

DISS. ETH NO. 21661

# **Effect of natural aging on wood**

A dissertation submitted to

ETH Zurich

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

Katalin Kránitz

MSc. Wood Technology, University of West Hungary

born December 7, 1984 in Sopron (Hungary)

Citizen of Hungary

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Dr. h.c. Peter Niemz (examiner)

Prof. Dr. rer. silv. Dr. rer. silv. habil. Claus-Thomas Bues (co-examiner)

Prof. Dr. Dr. h.c. František Hapla (co-examiner)

Prof. Dr. Ingo Burgert (co-examiner)

2014

---

## Abstract

Wood has served humans since ancient times in many different functions and is still one of our most important raw materials. The properties of recent wood have been therefore widely investigated and documented. On the other hand, very little is known about the aging process of wood or the properties of the aged material, although such information is vital for the proper conservation of wooden cultural heritage objects or for the re-use of aged wood. In addition, the studies carried out on this topic often contain contradictory statements, so there exists no clear standpoint for most of the properties of aged wood. The current study aims to fill this scientific gap and should contribute to the knowledge about the aging of wood.

To this aim, a wide range of experiments on the chemical, physical and mechanical properties of aged wood were carried out, supplemented with investigations on the role of factors influencing the properties of recent wood and a thorough literature study. Based on the collected information, possible relationships between different properties were also considered.

The following observations could be made:

- Aging is governed by chemical changes. A decrease in the extractive and hemicellulose content was detected even for 120 year old specimens of age with signs of lignin degradation.
- Aging is accompanied by colour changes, namely an increase in redness and yellowness and a decrease in lightness, the extent depending on the wood species.
- In despite of the alteration in chemistry no systematic changes occurred in the microstructure of the samples.
- No remarkable effect of the mentioned chemical processes was stated regarding the hygroscopic properties either. Both sorption and swelling properties was found to be similar for aged and recent samples.
- Mechanical tests, including the determination of elastic and strength properties as well as investigations on the fracture behaviour delivered no remarkable differences between aged and recent wood.
- The physical-mechanical properties of wood do not change considerably by aging at least for up to 200 years, in case the material is stored in dry climate indoors.

Possible reasons behind the discrepancies in the literature were revealed, the most important being neglecting the role of influencing factors other than age. Statistical analysis showed that the apparent differences between aged and recent specimens originate in many cases from such factors, mostly from density. Furthermore, it was confirmed that the aging process is dependent on the storage and service conditions and on the wood species as well.

From the results of the work conclusions for the use of aged wood can be drawn. In addition, the determined parameters can be used for the simulation of moisture transport and stress development in cultural heritage objects. Finally, based on the observations of the current work, suggestions and tips for further studies are given.

## Kurzfassung

Holz hat den Menschen seit Jahrtausenden in vielen verschiedenen Funktionen gedient und ist noch heute einer der wichtigsten Rohstoffe. Die Eigenschaften von rezentem Holz wurden daher vielfach umfassend untersucht und detailliert dokumentiert. Über den Alterungsprozess von Holz beziehungsweise die Eigenschaften des gealterten Materials sind dagegen nur wenige Informationen verfügbar, obwohl sie sowohl für die ordnungsgemäße Erhaltung von Bauwerken und anderer Kulturgüter aus Holz als auch für die an Bedeutung gewinnende stoffliche Wiederverwendung von Altholz wichtig sind. Hinzu kommt, dass in der Literatur oft widersprüchliche Aussagen vorliegen. Bis auf wenige Ausnahmen gibt es keinen klaren Standpunkt hinsichtlich der Eigenschaften von altem Holz.

Ziel dieser Arbeit war, die Literaturerkenntnisse zusammenzustellen und experimentelle Arbeiten zu ausgewählten physikalisch-mechanischen und chemischen Eigenschaften durchzuführen, um zum bisherigen Wissen über die Holzalterung beizutragen und den Mangel an wissenschaftlich belegten Kenntnissen weiter abzubauen. Es wurde rezentes und gealtertes Holz unterschiedlicher Herkunft geprüft. Die Auswertung erfolgte unter Berücksichtigung der wesentlichen Einflussfaktoren auf die Holzeigenschaften und der natürlichen Variabilität des Holzes.

Folgende Beobachtungen wurden gemacht:

- Die Alterung geht von chemischen Prozessen aus. Eine Abnahme des Extraktstoffanteils und des Hemicellulosegehalts wurde bereits bei nur 120 Jahre alten Proben nachgewiesen. Auch wurden Anzeichen eines Ligninabbaus gefunden.
- Mit der Alterung treten Farbveränderungen auf. Es wurden eine Zunahme des Rot- und Gelbanteils sowie eine Abnahme der Helligkeit beobachtet. Der Mass der Änderungen hängt auch von der Holzart ab.
- Trotz der nachgewiesenen chemischen Änderungen weist die Mikrostruktur keine systematischen Änderungen auf.
- Auch bei den hygrokopischen Eigenschaften konnte keine erhebliche Wirkung der Alterung festgestellt werden. Sowie Sorptionseigenschaften, als auch Quellung waren ähnlich bei alten und rezenten Proben.
- Mechanische Tests, einschliesslich die Ermittlung von elastischen Parameters, Festigkeiten und Untersuchungen zum Bruchverhalten, lieferten keine erheblichen Differenzen zwischen altem und rezentem Holz.
- Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Alterung keine wesentliche Wirkung an den physisch-mechanischen Eigenschaften von Holz hat, zumindest nicht für Proben, welche jünger als 200 Jahre alt sind und unter trockenen Klima (meist Innenraum) gelagert wurden.

Es wurde auf verschiedene mögliche Ursachen der widersprüchlichen Aussagen in der Literatur hingewiesen. Als Wichtigster kann die Vernachlässigung zusätzlicher Einflussfaktoren (z.B. Feuchte, Dichte, Wuchsbedingungen) genannt werden. Die durchgeführte statistische Analyse hat gezeigt, dass die scheinbaren Unterschiede zwischen alten und frischen Proben oft von solchen Faktoren stammen, wie die Dichtevariation. Es konnte ausserdem bestätigt werden, dass der Alterungsprozess von Lagerungs- und Nutzungsbedingungen sowie von der Holzart selbst abhängig ist.

Aus den Ergebnissen der Arbeit können Schlussfolgerungen für den Umgang mit gealtertem Holz gezogen werden. Die ermittelten Parameter können für die Simulation von Feuchtetransport sowie der Ausbildung von Spannungsprofilen in Kulturgüter verwendet werden. Basierend auf den Beobachtungen der Arbeit werden Anregungen für weiterführende Untersuchungen gegeben.