

Ergänzung 3 zu Posten 3

Datierung von Holz

Die Bestimmung des Alters von Eichenholz auf der Innenseite des Glücksradfensters oberhalb der Galluspforte (Abb. 1) ermöglichte es, die Fertigstellung des Spätromanischen Münsters (Abb. 2) auf die 1220-er Jahre einzugrenzen.

Zur Datierung von Holz werden hauptsächlich zwei Methoden eingesetzt, die Dendrochronologie (Jahrringanalyse) und die ^{14}C -Methode (Radiokarbonmethode).

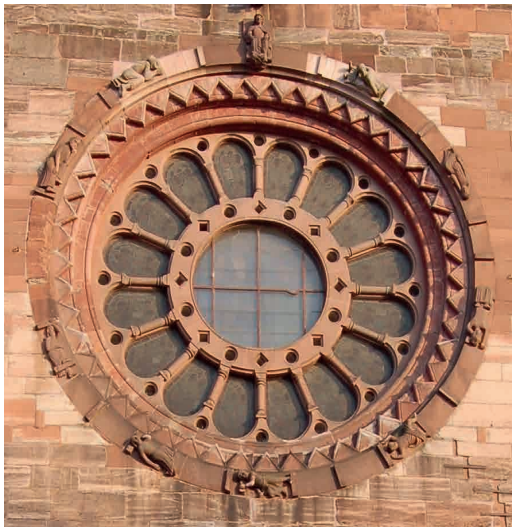


Abb. 1: Glücksradfenster oberhalb der Galluspforte



Abb. 2: Rekonstruktion des spätromanischen Münsters (12./13. Jh.)

Radiometrische Datierung: Isotope öffnen das Tor zur Vergangenheit

Isotope sind Varianten von Elementen mit unterschiedlicher Anzahl Neutronen. So kann beispielsweise das Element 1, der Wasserstoff, neben einem Proton und einem Elektron keines, eines oder zwei Neutronen haben. Seine Ordnungszahl bleibt dabei immer 1, da es immer nur ein Proton hat, sein Atomgewicht (Massenzahl) variiert jedoch in Abhängigkeit von der Anzahl zusätzlich zum Proton vorhandener Neutronen von 1 bis 3 (Abb. 3).

Gewisse Isotope sind stabil, andere sind instabil und zerfallen spontan unter Aussendung radioaktiver Strahlung zu Isotopen anderer Elemente. Das Ausgangsisotop wird dabei **Mutterisotop** genannt, das Zerfallsprodukt ist das **Tochterisotop**. Es ist unvorhersehbar und zufällig, wann ein einzelnes Isotop zerfällt. Der radioaktive Zerfall einer grossen Menge eines bestimmten Isotops hingegen kann durch dessen **Halbwertszeit** beschrieben werden. Dies ist die Zeitspanne, in welcher die Hälfte der Mutterisotope zu Tochterisotopen zerfällt. Nach Ablauf der ersten Halbwertszeit ist demnach noch die Hälfte der Mutterisotope vorhanden, der Rest ist zu Tochterisotopen zerfallen, nach zwei Halbwertszeiten existiert

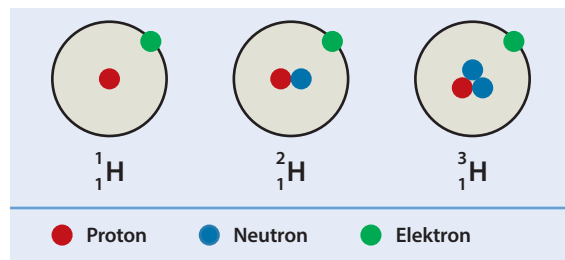


Abb. 3: Die drei Isotope des Wasserstoffs mit der Ordnungszahl 1 und den Massenzahlen 1, 2 und 3

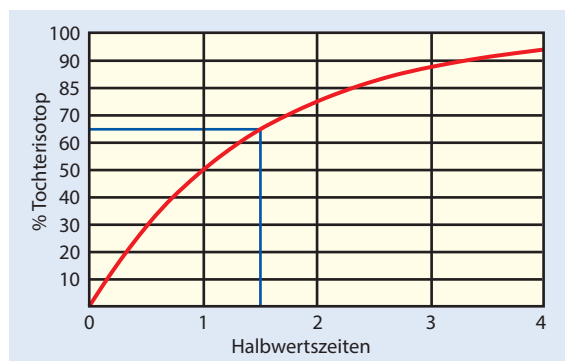


Abb. 4: Beziehung zwischen dem prozentualen Anteil von Tochterisotop und Halbwertszeit (rote Kurve). Beträgt der Anteil der Tochterisotope z. B. 65%, sind 1.5 Halbwertszeiten verstrichen (blaue Linien).

Isotope		Halbwertszeit (Jahre)	Datierbarer Zeitraum (Jahre)	Geeignete Substanzen
Mutter	Tochter			
Uran-238 (^{238}U)	Blei-206 (^{206}Pb)	4.47 Mrd.	1 Mio. - 4.6 Mrd.	Zirkon
Uran-235 (^{235}U)	Blei-207 (^{207}Pb)	704 Mio.	10 Mio. - 4.6 Mrd.	Zirkon
Kalium-40 (^{40}K)	Argon-40 (^{40}Ar)	1.25 Mrd.	50'000 - 4.6 Mrd.	Muskovit, Biotit, Hornblende
Rubidium-87 (^{87}Rb)	Strontium-87 (^{87}Sr)	48.8 Mrd.	10 Mio. - 4.6 Mrd.	Muskovit, Biotit, Feldspat
Kohlenstoff-14 (^{14}C)	Stickstoff-14 (^{14}N)	5730	100 - 70'000	Holz, Torf, Holzkohle, Knochen, Kalzit

Tab. 1: Auswahl an Isotopenpaaren, die für die Datierung häufig verwendet werden. Die $^{14}\text{C}/^{14}\text{N}$ -Methode wird vor allem in der Archäologie und in der Klimaforschung angewandt.

noch die Hälfte der Hälfte, also ein Viertel der Mutterisotope und so weiter (Abb. 4). Jedes Isotop hat eine eigene Zerfallsgeschwindigkeit (Tab. 1).

Viele mineralische und nichtmineralische Substanzen wie Minerale in Gesteinen, Holz oder archäologische Funde wie Tonkrüge oder gar verkohlte Essensreste aus einer Feuerstelle z. B. aus der Römerzeit enthalten radioaktive Isotope. Sobald eine Substanz keine chemischen Reaktionen mehr mit ihrer Umgebung eingeht und sich ihr Anteil an radioaktiven Isotopen nicht mehr verändert, also «eingefroren» ist (z. B. Auskristallisieren eines Minerals, Absägen eines Baumes, Brennen eines Tonkruges etc.) beginnt die «radioaktive Uhr» dieser Substanz zu ticken, d. h. der radioaktive Zerfall der Isotope startet und schreitet unaufhaltsam fort, bis alle Mutterisotope zu Tochterisotopen zerfallen sind.

Dies macht sich die Wissenschaft zu Nutze, um das Alter von Substanzen, die radioaktive Isotope enthalten, zu bestimmen. Dafür wird in einem Massenspektrometer (Abb. 5) die Menge der in einer Substanz enthaltenen Mutter- und Tochterisotope gemessen und daraus ein Verhältnis gebildet. Werden dabei z. B. 35% Mutterisotope und 65% Tochterisotope gemessen, so sind seit dem Start der «radioaktiven Uhr» 1.5 Halbwertszeiten verstrichen (Abb. 4).

Isotope, die langsam zerfallen, wie z. B. ^{238}U Uran, das über mehrere Zwischenstufen zu ^{206}Pb Blei zerfällt (Tab. 1), eignen sich besonders gut zur Datierung besonders alter Materialien wie z. B. Gesteine, die viele hundert Millionen oder sogar mehrere Milliarden Jahre alt sein können (Alter der Erde: 4.58 Mrd. Jahre). Beträgt die Halbwertszeit wie beim Isotopenpaar ^{235}U Uran / ^{207}Pb Blei beispielsweise 704 Mio. Jahre (Tab. 1), wäre ein Gestein, in welchem 35% Mutterisotope und 65% Tochterisotope gemessen wurden, 1'056 Mio Jahre alt.

Zunächst in Tabelle 1 befindet sich das Isotopenpaar ^{14}C / ^{14}N mit einer Halbwertszeit von lediglich 5'730 Jahren, das sich besonders gut zur Datierung archäologischer Funde und historischer Gegenstände eignet. Häufig wird diese, vereinfacht « ^{14}C -Methode» oder «Rauchradiokarbonmethode» genannte Verfahrensweise



Abb. 5: Massenspektrometer

auch zur Altersbestimmung von hölzernen Tür- und Fensterrahmen oder Balken in historisch bedeutenden Gebäuden genutzt, deren Baugeschichte erforscht werden soll. Damit lassen sich aber auch eisezeitliche Baumstämme in Moränen, Torf in alten Mooren oder sogar Grundwasser datieren. Kohlenstoff ist in allen organischen Materialien enthalten, in geringen Konzentrationen auch in Wasser. Gegenüber den stabilen Isotopen ^{12}C und ^{13}C ist das Isotop ^{14}C zwar extrem selten (statistisch gesehen ist nur jedes billionste Kohlenstoffatom radioaktiv), moderne Messgeräte können solch geringe Konzentrationen jedoch problemlos messen.

Dendrochronologie: nur Jahrringe sind noch genauer als ^{14}C

Die ^{14}C -Methode ist aufgrund von Messungenauigkeiten nie auf das Jahr genau, meist können die Altersbestimmungen nur mit +/- ein paar Jahren Genauigkeit angegeben werden. Das ist bei Gegenständen, die weit über 1000 Jahre alt sind, zwar schon erstaunlich genau, aber insbesondere die Geschichtsforschung möchte wenn möglich genauere Angaben. Existieren z. B. in historischen Gebäuden genügend Balken von ausreichender Dicke oder werden in einer Gletscherablagerung oder einem Bergsturz, die datiert werden sollen, grössere Teile von Baumstämmen gefunden, besteht die Möglichkeit einer noch genaueren Datierung mittels Dendrochronologie (Jahrringanalyse)¹.

Die Dendrochronologie beruht auf der Auszählung der Jahrringe von Bäumen, die in Abhängigkeit von Klima- und Umweltbedingungen in jedem Jahr unterschiedlich breit werden und dadurch typische Muster aufweisen (Abb. 6). In Jahren mit genügend Niederschlag und Wärme wächst das Holz schnell, die Jahrringe werden breit, in trockenen und / oder kalten Jahren bleiben sie schmal.

Überlappen sich solche Jahrringmuster zwischen Baumstämmen verschiedenen Alters, lassen sich lückenlose Jahrringabfolgen erstellen (Abb. 8). In Mitteleuropa reicht die Jahrringabfolge 14'600 Jahre zurück. Soll nun beispielsweise ein Balken in einem Haus in der Schweiz datiert werden, wird ihm mit einem Kernbohrer (Abb. 7) eine Probe entnommen, deren Jahrringmuster in das mitteleuropäische Jahrringmuster eingepasst wird. Ist der äusserste Jahrring des Balkens vorhanden (das sieht man daran, dass der Balken eine natürliche Rundung aufweist oder sogar Reste von Rinde enthält), kann auf das Jahr genau bestimmt werden, wann der dazu gehörende Baum gefällt wurde. Auch die Klimaentwicklung kann auf diese Weise Jahr für Jahr bis 14'600 Jahre vor heute zurückverfolgt werden.

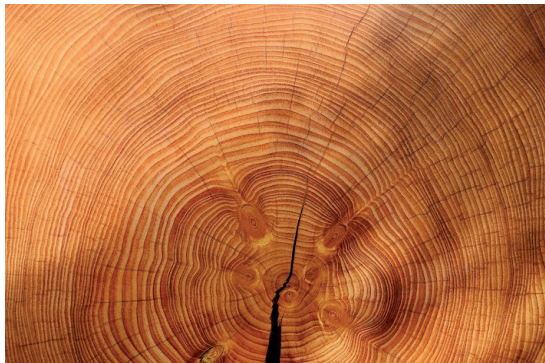


Abb. 6: Jeder Jahrring besteht aus dem hellen, weniger dichten Frühholz (Frühjahr) und dem dunkleren, dichteren Spätholz (Sommer).



Abb. 7: Kernbohrer zur Beprobung des Jahrringmusters. Lebenden Bäumen wird dadurch kein bleibender Schaden zugefügt (Foto WSL).

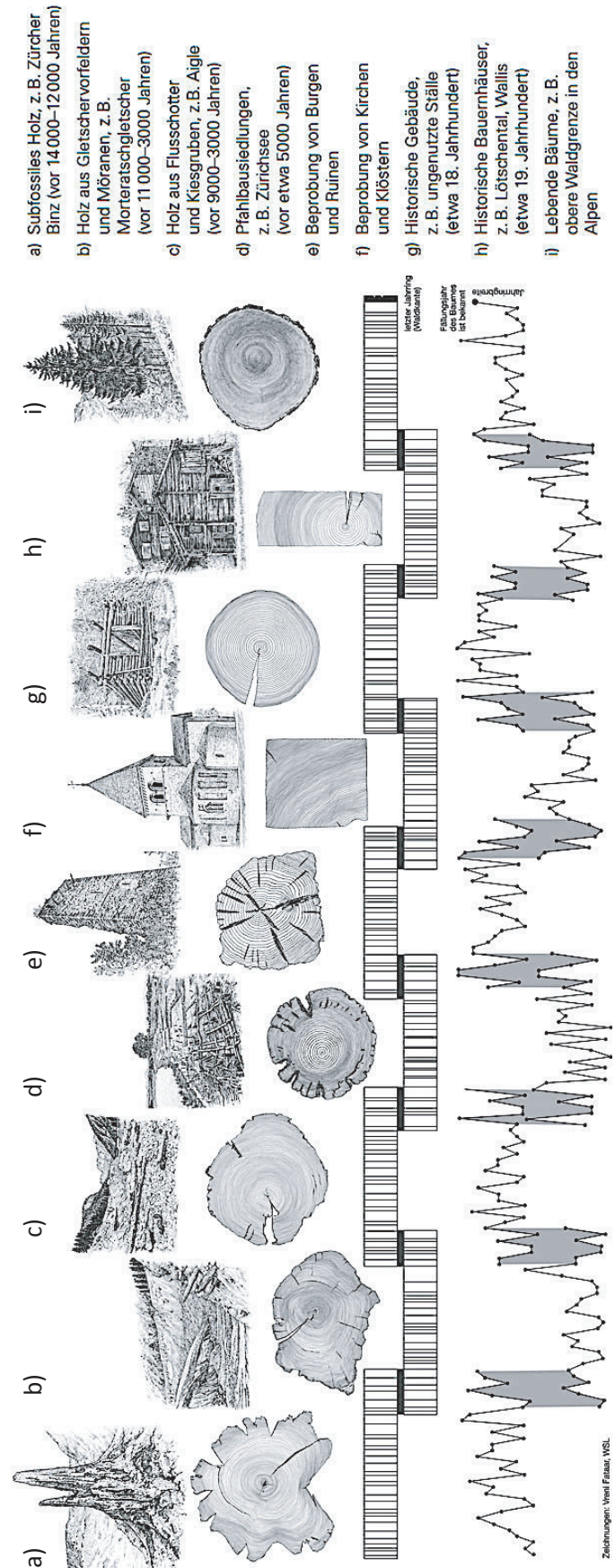


Abb. 8: Überlappende Abschnitte von Jahrringmustern in Baumscheiben (Crossdating). Dies ermöglicht eine lückenlose Datierung des Holzes und eine Abschätzung des Klimas durch die Breite der Jahrringe.

1. Was muss bei einem Balken in einem alten Haus gegeben sein, damit das Jahr, in dem der Baum gefällt (und zu einem Balken verarbeitet wurde) exakt bestimmt werden kann?

2. Könnte es irgendwo auf der Erde ein Gestein geben, in dessen Mineralen 30 % aller Rubidium-87 (^{87}Rb) Isotope zerfallen sind? Begründen Sie.

¹ Mit einer Kombination aus Dendrochronologie und ^{14}C -Methode konnte beispielsweise der Flimser Bergsturz, der mit einem Volumen zwischen 9 und 12 km³ das grösste alpine Sturzereignis ist, auf unglaublich genaue $7'469 \pm 2$ Jahre v. Chr. datiert werden.