

# Brandinduzierte Gefügeveränderungen an Elbsandsteinen und deren messtechnische Bewertung mittels der Bohrwiderstandsmessung

Anne-Sophie Gaedke · Bachelorthesis · Sommersemester 2020

Erstprüferin: Prof. Dr. Jeannine Meinhardt · Zweitprüfer: Prof. Dr. Heiner Siedel

## PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Durch Brände, welche aufgrund von Kriegseinwirkungen, Naturkatastrophen oder technischen Defekten ausgelöst wurden, sind viele historische Kunst- und Bauwerke geschädigt. Feuer bewirkt nicht nur Risse, Schalen oder Ausbrüche, sondern hat auch Langzeitauswirkungen durch Veränderungen im Gesteinsgefüge. Eine Folge davon können Gefügeentfestigungen sein.

Um den Einfluss von Feuer auf die Festigkeit eines Materials zu untersuchen werden beispielsweise Biegezug- und Druckfestigkeitsmessungen angewendet. Dies erfordert die Entnahme von mehreren Bohrkernen, was sie zur Anwendung an Kunst- und Kulturgut unbrauchbar macht. Außerdem kann hierbei nur ein Wert für die Geamtheit eines Bohrkernes ermittelt werden.

Um differenzierte Aussagen über die Materialschädigung in die Tiefe treffen zu können, wird die Bohrwiderstandsmessmethode verwendet. Weiterhin wird sie als minimalinvasiv angesehen und kann somit auch eher an Kunst- und Kulturgut angewendet werden.

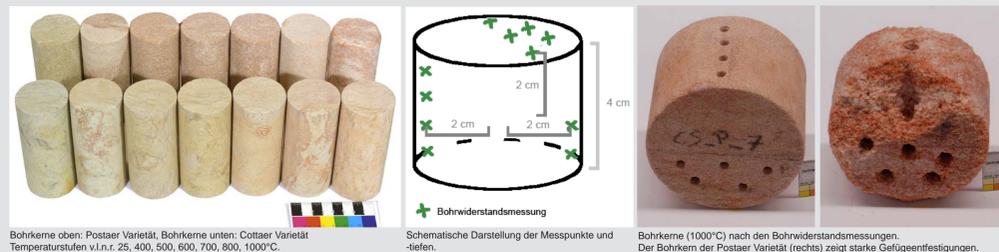
In der Bachelorarbeit wurde der Einfluss von Temperatur auf das Gefüge, sowie brandinduzierte Phänomene mit der Bohrwiderstandsmessmethode untersucht. Die Untersuchung der temperaturinduzierten Gefügeveränderungen erfolgte über im Ofen getemperte Bohrkern der zwei Varietäten Cotta und Posta. Für die Untersuchung der brandinduzierten Schäden wurde jeweils ein Baluster der Varietäten Cotta und Posta zur Verfügung gestellt. Diese wurden im Brandinstitut Heyrothsberge in der Brandkammer verbrannt und stellen eine reale Brandsituation nach. Zusätzlich zu den Untersuchungen der brandinduzierten Schäden, stellt sich die Frage, inwiefern die Baluster temperaturinduzierte mineralogische Veränderungen durch Brandeinwirkung erfahren haben.



## UNTERSUCHUNG DER BOHRKERNE

Für die Bohrwiderstandsmessungen standen pro Varietät (Cottaer und Postaer Sandstein) sieben Bohrkern zur Verfügung. Die Bohrkern waren bei verschiedenen Temperaturstufen (400, 500, 600, 700, 800, 1000 °C) gleichmäßig von der Oberfläche bis zum Kern erwärmt und abgekühlt worden. Jeweils ein Prüfkörper war ungetempert zurückbehalten worden. Da die Absolutwerte der Bohrwiderstandsmessung stark von Bohrablauf, Kalibrierung und Korrektur abhängig sind, waren hier umfangreiche Vorüberlegungen und -untersuchungen notwendig.

Pro Bohrkern wurden jeweils 5 Löcher parallel zur Schichtung in die Kopffläche gebohrt. Senkrecht zur Schichtung erfolgten 6 Bohrungen pro Bohrkern.



Bohrkerne oben: Postaer Varietät, Bohrkern unten: Cottaer Varietät  
Temperaturstufen v.l.n.r. 25, 400, 500, 600, 700, 800, 1000°C.

Schematische Darstellung der Messpunkte und -tiefen.

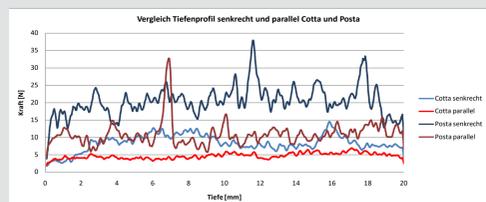
Bohrkerne (1000°C) nach den Bohrwiderstandsmessungen. Der Bohrkern der Postaer Varietät (rechts) zeigt starke Gefügeentfestigungen.

## ERGEBNISSE DER BOHRWIDERSTANDSMESSUNGEN

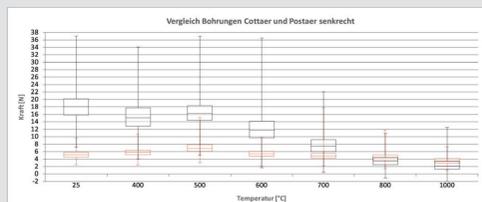
Cottaer und Postaer Sandstein unterscheiden sich in ihrer Bindungen und Gefügezusammensetzungen. Dies zeigt sich in den einzelnen Bohrprofilen, als auch im Temperaturverlauf.

Die Schichtung der Cottaer Sandsteine sind in der senkrechten Bohrung durch Schwankungen im Kurvenverlauf sichtbar. Bei Postaer Sandstein zeigen sich keine Unterschiede im Verlauf, jedoch größere Ausschläge bei der senkrechten Bohrung. Die Ausschläge entstehen, wenn der Bohrer auf große Quarzkörner trifft.

Die Messwerte liegen bei dem Postaer Sandstein insgesamt höher, was auf die rein quarzische Bindung zurückzuführen ist. Die je Temperaturstufe bestimmten Mediane weisen beim Postaer Sandstein einen viel höheren Abfall auf als die des Cottaer Sandsteins. Ein Grund hierfür ist die Volumenausdehnung der Quarze und somit die Bildung der Mikrorisse, was auch am stärkeren Absanden bei höheren Temperaturen zu erkennen ist. Bei den Cottaer Bohrkernen könnte der Anstieg der Werte bis 500°C auf die Verfestigung der Kaolinitstrukturen bei hohen Temperaturen hinweisen. Der anschließende Abfall der Werte könnte durch den ab 573°C stattfindenden Quarzprung erklärt werden. Die insgesamt niedrigeren Werte könnten den abpuffernden Eigenschaften der Tone Kaolinit und Illit zugeschrieben werden, wie sie bereits in anderen Studien beobachtet wurden.



Tiefenprofil von beispielhaften Einzelmessungen senkrecht und parallel bei der Cottaer und Postaer Varietät.



Mittlere Werte der senkrechten Bohrungen der Postaer (schwarz) und Cottaer Bohrkern (rot) im Temperaturverlauf. Die sechs Einzelbohrungen pro Temperaturstufe wurden zu je einem Wert zusammengefasst. Die Whisker zeigen die Mini- und Maximalwerte.

## UNTERSUCHUNG DER BALUSTER

Die senkrecht geschichteten Baluster (58cm x 19cm x 19cm) waren mit Thermolement versehen, um die Temperaturentwicklung auf der Oberfläche und innerhalb der Baluster während des Brandes nachvollziehen zu können. Die Baluster waren in einem Brandkontainer im Brandinstitut Heyrothsberge über einer Holzkrippe verbrannt worden.

Die Ursache für die beobachteten Schäden (Risse, Schalen, Ausbrüche) sind auf die Temperaturunterschiede während des Brandes zurückzuführen. Es kommt zu unterschiedlichen Ausdehnungen im Gefüge und somit zu Spannungen in den Grenz-bereichen. Die Temperaturen auf der Oberfläche der Baluster ähneln denen der Bohrkern. Somit stellt sich die Frage, ob es auch hier zu messbaren temperaturinduzierten Gefügeveränderungen kommt.



Postaer Baluster nach dem Brand ohne Bruchstücke.



Cottaer Baluster nach dem Brand mit angelegten Bruchstücken.



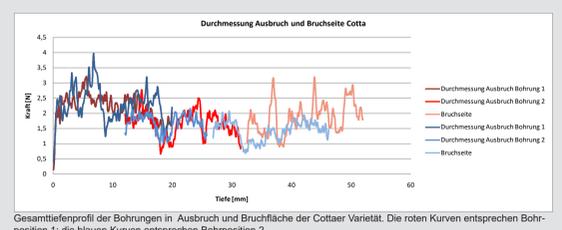
oben: Abbildung der Brandkammer. Quelle: N. Freudenberg. unten: Bohrung in den Postaer Ausbruch mit dem Bohrwiderstandsmessgerät.

## ERGEBNISSE DER BOHRWIDERSTANDSMESSUNGEN

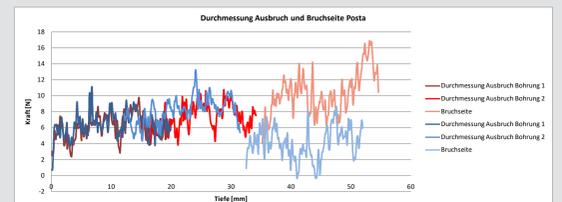
Das unterschiedliche Verhalten der Sandsteinvarietäten bei Brandbelastung aufgrund ihrer unterschiedlichen Gefügebestandteile und Bindungen äußert sich auch in den Bohrwiderständen.

Die Gesamtkurve der Bohrungen in einen Ausbruch und dessen Bruchseite der Cottaer Varietät zeigt eine eher sinkende Tendenz. Im Gegensatz dazu weist die Kurve der Bohrungen in einen Ausbruch des Postaer Balusters eine steigende Tendenz auf. Das Bohrprofil der Bruchseite des Postaer Balusters lässt keine Tendenz erkennen. Bei dem Postaer Baluster könnte möglicherweise eine temperaturinduzierte Gefügeveränderung vorliegen.

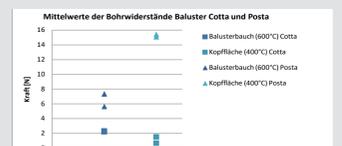
Der Vergleich der Mittelwerte der Kopffläche (400°C) zu dem Balusterbauch (600°C) spricht bei dem Cottaer Baluster gegen eine temperaturinduzierte Gefügeentfestigung. Im Gegensatz dazu entspricht der Vergleich der Mittelwerte des Postaer Balusters den Ergebnissen der Bohrwiderstandsmessung der Bohrkern und deutet somit auf eine temperaturinduzierte Gefügeschwächungen hin.



Gesamtprofil der Bohrungen in Ausbruch und Bruchfläche der Cottaer Varietät. Die roten Kurven entsprechen Bohrsposition 1; die blauen Kurven entsprechen Bohrsposition 2.



Gesamtprofil der Bohrungen in Ausbruch und Bruchfläche der Postaer Varietät. Die roten Kurven entsprechen Bohrsposition 1; die blauen Kurven entsprechen Bohrsposition 2.



Mittelwerte der Bohrungen in die jeweilige Kopffläche (400°C) und den jeweiligen Balusterbauch (600°C) im Vergleich.

## FAZIT

Die Ergebnisse beider Untersuchungen können nur als Tendenzen betrachtet werden. Die Gründe hierfür sind der geringe Probenumfang, die Schwierigkeiten bei der Korrektur der Bohrabnutzung und die Wahl der Korrekturmethode und Parameter.

Um die gewonnenen Erkenntnisse zu verfestigen, sollte sowohl der Probenumfang hinsichtlich der Einzelbohrungen, als auch der Probekörper erhöht werden.

Es sind in Zukunft weitere Untersuchungen zur Korrektur der Bohrwiderstände notwendig. Um allgemeinere Aussagen zur Festigkeit treffen zu können, sollten die Bohrwiderstandsmessmethode mit anderen Methoden der Festigkeitsmessung verglichen werden.

Ein weiterer Schritt könnten Untersuchungen der die Auswirkungen unterschiedlicher Branddauer und Temperatur in Bezug auf die Entwicklung der Schäden und möglichen Gefügeentfestigungen sein.

Die Bachelorarbeit ist angegliedert an das Projekt „Simulation zur Rissentwicklung in Architekturteilen und Objekten aus Naturstein infolge hoher thermischer Belastung zur Erarbeitung von Berechnungsroutinen für Aussagen zur Restfestigkeit“ (TU Dresden und TU Bergakademie Freiberg). Vielen Dank an die Mitarbeiter:innen des Projektes für die Bereitstellung der Probekörper und die fachliche Unterstützung.