

5-14 Statistische Methoden

Die Akzeptanz niedriger Ähnlichkeitswerte erhöht das Potenzial für dendrochronologische Kreuzdatierungen

Ähnlichkeitsmaße und ihre Anwendung¹

Zum Vergleich von Jahrringbreiten-Reihen (der „Muster“; → 5-13) werden hauptsächlich nachfolgende Ähnlichkeitsmaße verwendet:

- (Kreuz-) Korrelationskoeffizient r (Werte zwischen -1 und 0 bzw. 0 und 1);
- ein vom (Kreuz-) Korrelationskoeffizienten abgeleiteter Wert t (s. u. Gleichung 1), insbesondere entwickelt für kürzere Reihen (Werte ≥ 0);
- Gleichläufigkeitswert GLK (Werte zwischen 0 und 100 %).

Für die Berechnung von r - und t -Werten werden die Reihen zuvor normalisiert (weitere Begriffe: standardisiert, indiziert), d. h. sie werden trend- und mittelwertbereinigt (bzw. allgemein: gefiltert). Demnach ist zwischen ungefilterten (rohen) und gefilterten (transformierten) Reihen zu unterscheiden. Bei der Filterung wird mitunter – spektralanalytisch gesehen – eine Erhaltung bzw. Verstärkung der kurzfristigen Jahrringbreiten-Variation von 1-2 Jahren bewirkt.²

Zur Analyse des massenhaften Materials, das für die Konstruktion von langen Baumringchronologien gesammelt wurde, insbesondere zum Auffinden möglicher Synchronlagen, ist die Verwendung von Ähnlichkeitswerten und deren automatisierte Berechnung unentbehrlich. So heißt es in BAILLIE (1995, 21): „Korrelationsprogramme

sind also überaus zweckdienlich, und das ist insbesondere der Fall für einige der Referenz-Chronologien mit Längen von Tausenden von Jahren. In solchen Fällen wäre es nicht praktikabel mit dem Auge [also visuell, MK] nach Synchronlagen zu suchen.“³

Bemerkenswert ist, dass die maßgeblichen Jahrringlaboratorien über Jahre hinweg hauptsächlich nur ein einziges Ähnlichkeitsmaß verwendeten, und zwar jeweils ein unterschiedliches: LTTR Arizona (→ 5-21), r -Wert; Belfast (→ 5-22), t -Wert; Hohenheim (→ 5-23), GLK-Wert (z. B. BECKER 1982, 9).

Bei der Anwendung von Ähnlichkeitsmaßen sind der Schwellenwert, die Bewertung der Ähnlichkeit sowie die Länge der korrelierten Reihen von Bedeutung.

Zur Anwendung und Bewertung des t -Wertes liegen zahlreiche Arbeiten und Aussagen vor. BAILLIE (1982) zufolge liegen die t -Werte für den Untergrund („background“) in der Praxis zwischen 0,0 und 3,5, positive Synchronisationen („wahre Matches“) dagegen würden in der Regel t -Werte von $> 3,5$ produzieren.⁴ BAILLIE et al. (1983) wollen nur t -Werte mit einer „beträchtlichen Überschreitung“ eines Schwellenwertes von $t=3,0$ akzeptiert haben.⁵ PILCHER et al. (1984) bewerten den „ t -Test“, den sie in ihrer Publikation angewendet haben, eher als einen ziemlich groben Routine-Test als einen strengen statistischen Test.⁶ Irreleitend ist die Aussage von

¹ Dieser Beitrag ist im Wesentlichen ein Auszug aus KOTULLA (2019).

² Siehe z. B. FERGUSON & GRAYBILL (1981, 11). U. a. zu „D = the tree ring disturbance signal“: „(...) it is necessary to recognize and remove or control the B, D and E signals (...) Failure to do so would obscure (...) short term variation of 1-2 years that is important for crossdating purposes.“

³ Im Original (BAILLIE 1995, 21): „So, correlation programs are extremely useful and this is particularly the case with some of the reference chronologies which are thousands of years in length. In such cases it would not be practical to search for matching positions by eye.“ Und weiter: „High-correlation positions are checked visually and, where appropriate, backed up by replicative matches.“

⁴ „In practice the background t values fall between $t = 0.0$ and $t = 3.5$, and correlations of ring patterns which grew over the same time span of years normally produce t values greater than $t = 3.5$. (...) A genuine match will normally yield at least $t = 3.5$ “ (BAILLIE 1982, 84). So auch in BAILLIE (1991, 16).

⁵ „All cross-dating between ring patterns has been visual and statistical. The Belfast CROS program (Baillie and Pilcher, 1973) was used as standard, and only matches that were visually acceptable and produced 't' values well in excess of 3.0 were accepted. More important from the point of view of overall chronology integrity is insistence on replication“ (BAILLIE et al. 1983, 172).

⁶ „The t -test applied here is a rather crude routine test widely accepted as a valuable aid in cross-dating rather than a rigorous statistical test [mit Endnote 17 Verweis auf BAILLIE 1982]. In this program, the correlation

SCHWEINGRUBER (1983, 94) zur Berechnung des t -Wertes und seiner Aussagekraft („Eindeutigkeit“): „Mit diesem ‚t-Test‘ wird nun geprüft, ob zwei Kurven miteinander in Beziehung stehen. (...) Der Test ist sehr streng und gibt in der Regel die synchrone Lage zweier Kurven eindeutig

an.“ REINIG et al. (2018) z. B. klassifizieren ihre ermittelten t_{BP} -Werte (nach BAILLIE & PILCHER 1973, BP) wie folgt: ≥ 6 , sicherer Dendro-Link; ≥ 4 , guter/deutlicher Dendro-Link; ≥ 2 , schwacher Dendro-Link.⁷

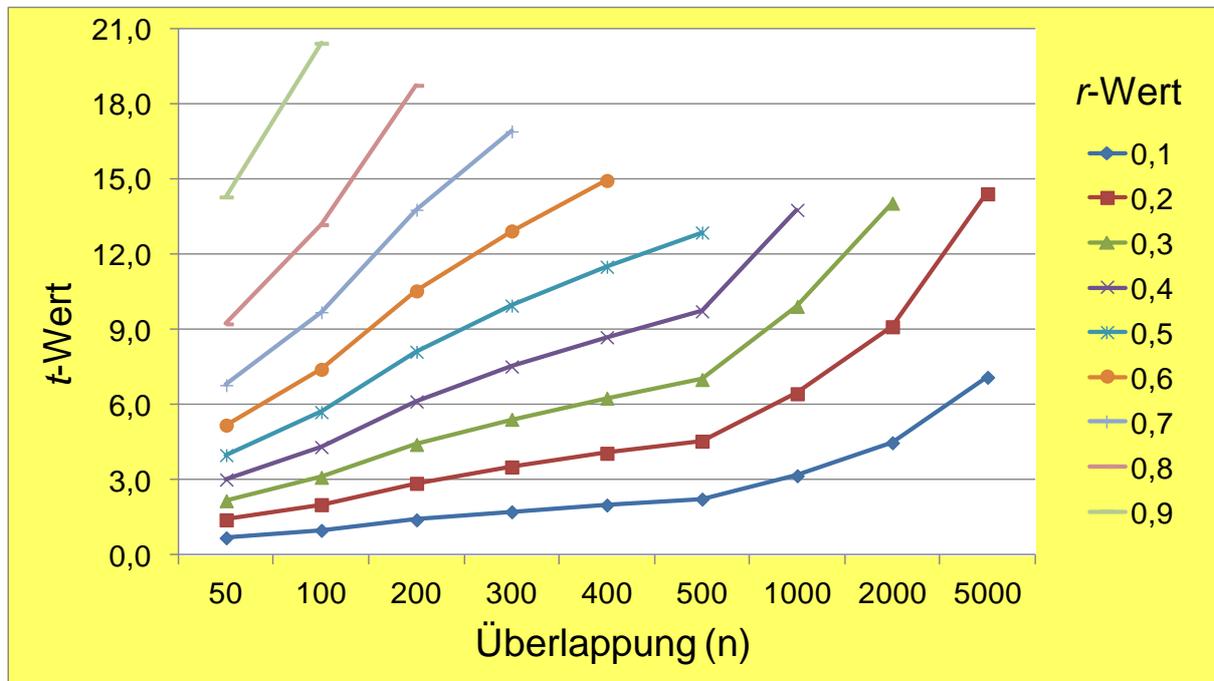


Abb. 1 Ähnlichkeitsmaß t . Entwicklung der t -Werte in Abhängigkeit von der Länge der Überlappung n und dem Wert des (Kreuz)korrelationskoeffizienten r .

Bei der Bewertung des t -Wertes wird allerdings eine Beziehung zur Länge der mutmaßlichen Überlappung nicht beachtet; dies ist für Vergleiche längerer Jahrringbreiten-Reihen oder Jahrringbreiten-Mittelwertreihen relevant.

$$t = |r| \cdot ((n-2)/(1-r^2))^{0,5} \quad (\text{Gleichung 1})$$

So beträgt beispielsweise der t -Wert gemäß Gleichung 1 bei einem Korrelationskoeffizienten

von $r=0,2$ und einer mutmaßlichen Überlappung von $n=1000$ bereits $t=6,4$ (Abb. 1). Das wäre REINIG et al. (2018) zufolge eine statistisch sichere Kreuzdatierung, obwohl der r -Wert sehr niedrig ist.

Zum GLK-Wert liegt ebenfalls eine Bewertung von PILCHER et al. (1984) vor; er soll ein leistungsfähiges Ähnlichkeitsmaß insbesondere für den Vergleich langer Zeitreihen bieten.⁸

coefficient is calculated on the logs of high-pass filtered series and t calculated from this. The values of t cannot be converted to probabilities because allowance is not made for autocorrelation. The significance of the test in the present study is that in all but one of the cases illustrated in Fig. 2 (the exception being Navan-Dorsey and Southwark, the t -value quoted is the highest value for all possible positions of overlap of the two series. The t -test should be seen as complementing the visual cross-dating" (PILCHER et al. 1984, 151f).

⁷ Hieraus könnte abgeleitet werden (implizit): < 2 , kein Dendro-Link.

⁸ „In addition to the t -test, the percentage of parallel variation, GL% (Gleichlaufwertigkeit [mit Endnote 22 Verweis auf ECKSTEIN & BAUCH 1969, MK]), provides a

powerful test of synchrony when used on long time series. This simple non-parametric test derives the first differences of the two series and then determines what percentage of the total common years of the two series has the same sign. A test of the south German chronology against the Irish chronology over a total of 4,700 yr gave a GL% of 54.0%, significant at the 99.99% level. If the 1,582 signature years in the south German chronology are tested against the same years in the Irish sequence, the GL% rises to 56.1%, again significant at the 99.99% level. The Irish sequence and the three north German sequences give GL% values of 57.0, 56.8 and 55.6%, all significant at the 99.99% level" (PILCHER et al. 1984, 152).

Hinsichtlich Ähnlichkeit geben ECKSTEIN & WROBEL (2005, 158) zu bedenken: Einerseits stimmen zwei Jahrringfolgen nie völlig genau überein; diese Tatsache bezeichnen sie als Dilemma. Sie stellen „die Frage, wie eine schwache Ähnlichkeit zwischen zwei tatsächlich zeitgleichen Jahrringmustern von einer hohen Zufallsähnlichkeit getrennt werden kann“. Die Frage sei einfach zu beantworten: „Es ist unmöglich.“⁹ Andererseits ergebe sich mit Hilfe der Statistik immer eine „beste“ Ähnlichkeit. Dies mag wiederum in den teilweise niedrigen Schwellenwerten begründet sein, die die Bearbeiter akzeptieren.

In der Praxis bieten moderne Programme, die dendrochronologische Rohdaten verarbeiten, die Berechnung aller drei Ähnlichkeitsmaße nebeneinander, auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Normalisierungsverfahren. Hierdurch ist eine Gesamtübersicht stets gewahrt.

Literatur

- BAILLIE MGL (1982) *Tree-Ring Dating and Archaeology*. London.
- BAILLIE MGL (1991) *Dendrochronology and Thera. The scientific case*. *Journal of the Ancient Chronology Forum* 4, 15-28.
- BAILLIE MGL (1995) *A Slice Through Time: Dendrochronology and Precision Dating*. London.
- BAILLIE MGL & PILCHER JR (1973) *A simple cross-dating program for tree-ring research*. *Tree-Ring Bulletin* 33, 7-14.
- BAILLIE MGL, PILCHER JR & PEARSON GW (1983) *Dendrochronology at Belfast as a background to high-precision calibration*. *Radiocarbon* 25, 171-178.
- BECKER B (1982) *Dendrochronologie und Paläoökologie subfossiler Baumstämme aus Flussablagerungen. Ein Beitrag zur nacheiszeitlichen Auenentwicklung im südlichen Mitteleuropa*. *Mitteilungen der Kommission für Quartärforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften*, Band 5. Wien.
- ECKSTEIN D & BAUCH J (1969) *Beitrag zu Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 88, 230-250.
- ECKSTEIN D & WROBEL S (2005) *Dendrochronologie*. In: PINGEL V & HAUPTMANN A (eds.) *Archäometrie – eine Querschnittswissenschaft. Methoden und Anwendungsbeispiele* naturwissenschaftlicher Verfahren in der Archäometrie. Stuttgart, 154-170.
- FERGUSON CW & GRAYBILL DA (1981) *Dendrochronology of bristlecone pine. A terminal report submitted 31 October, 1981 on the National Science Foundation grant EAR-78-04436 with the assistance of the Department of Energy contract no. EE-78-A-28-3274*.
- KOTULLA M (2019) *Verkohlte Baumstämme in Tephra-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans: neue Radiokarbon-Bestimmungen und ihre Altersinterpretation*. *W+W Special Paper G-19-1*, Baiersbrunn.
https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-19-1_radiokarbon.pdf
- PILCHER JR, BAILLIE MGL, SCHMIDT B & BECKER B (1984) *A 7272-year tree-ring chronology from Western Europe*. *Nature* 312, 150-152.
- REINIG F, NIEVERGELT D, ESPER J, FRIEDRICH M, HELLE G, HELLMANN L, KROMER B, MORGANTE S, PAULY M, SOOKDEO A, TEGEL W, TREYDTE K, VERSTEGE A, WAKER L & BÜNTGEN U (2018) *New tree-ring evidence for the Late Glacial period from the northern pre-Alps in eastern Switzerland*. *Quaternary Science Reviews* 186, 215-224.
- SCHWEINGRUBER FH (1983) *Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie*. Bern Stuttgart.

→ und Blattnummer: Verweis auf andere Beiträge der Online-Loseblattsammlung.

Zur Ergänzung → 5-01, 6-01.

⁹ ECKSTEIN & WROBEL (2005, 158) fahren unmittelbar fort: „Dennoch ist die Dendrochronologie eine zuverlässige Datierungsmethode. Warum? Das beim Aufbau von

Jahrringchronologien und bei deren Anwendung für Datierungen immer wieder zugrundegelegte Prinzip heißt Replikation (...). Zu Replikation → 5-13.