



Wissenschaftlich-Technischer  
Arbeitskreis  
für Denkmalpflege  
und Bauwerksanierung e.V.

# WTA Berichte 1992

# 8

ZUR FEUCHTESITUATION IN HISTORISCHEM MAUERWERK

Ein Beitrag zur Schadensdiagnostik in der Baudenkmalpflege

von

E.-D. Ganß und H.-J. Rönicke

1. Einleitung

Das Mauerwerk von Baudenkmälern ist in vielen Fällen mit erhöhter Baustofffeuchte belastet. Physikalische, chemische und mikrobiologische Zersetzungen der Bausubstanz werden damit beschleunigt und gefährden den Erhalt des Bauwerkes. Die Ursachen der erhöhten Baustofffeuchte sind sehr komplex und lassen sich mit den zur Zeit bekannten Verfahren und Methoden nur eingeschränkt ermitteln. Sanierungskonzepte können erst dann sicher erstellt werden, wenn die Ursachen genau erkannt sind.

2. Feuchtesituation

Der Begriff Feuchtesituation soll synonym für die zu einer bestimmten Zeit vorhandene Feuchteverteilung  $u(x, y, z)$  im Mauerwerk stehen. Die verschiedenen Feuchteaufnahme- und Transporteffekte prägen einen charakteristischen Verlauf der Feuchteverteilung. Aus dieser kann auf die Feuchteursachen geschlossen werden. Für eine sichere Diagnostik von Feuchteschäden ist es daher zwingend, die Feuchteverteilung im Mauerwerk zu ermitteln, wobei für viele Fälle die Feuchteverteilung des Wandquerschnittes  $u(y, z)$  ausreichend ist (Bild 1).

3. Stand der Methodik

Es gibt zwei prinzipiell unterschiedliche Methoden zur Ermittlung der Feuchteverteilung. Auf der Basis eines Modells, welches die einzelnen Feuchteaufnahme- und Transporteffekte ganzheitlich erfaßt, ist die Berechnung der Feuchteverteilung möglich /1/. Leider erfassen die bekannten Modelle nicht die hygroskopischen Effekte der im Mauerwerk enthaltenen Schadsalze und beruhen teilweise auf weiteren Vereinfachungen.

Die Modelle setzen die Kenntnis der Kenngrößen des Mauerwerks in Bezug auf die Feuchteaufnahme- und Transporteffekte voraus. Historisches Mauerwerk besteht in vielen Fällen aus unterschiedlichen Arten von Baustoffen und hat eine unbekannt Struktur. Vor Anwendung dieser Modelle sind daher umfangreiche Untersuchungen des Mauerwerkes mit Substanzentnahmen erforderlich. Aus denkmalpflegerischen Gründen kann diese Herangehensweise nicht akzeptiert werden. Neben der Modellbetrachtung kann die Feuchteverteilung im Mauerwerksquerschnitt auch meßtechnisch erfaßt werden. Es gibt dazu eine Vielzahl von verschiedenen Meßverfahren /2/, /3/. Der überwiegende Teil der Verfahren ist nicht einsetzbar, da nur oberflächennahe Schichten exakt erfaßt werden und auch hier die Substanzschädigungen nicht vertretbar sind. Weitere einschränkende Bedingungen ergeben sich aus der Materialabhängigkeit, der Meßgenauigkeit und der örtlichen Auflösung der Meßverfahren, so daß die bisher eingesetzte Meßtechnik keine Alternative zu den Modellbetrachtungen darstellt.

#### 4. Vorschlag zur Meßmethodik

Im folgenden werden einige ausgewählte Ergebnisse von Feuchteverteilungsmessungen in historischem Mauerwerk, die mit einer neuen Untersuchungsmethodik gewonnen wurden, erstmals vorgestellt und diskutiert. Es soll gezeigt werden, daß aus den meßtechnisch ermittelten Feuchteverteilungen exakte Rückschlüsse auf die Ursachen der erhöhten Bauwerksfeuchte möglich sind. Die neue Methodik beruht auf der Verwendung einer kleinen stabförmigen Neutronensonde, welche eine Weiterentwicklung der in /4/ veröffentlichten Neutronentauchsonde darstellt.

Die Meßsonde weist einen Durchmesser von 10 mm auf und kann über ins Mauerwerk eingebrachte Bohrlöcher in beliebig tiefen Mauerwerksbereichen positioniert werden. An die Oberflächenbeschaffenheit der Bohrlöcher sind keine besonderen Forderungen zu stellen. Die Meßzeit ist variabel, wobei gegenwärtig mit 4 min gearbeitet wird. Damit ist nach relativ kurzer Zeit die Feuchteverteilung im Wandquerschnitt vollständig erfaßt. Die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse beträgt bei der genannten Meßzeit 0,3 V%.

#### 5. Beispiele

Die Feuchteverteilung im Wandquerschnitt  $u(y, z)$  wird über die meßtechnische Bestimmung der Feuchteverteilung  $u(y)$  bei einer größeren

Anzahl von verschiedenen Höhen  $z$  ermittelt. Die Abstände zwischen den Meßhöhen werden in Abhängigkeit der vorhandenen Feuchteverteilung festgelegt. Zur Veranschaulichung der Meßmethodik werden im ersten Beispiel die Feuchteverteilungen  $u(y)$ , aus welchen die Feuchteverteilung  $u(y, z)$  rekonstruiert wird, mit angegeben.

#### 5.1. Dom Halberstadt - nördliches Querhaus

Die Kirche wurde in den Jahren 1240 bis 1490 in mehreren Bauabschnitten in Form einer kreuzförmigen Basilika errichtet. Mit Ausnahme der Türme und der Seitenschiffe erfolgt die Dachentwässerung über Bleigang und Wasserspeier. Die Wandflächen sind unverputzt. Im Innenraum zeigen die Wandflächen des Querschiffes bis in Höhen von ca. 10 m großflächige Zerstörungen der Werksteinoberfläche durch Schadsalze.

Zur Schadensdiagnostik wurde mit der Stabsonde in 7 verschiedenen Höhen  $z$  die Feuchteverteilung der Form  $u(y)$  aufgenommen. Die Höhen- und Tiefenangaben sind aus Bild 3 ersichtlich. Die Feuchteverteilungen  $u(y)$  in Höhen mit starker Salzbelastung (1,5 m, 7 m, 9 m) zeigen eine Zunahme der Baustofffeuchte in Richtung der Innenwandflächen. Insgesamt wurden 44 Meßwerte ermittelt. Die aus den 7 Funktionen  $u(y)$  erstellte Feuchteverteilung  $u(y, z)$  weist deutlich auf die Ursachen der Schädigung hin (Bild 4).

Das Regenwasser der zu kurzen Wasserspeier wird durch die vorhandenen Luftströmungen an die Außenwand des Querhauses gedrückt und läuft dort ab. Im Bereich des Gesimses und des Sockels schlägt es auf und wird dadurch in das Mauerwerk eingetragen. Nach Abtrocknung der Oberfläche bildet sich in einer Höhe um 3 m ein Feuchtenest. Aus diesem wird die Feuchte kapillar und mit dieser werden Schadsalze in Richtung der Innenwand transportiert. Die so an den Innenflächen deponierten bauschädlichen Salze nehmen aus der Raumluft ständig Feuchtigkeit auf und durchfeuchten damit den Oberflächenbereich der Innenwand. Dadurch können die Salze weiter nach oben transportiert werden. Kristallisieren die Salze aus, entstehen die erkennbaren Schäden an der Steinoberfläche.

#### 5.2. Veste Heldburg (Französischer Bau) - 1. Kellergeschoß Hofseite

Die Veste Heldburg (zwischen Coburg und Bad Königshofen) besteht aus mehreren Baukomplexen. Der größte und bedeutendste ist der 1560 bis 1564 errichtete Französische Bau mit seinen beiden Erkern. Der ge-

samte Bau brannte 1982 im Dachstuhl und in den oberen Geschoßdecken aus und war seit diesem Zeitpunkt bis zur Neuaufrichtung des Daches im Jahre 1990 ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Das Mauerwerk ist dadurch stark feuchtebelastet. Es war zu untersuchen, ob noch weitere Ursachen zur Mauerwerksfeuchte beitragen.

An der hofseitigen Wand des 1. Kellergeschosses, welche am Fels anliegt, wurde in 4 verschiedenen Höhen  $z$  die Feuchteverteilung  $u(y)$  meßtechnisch ermittelt. Daraus wurde die Feuchteverteilung im Wandquerschnitt  $u(y, z)$  gebildet. Aus Bild 2 sind deutlich die Ursachen der zusätzlichen Durchfeuchtung zu erkennen.

Im Fels gebildetes Schichtenwasser dringt in das Mauerwerk in Form von Druckwasser ein und belastet damit bereits abgetrocknete Mauerwerksbereiche.

### 5.3. Dom Halle (Saale) - Nordwand

Der Dom zu Halle entstand 1271 bis 1283 als Dominikaner-Klosterkirche in Form einer frühgotischen Halle. Ab 1520 wurde diese im Renaissancestil umgestaltet. Die Wände bestehen aus innen verputztem Bruchsteinmauerwerk und weisen im Innenraum starke Schädigungen durch Schadsalze auf. Die Entwässerung erfolgt über Dachrinnen und Fallrohre, welche teilweise defekt sind.

Zur Ermittlung der Feuchteverteilung im Wandquerschnitt  $u(y, z)$  wurde in 6 verschiedenen Höhen  $z$  die Feuchteverteilung  $u(y)$  mit der Sonde gemessen. Es kamen 36 Meßwerte zur Auswertung. Aus der Feuchteverteilung  $u(y, z)$  im Bild 5 läßt sich im Gegensatz zu den Bildern 2 und 4 ein sehr komplexes Schadensbild ableiten.

Eine kapillaraufsteigende Komponente ist bis in Höhen von ca. 0,5 m wirksam. Weiterhin wird die Außenwand relativ gleichmäßig durch abschlagendes Regenwasser der defekten Dachrinne durchfeuchtet. Es ist deutlich zu erkennen, daß in Bereichen mit zurücktretendem (3,2 m) und hervorstehendem (2,0 m) Mauerwerk die Mauerwerksfeuchte abgesenkt bzw. erhöht ist. Die starken Versalzungen der Innenwand bis in eine Höhe von ca. 1,0 m nehmen aus der Raumluft Feuchtigkeit auf und durchfeuchten damit die oberflächennahen Schichten der Innenwand.

### 6. Zusammenfassung und Ausblick

Historisches Mauerwerk ist häufig durch erhöhte Feuchte belastet. Für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen müssen die Ursachen

der erhöhten Feuchte exakt erkannt werden. Es wird eine Methodik vorgestellt, mit deren Hilfe es möglich ist, die Feuchteverteilung im Wandquerschnitt zu messen. Aus dem charakteristischen Verlauf der Feuchteverteilung kann auf die Ursachen der Feuchtebelastung genau geschlossen werden. Die Methodik beruht auf der Verwendung einer kleinen stabförmigen Neutronensonde. An drei Beispielen werden die ermittelten Feuchteverteilungen dargestellt, diskutiert und die Schadensursachen genannt.

Die vorgestellte Meßmethodik wurde bisher an 17 unter Denkmalschutz stehenden Bauten erfolgreich zur Analyse von Feuchteschäden eingesetzt und es wird daher vorgeschlagen, diese im Bereich der Denkmalpflege bei Schadensdiagnosen an bedeutenden Bauwerken anzuwenden. Durch den Einsatz eines einheitlichen Verfahrens sind dann die an verschiedenen Bauten ermittelten Meßergebnisse miteinander vergleichbar und können so für allgemein gültige Aussagen über Bauschäden verwendet werden.

Für Ende 1991 und Anfang 1992 sind mit der vorgeschlagenen Methodik umfangreiche Schadensdiagnosen an der Wartburg und der Klosterkirche in Axien vorgesehen. Die Autoren sind gern bereit, interessierten Fachkollegen aus dem Bereich Denkmalpflege und Bauphysik die Meßmethodik an obengenannten Bauwerken zu erläutern.

#### Literatur

- /1/ EDV-Anwendungen Feuchteschutz  
IRB-Literaturauslese Nr. 2132, Stuttgart 1990
- /2/ Feuchtigkeitsmessung an Mauerwerk  
IRB-Literaturauslese Nr. 1483, Stuttgart 1989
- /3/ Fachbibliographie Feuchtemessung  
Fachbibliographie Meßtechnik-Bd. 4, BAM, Berlin 1990
- /4/ Ganß, E.-D.  
Neue nukleare Meßsonden für die Anwendung im Bauwesen.  
Feuchtemeßgerät - Neutronentauchsonde NTS 2. Bauinformation Wissenschaft und Technik Heft 3 (1982), S. 3

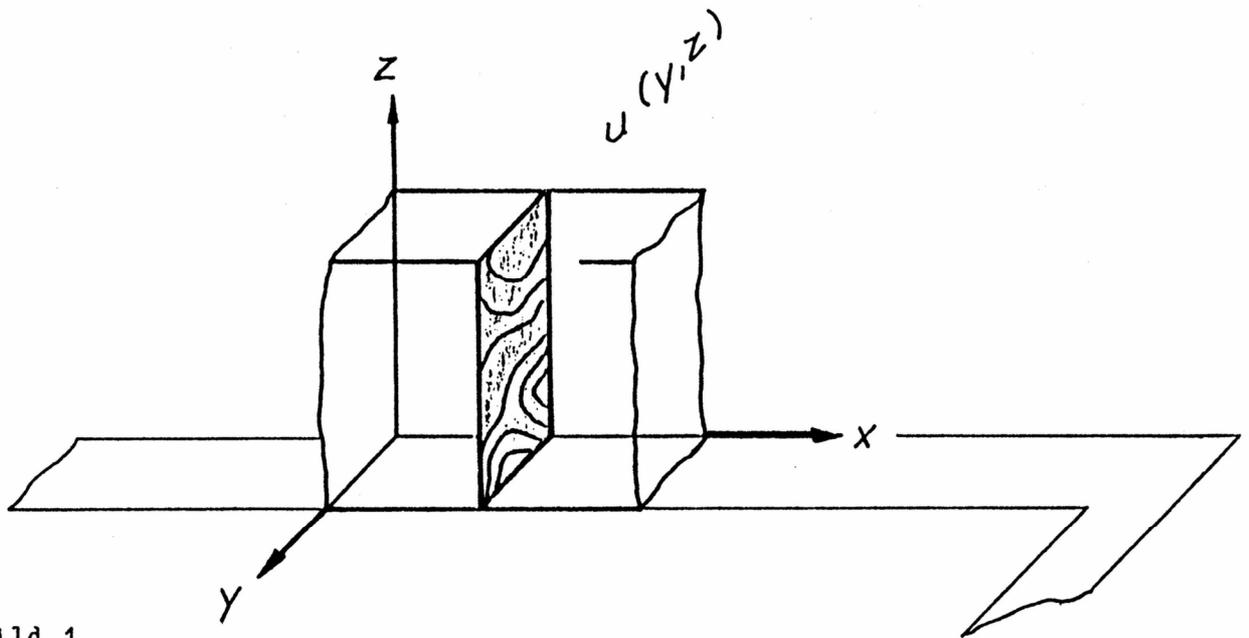


Bild 1  
Feuchteverteilung  $u(y,z)$  im Wandquerschnitt

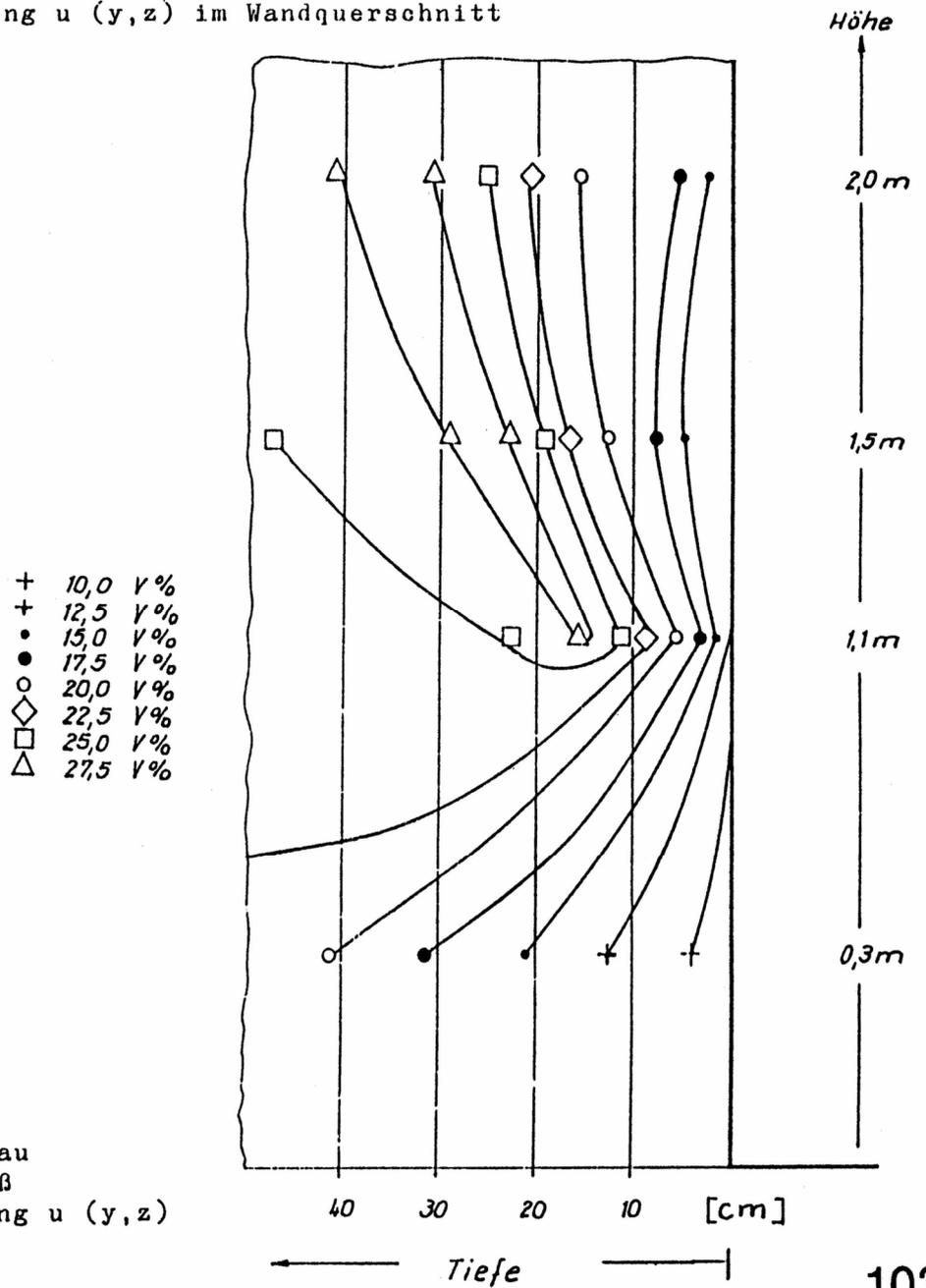


Bild 2  
Veste Heldburg  
Französischer Bau  
1. Kellergeschoß  
Feuchteverteilung  $u(y,z)$

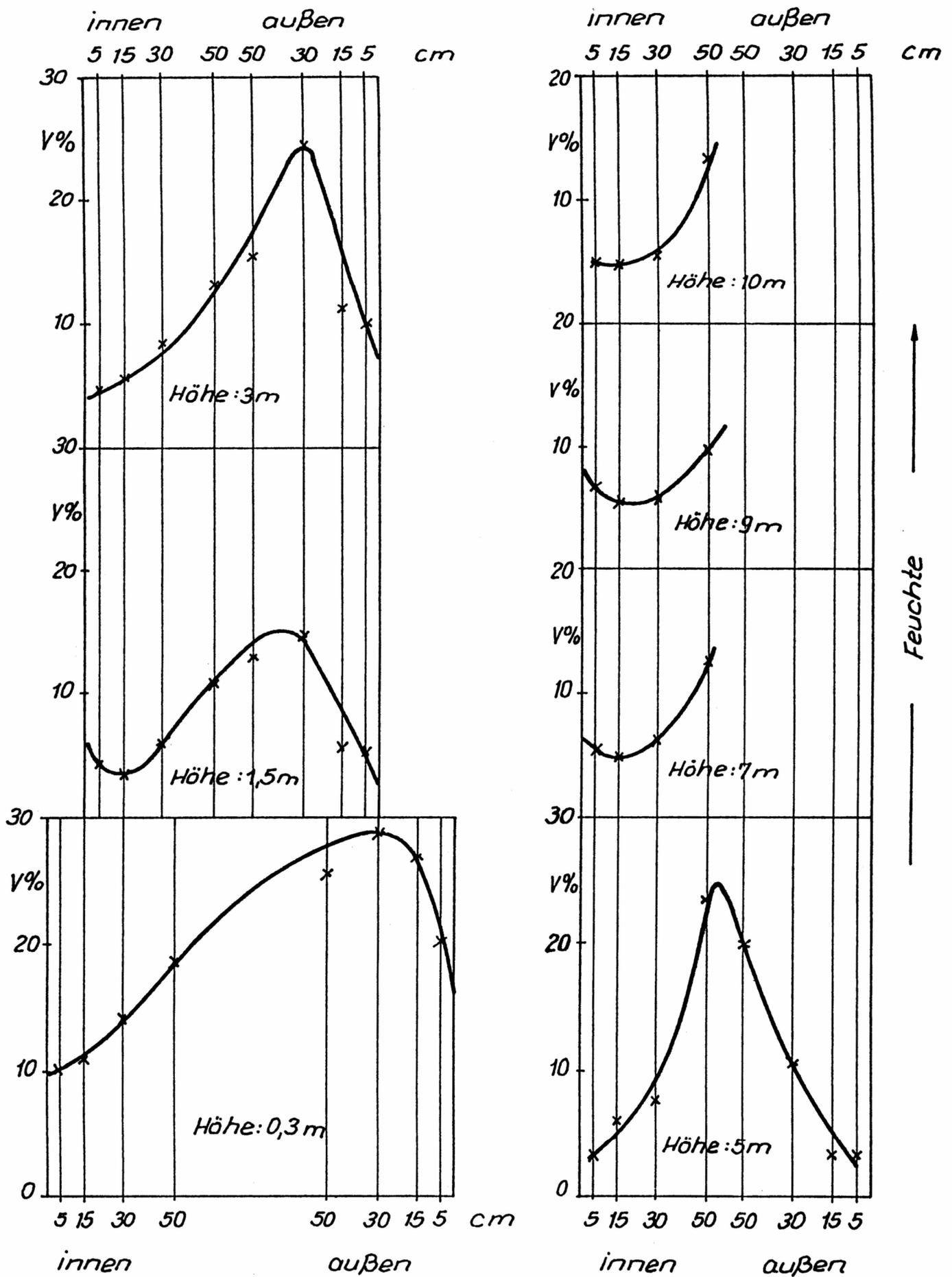


Bild 3  
 Dom Halberstadt - nördliches Querhaus  
 Feuchteverteilung  $u(y)$  für verschiedene Höhen  $z$

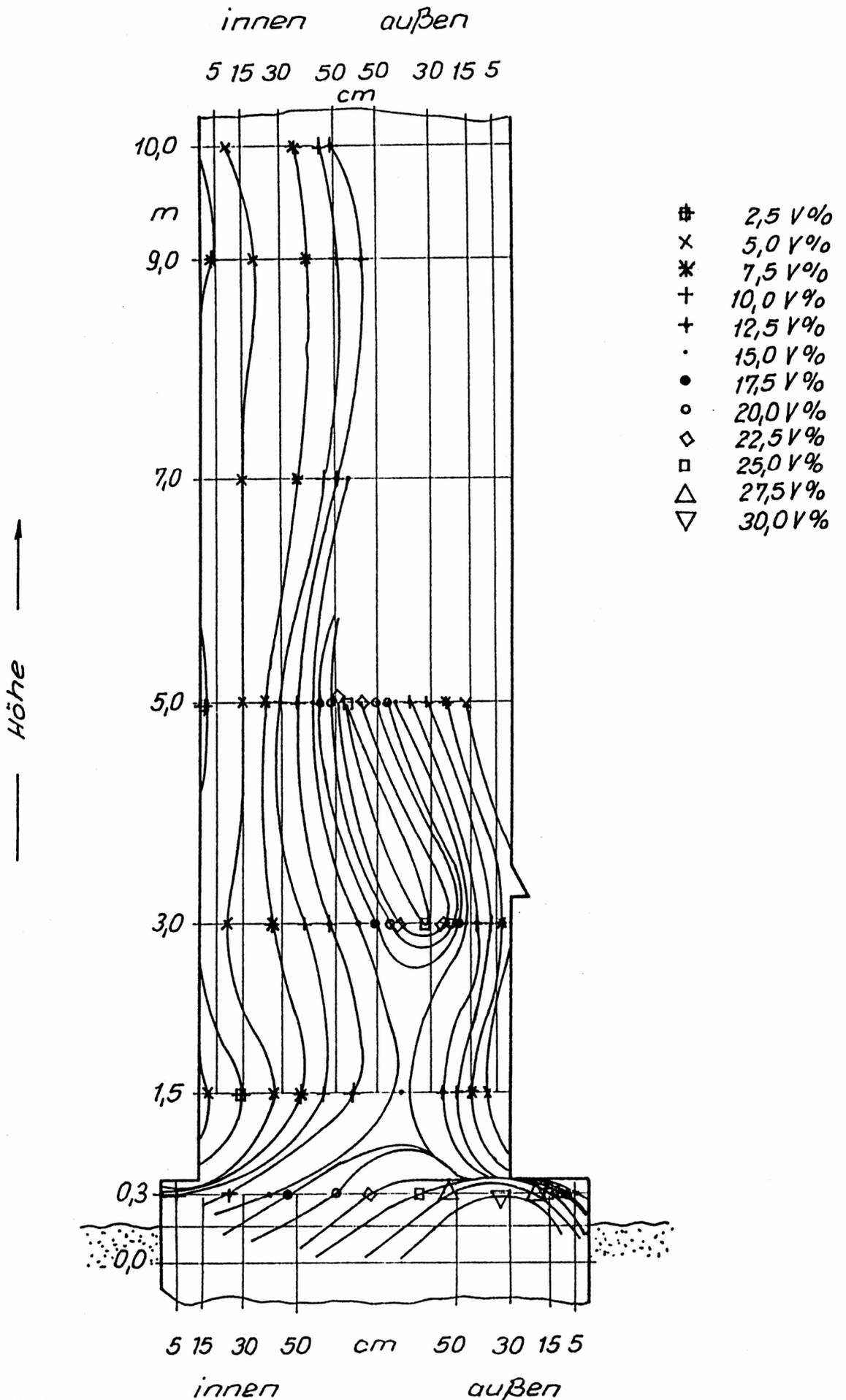


Bild 4  
 Dom Halberstadt - nördliches Querhaus  
 Feuchteverteilung  $u(y, z)$

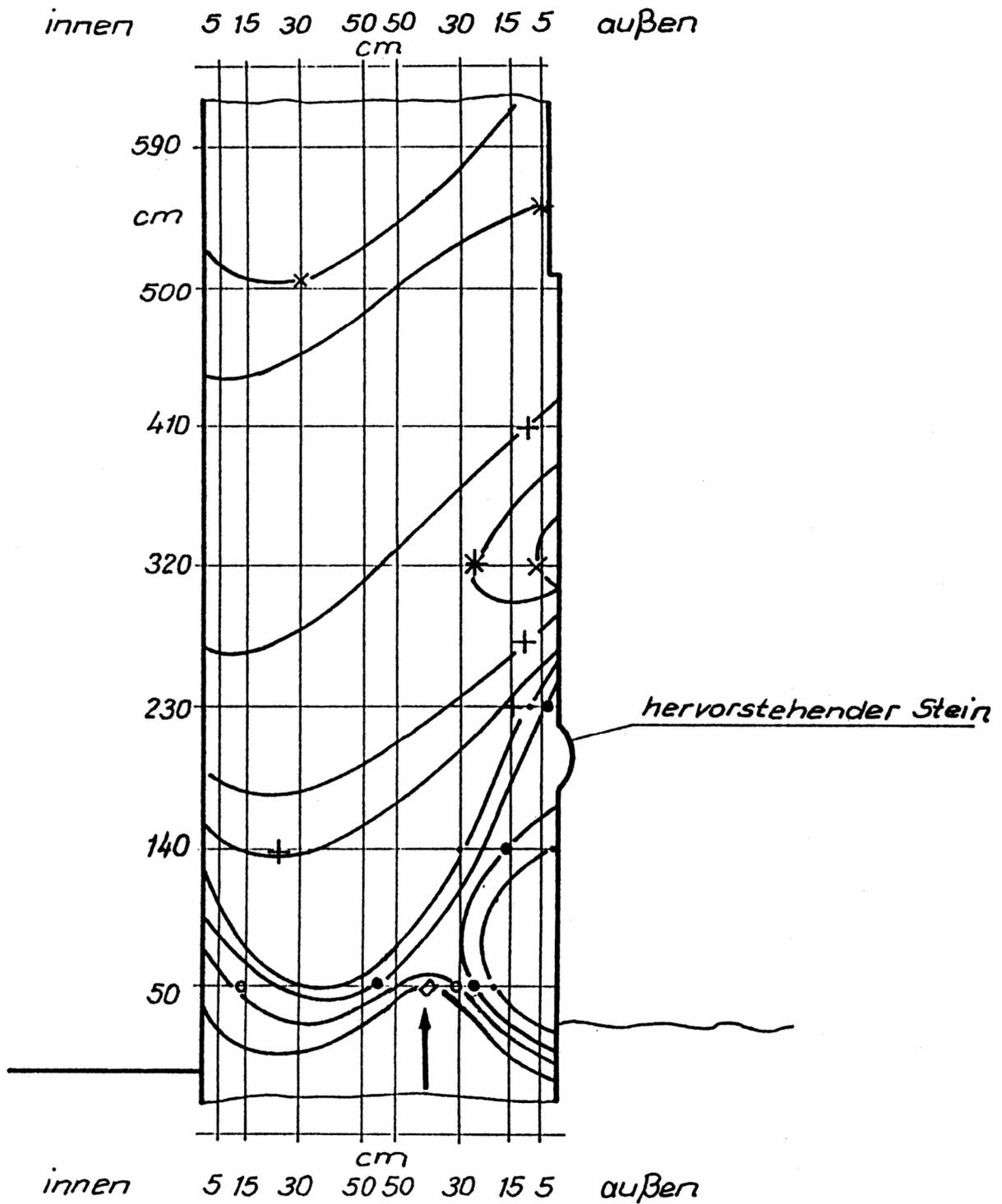


Bild 5  
 Dom Halle (Saale) - Nordwand  
 Feuchteverteilung  $u(y, z)$   
 Legende siehe Bild 4