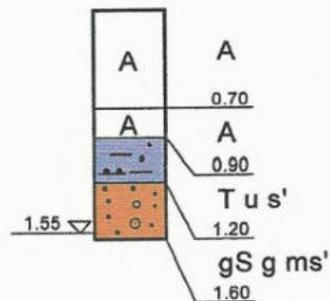
HaMO

0.00 m



HaNo

0.00 m



Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bericht:

Anlage:

Vorhaben: Hammerwerk/ Ansprache der Proben

Bohrung **HaNo** / Blatt: 1

Höhe: 0.00 m

Datum:

10.06.02

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe	i) Kalk-gehalt				
0.70	a) Auffüllung: H,s,g							
	b)							
			e) dunkelbraun					
			h)	i) 0				
0.90	a) Auffüllung: s,x*,u,h							
	b)							
			e) dunkelbraun					
			h)	i) 0				
1.20	a) Ton schluffig gering sandig							
	b)							
	c) weich plastisch		e) graugrün					
			h)	i) 0				
1.60	a) Grobsand kiesig gering mittelsandig							
	b) Bohrabbruch							
	c) scharf		e) graubunt					
			h)	i) 0				
	a)							
	b)							
			e)					
			h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Report: _____

Attachment: _____

Vorhaben: Hammerwerk/ Ansprache der Proben

Bohrung **HiN** / Blatt: 1

Höhe: 0.00 m

Datum:

10.06.02

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0.30	a) Auffüllung: S,g,u-							
	b)							
			e) graubraun					
			h)	i) 0				
0.80	a) Mittelsand grobsandig etwas kiesig, schwach humos							
	b)							
	c) scharfkantig		e)					
			h)	i) 0				
1.00	a) Sand kiesig, schwach humos							
	b)							
	c) scharfkantig		e) dunkelgrau					
			h)	i) 0				
1.20	a) Grobsand mittelsandig etwas kiesig							
	b)							
	c) naß scharf		e)					
			h)	i) 0				
1.40	a) Schluff tonig gering sandig							
	b) Borabbruch							
	c) weich		e) graugrün					
			h)	i) 0				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekerneten Proben

Report: _____

Anlage: _____

Vorhaben: Hammerwerk/ Ansprache der Proben

Bohrung **HiS** / Blatt: 1

Höhe: 0.00 m

Datum:

10.06.02

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0.40	a) Auffüllung: S,H,g							
	b)							
			e) dunkelbraun					
				i) 0				
1.20	a) Humus, gering sandig (zersetztes Holz?)							
	b)							
			e) dunkelbraun					
				i) 0				
1.40	a) Humus tonig steinig (zersetztes Holz?)							
	b) bei 1,30 m Fels Borabbruch							
			e) dunkelbraun					
				i) 0				
	a)							
	b)							
			e)					
				i)				
	a)							
	b)							
			e)					
				i)				

¹⁾ Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bericht:

Anlage:

Vorhaben: Hammerwerk/ Ansprache der Proben

Bohrung **HaSO** / Blatt: 1

Höhe: 0.00 m

Datum:

10.06.02

1	2				3	4	5	6		
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben				
	b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang						e) Farbe	
	f) Übliche Benennung		g) Geologische Benennung ¹⁾						h) ¹⁾ Gruppe	
0.50	a) Auffüllung: H,stellenw. x, Bauschutt									
	b)									
	c)		d)		e) dunkelbraun					
	f)		g)		h)		i) 0			
0.80	a) Auffüllung:H,x, Bauschutt									
	b)									
	c)		d)		e) dunkelbraun					
	f)		g)		h)		i) 0			
1.70	a) Sand + Kies, humos (Auffüllung?)									
	b)									
	c)		d)		e) braun					
	f)		g)		h)		i) 0			
2.20	a) Humus (zersetztes Holz)									
	b) Wasser bei 2.10 m Bohrabbruch									
	c)		d)		e) schwarz					
	f)		g)		h)		i) 0			
	a)									
	b)									
	c)		d)		e)					
	f)		g)		h)		i)			

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekerneten Proben

Report: _____

Attachment: _____

Vorhaben: Hammerwerk/ Ansprache der Proben

Bohrung **HaNOo** / Blatt: 1

Höhe: 0.00 m

Datum:

10.06.02

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe	i) Kalk-gehalt				
1.00	a) Humus kiesig sandig							
	b)							
	c)	d)	e) dunkelbraun					
	f)	g)	h)	i) 0				
1.20	a) Sand + Ton schluffig kiesig, schwach humos (Mischprobe)							
	b)							
	c)	d)	e) graubraun					
	f)	g)	h)	i) 0				
140.00	a) Sand, humos, etwas kiesig							
	b) Wurzelreste Bohrabbruch							
	c)	d)	e) dunkelbraun					
	f)	g)	h)	i) 0				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Report: _____

Attachment: _____

Vorhaben: Hammerwerk/ Ansprache der Proben

Bohrung **HaMO** / Blatt: 1

Höhe: 0.00 m

Datum:

10.06.02

1	2			3		4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges		Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0.20	a) Mutterboden: S,h*							
	b)							
	c)	d)	e) dunkelbraun					
	f)	g)	h)	i)				
0.70	a) Schluff tonig gering sandig							
	b)							
	c) steif leichtplastisch	d)	e) grau-grün					
	f)	g)	h)	i)				
1.20	a) Kies + Sand							
	b)							
	c) scharfkantig	d)	e) graubraun					
	f)	g)	h)	i)				
1.40	a) Ton, gering schluffig, schwach sandig							
	b)							
	c) weich plastisch naß	d)	e) graugrün					
	f)	g)	h)	i)				
1.60	a) Ton gering schluffig							
	b) Grundwasser bei 1.25 m gelotet Bohrabbruch							
	c) breieig, plastisch	d)	e) graugrün					
	f)	g)	h)	i)				

¹⁾ Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bericht:

Anlage:

Vorhaben: Hammerwerk/ Ansprache der Proben

Bohrung **HiM** / Blatt: 1

Höhe: 0.00 m

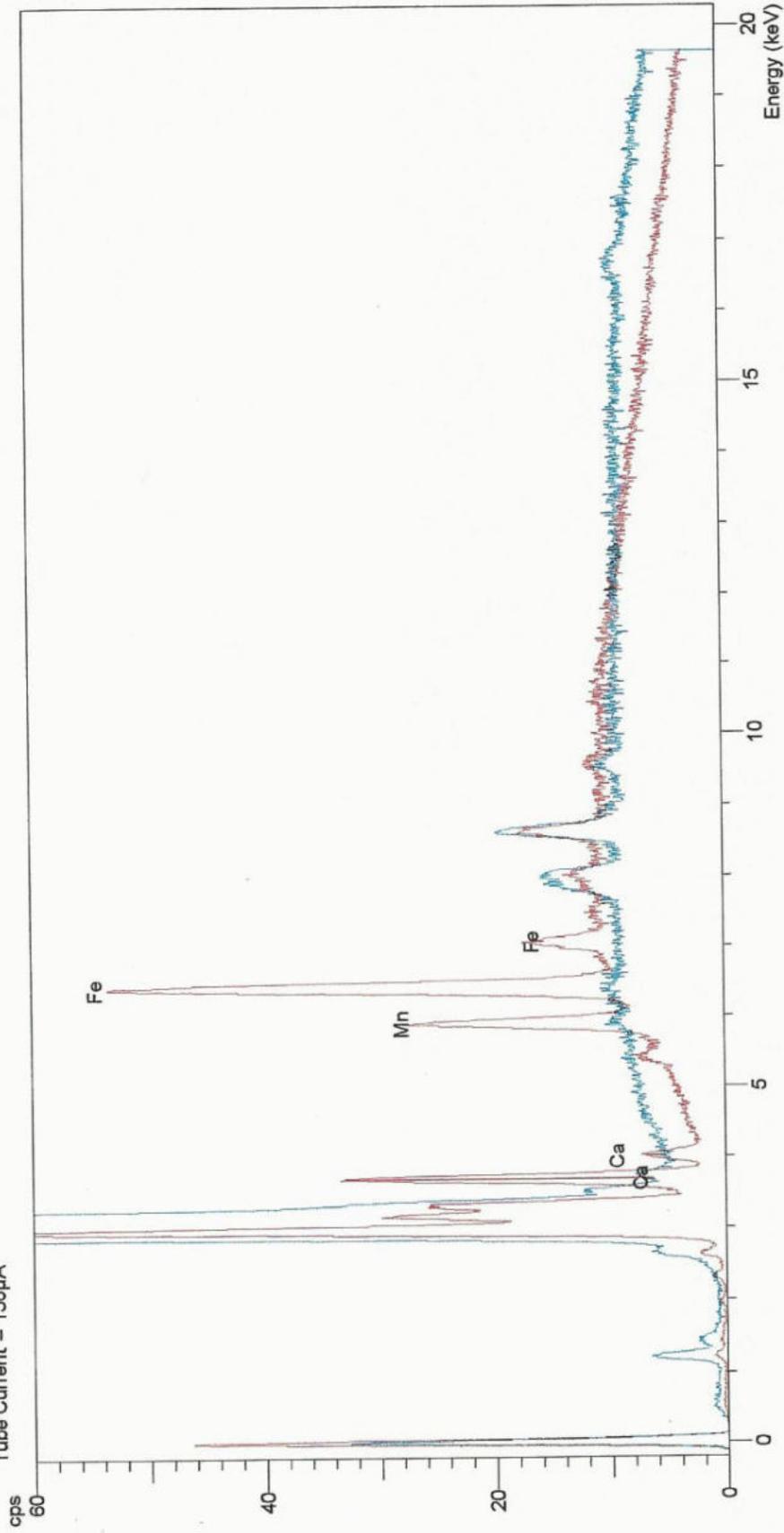
Datum:

10.06.02

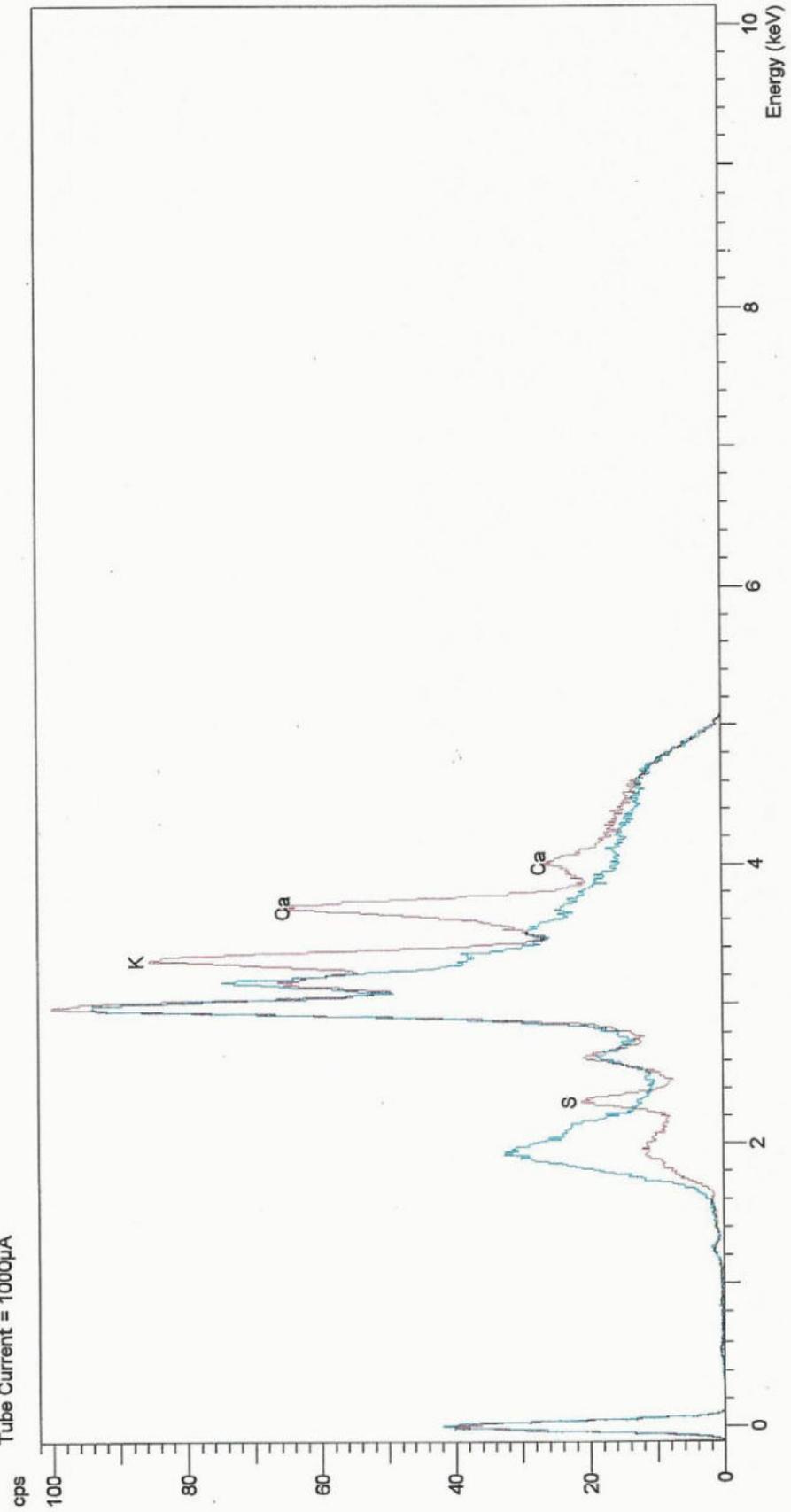
1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe	i) Kalk-gehalt				
0.70	a) Auffüllung: H,s,g							
	b)							
			d)	e) dunkelbraun schwarz				
	f)	g)	h)	i) 0				
1.10	a) Humus+ Ton sandig kiesig							
	b) Mischprobe?							
			d)	e) dunkelbraun schwarz				
	f)	g)	h)	i) 0				
1.30	a) Ton, stark humos (zersetztes Holz?)							
	b) Stein bei 1.20 m Bohrabbruch							
	c) weich		d)	e) dunkelbraun				
	f)	g)	h)	i) 0				
	a)							
	b)							
			d)	e)				
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
			d)	e)				
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Red line : Holz Ständerbalken Naes/Norw. (gen (13-May-2002 10:32)
Blue line : Ford Folie General 100 sec (19-Jun-2000 11:05)
Fixed Conditions : General (air)
Acquisition livetime = 71,9 s, realtime = 131,5 s
Tube Current = 156µA



Red line : Holz Ständerbalken Naes/Norw.(v.l. (13-May-2002 10:41)
Blue line : Ford Folie Very light elements 100 (19-Jun-2000 13:39)
Fixed Conditions : Very light elements
Acquisition livetime = 56,9 s, realtime = 79,2 s
Tube Current = 1000µA



Sør-Tre Bruk AS

Klasse: **NS** AB 75 Cu

Impregneringsmiddel: Wolmanit CX-8
med opptak minst 12 kg/m³ yteved

Trevirket inneholder: **kopper.**

Sett nr.: [8290] 02

Inntrengningsklasse: P8 (EN 351-1)

Denne lasten er impregnert i henhold til:
NTR-dokument nr. 1 og EN 351-1,
og kontrollert i henhold til NTR-dokument nr. 3 og EN 351-2