



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2018

Indogermanische Stammbäume. Datentypen und Methoden

Widmer, Paul

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-152475>

Book Section

Accepted Version

Originally published at:

Widmer, Paul (2018). Indogermanische Stammbäume. Datentypen und Methoden. In: Rieken, Elisabeth; Geupel, Ulrich; Roth, Theresa Maria. 100 Jahre Entzifferung des Hethitischen. Wiesbaden: Reichert, 373-388.

Indogermanische Stammbäume: Datentypen, Methoden

Paul Widmer

Abstract: This contribution discusses the usefulness of phylogenetic trees in diachronic linguistics and addresses some methodological questions that arise due to substantially different processes of linguistic change depending on the type of data that is taken into account. It is argued that trees are useful because they provide explicit hypotheses about the speciation history and thus provide the historical backbone for the modeling of various cultural and linguistic evolutionary processes. Furthermore it is shown that maximum parsimony is a most powerful principle for building trees when applied to lexical data with a very high probability of single birth, but is not applicable to data that evolves in some other way (e. g. multiple independent births or multiple transitions between given states). The evolution of this type of data is best estimated using trees and computational phylogenetic methods.

1 Einleitung

Darüber, dass sich Sprachgeschichte sinnvoll in Form von Stammbäumen modellieren und verstehen lasse, besteht keine Einigkeit. An prominenter Stelle moniert zuletzt etwa François (2015: 167):

„The whole design of the family tree rests on this fiction that a ‘language’ unproblematically forms an atomic unit, and that innovations just ‘happen’ in them.“

In der Tat ist es so, dass ein Stammbaum vorerst keine Informationen darüber enthält, wie die Veränderungen motiviert sind, die die Topologie eines Stammbaums prägen. Auch bieten Stammbäume kein Mass dafür, wie stark sich die Sprachen voneinander unterscheiden. Solche Ähnlichkeiten hängen in geringerem Mass von der vertikalen Transmission von Merkmalen ab als von universellen Entwicklungstrends, Zufall, sozio-ökonomischen, kulturellen und ereignisgeschichtlichen Begebenheiten sowie Umwelteinflüssen. Ein Stammbaum bildet auch keine Kausalitäten ab. Er ist in erster Linie ein Modell der Entwicklungsgeschichte einer Menge von Sprachen, von denen angenommen werden kann, dass sie aufgrund von Speziationsprozessen genealogisch miteinander in Beziehung stehen (Weiss 2015). Die effektiven oder möglichen Ursachen für die stammbaumartige Speziation von verwandten Sprachen sind demnach für Stammbäume insofern nicht relevant, als für die Konstitution eines Stammbaumes zuerst nur die faktisch beobachtbaren oder inferierbaren Veränderungen massgeblich sind, nicht deren Ursachen. In diesem Sinn tritt die Gruppierung von Sprachen aufgrund von Ähnlichkeiten nicht mit Stammbaummodellen in Konkurrenz, da sie jeweils grundsätzlich andere Ziele verfolgen.

Anders als Stammbaummodelle sind Ähnlichkeit und Ähnlichkeitsmasse, wie François (2015) sie verwendet, bezüglich Sprachgeschichte und Sprachentwicklung in dem Sinn agnostisch, als sie in weitaus geringerem Mass, wenn überhaupt, explizite Modelle der

historischen Zusammenhänge unterhalb der untersuchten Sprachen zu generieren im Stande sind (M. List und Guillaume im Druck).¹

Vor diesem Hintergrund werde ich im Folgenden zuerst darauf eingehen, inwiefern sich unterschiedliche Datentypen im Sprachwandel unterscheiden (Kapitel 2). Kapitel 3 beschäftigt sich mit dem Vergleich und der Beurteilung möglicher Geschichten und Stammbäume und Kapitel 4 umreißt, wozu man Stammbäume verwenden kann. Kapitel 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

2 Datentypen und Stammbäume

Auch in der Indogermanistik gibt es keinen Konsens, wie die Topologie des Stammbaums der indogermanischen Sprachen im Einzelnen aussieht. Die Meinungen divergieren schon stark bei der Frage, welche Daten für den Bau von Stammbäumen überhaupt geeignet sind. Clackson (2007: 9) fasst die Situation in der Indogermanistik nüchtern zusammen:

„In constructing a family tree, the shape of the tree depends on what the linguist sees as important.“

Die algorithmusgestützten phylogenetischen Methoden basieren zum Grossteil auf lexikalischen Daten (Wurzeln, Stämme). Dasselbe gilt auch für die in der Geschichte der Indogermanistik entwickelte rein qualitative Stammbaumrekonstruktion, was sich etwa darin manifestiert, dass Fortson (2010: 57–67) bei der Illustration der phonologischen Entsprechungssets des Indogermanischen sich fast ausschliesslich auf Segmente in Wurzelmorphemen stützt. Dies hängt in der Regel ganz einfach mit der Verfügbarkeit von Daten und deren Vergleichbarkeit zusammen: Listen von vergleichbaren semantischen Konzepten, die in möglichst vielen Sprachen existieren (zum Beispiel *LEIBLICHER VATER*, *LEIBLICHE MUTTER*), lassen sich relativ leicht vergleichen, zusammenstellen und qualitativ auf Entlehnungen und generelle Verlässlichkeit überprüfen. Für das Indogermanische stehen zudem dank der gründlichen etymologischen Arbeit seit den Anfängen des Fachs umfangreiche Sammlungen von lexikalischen Kognatensets zur Verfügung, die sich für die Verwendung in der Identifizierung der Stammbaumtopologie bestens eignen und immer auch genutzt wurden.

Dieses lexikonbasierte Vorgehen ist jedoch nicht unumstritten. Heggarty (2014: 572) zum Beispiel äussert deutliche Kritik an quantitativen Methoden, die sich primär auf Lexikon stützen:

„Furthermore, to compare languages only in vocabulary (word meanings and shared origin ‘cognate’ status), as these studies typically do, is very far from the whole linguistic story. With good reason (see Ringe et al. 2002: 65–69; Campbell & Poser 2008: 165–95), language phylogenies are more reliably established from sound and word structures instead (phonology and morphology).“

Wie sind solche Vorbehalte gegen die Verwendung von lexikalischem Material für den Bau von Modellen für die Vorgeschichte von verwandten Sprachen zu beurteilen, und wie geeignet sind die anderen ins Spiel gebrachten morphologischen und phonologischen Datentypen?

Es lässt sich einwenden, dass morphologische und phonologische Daten nicht unabhängig voneinander sind, sondern interdependent (s. auch Chang u. a. 2015). Beide zusammen

1 Die Entwicklung von Modellen, die zum Beispiel auch horizontalen Transfer berücksichtigen, wird vorangetrieben, zuletzt etwa Kelly und Nicholls 2017; Nelson-Sathi u. a. 2010; Willems u. a. 2016. Andererseits zeigen Simulationen, dass die meisten quantitativen Methoden auch bei unentdecktem horizontalem Transfer bis ca. 15% (Greenhill, Currie und Gray 2009) und Homoplasie (Barbaçon u. a. 2013) recht robust sind.

hängen zudem insofern von lexikalischen Daten ab, als beide an lexikalisches Material gebunden sind. Lautentsprechungssets werden typischerweise und am verlässlichsten aus lexikalischem Material gewonnen und erst aus diesen phonologischen Korrespondenzen werden dann in mehreren Validierungsschritten regelmässige Entsprechungen im Sinn von Lautgesetzen abstrahiert. Und auch da ist die Einschätzung bezüglich der zentralen Frage nach den relevanten Neuerungen (Apomorphien) in einem Entsprechungsset nicht trivial (s. auch unten S. 379). Ähnlich verhält es sich mit den meisten morphologischen und morphosyntaktischen Eigenschaften und Einheiten: Morphonologische Alternationen, Derivations- und Flexionsaffixe verlangen ein lexikalisches Element als Host. Auch ist bei morphologischen Kategorien nicht *a priori* klar, welche Kategorien überhaupt verglichen werden dürfen und was gegebenenfalls als Apomorphie anzusehen ist.²

Ein weiterer Grund, weshalb Wurzeln oder Lexeme sich besser eignen für den Bau von Stammbäumen im Sinn von Modellen für die Geschichte verwandter Sprachen, liegt in der Art, wie Wandelprozesse sich bei diesen Datentypen abspielen. Bekanntlich zeigen lexikalische Daten im Sprachwandel ein grundsätzlich anderes Verhalten als phonologische, morphologische und typologische Datentypen (Gray, Atkinson und Greenhill 2011; Dunn 2015: 199f. mit Lit.).

Ergibt sich – nach einer notwendigen und möglichst gründlichen und sorgfältigen qualitativen Beurteilung der Daten –, dass beispielsweise das Entsprechungsset 1 (ES₁; cf. Tabelle 1) in den Sprachen mit Vertretern des Entsprechungssets 2 (ES₂) nicht vorhanden ist (und *vice versa*), lässt sich folgern, dass die Sprachen mit ES₁ in Bezug auf dieses eine Merkmal sich diachron von den beiden Sprachen mit ES₂ in dem Sinn unterscheiden, dass eine der beiden Gruppen eine Neuerung durchgeführt hat. Welches Set sich für die Grundsprache rekonstruieren lässt (ES₁, ES₂, ES₁ und ES₂, weder ES₁ noch ES₂), ist dabei vorerst nicht entscheidbar.

Tabelle 1: Teilentsprechungsset des Konzepts TOCHTER im Indogermanischen

	Luwisch	Vedisch	Litauisch	Lateinisch	Französisch	Armenisch
Formen	<i>tuwat(a)ri</i>	<i>duhitár-</i>	<i>duktė̃</i>	<i>filia</i>	<i>fille</i>	<i>dowstr</i>
Entsprechungsset	1	1	1	2	2	1

Eine grundlegende Eigenschaft lexikalischen Materials des Typs ES₁ ist dabei, dass der Verlust eines vertikalen Signals auf dem normalen Weg der vertikalen Transmission nicht rückgängig gemacht werden kann. Zum Beispiel können das Lateinische und das Französische in Tabelle 1 in einer Vorstufe einen Vertreter von ES₁ gehabt und ihn dann durch einen Vertreter von ES₂ ersetzt haben. Ausgeschlossen ist aber, dass das Lateinische oder das Französische im Rahmen vertikaler Transmission einen Vertreter von ES₁ – in seiner lautgesetzlichen Weiterentwicklung oder auch nicht – wieder einführen kann: Sobald ES₁ also in einer Sprache existiert, ist dessen Verlust die einzig mögliche Zustandsänderung (ggf. mit Ersatz durch ein Mitglied eines anderen Kognatensets). Dasselbe gilt für Elemente des ES₂, sobald die Form in einem synchronen Zustand anhand von kognatem morphologischem Material jeweils nicht wieder hergestellt werden kann: Ein Vorläufer von lat. *filia* hätte vielleicht im Italischen immer wieder gebildet werden können, bei franz. *fille* ist das wahrscheinlich nicht mehr möglich.

² Zur Problematik und zu Vorbehalten bezüglich phonologischen und morphologischen Daten in phylogenetischen Analysen s. auch Ringe, Warnow und Taylor 2002; Taylor, Warnow und Ringe 2000.

Eine Sprache kann also bei solchen Datentypen zum Beispiel ES₁ bewahren oder durch ES₂ ersetzen, aber nach dem Verlust von ES₁ gibt es keinen Weg zurück von ES₂ zu ES₁ (vgl. Abbildung 1). Allerdings sind nicht alle lexikalischen Einheiten gleich probat. Setzt sich ein Lexem zum Beispiel aus einer Wurzel und einem Stammbildungssuffix zusammen, ergibt sich oft die Möglichkeit, dass ein bestimmtes Lexem zwar verloren gegangen sein kann, die Verfügbarkeit von Morphemen und spezifischen Bildungsmustern aber erhalten bleibt, d. h. das Lexem ist zwar mit dem gängigen Prinzip der Maximalen Sparsamkeit (*maximum parsimony*) rekonstruierbar, die Geschichte ist dabei aber eine andere: Die vertikale Transmission war unterbrochen und die verglichenen Lexeme bilden kein Entsprechungsset wie etwa ES₁.

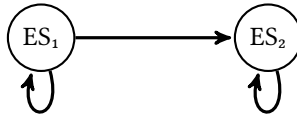


Abbildung 1: Wandelprozess von lexikalischem Material des Typs von ES₁: ES₁ bleibt erhalten oder geht verloren, das Konzept wird dann durch ein anderes Entsprechungsset ausgedrückt, hier ES₂. Eine Rückkehr zu ES₁ ist ausgeschlossen.

So bilden zum Beispiel ved. *ján-as-* und lat. *gen-us-* eine qualitativ gute Gleichung und das Prinzip der Maximalen Sparsamkeit spricht wie im Fall von ES₁ oben für die Rekonstruktion eines Stamms **ǵenh₁-e/os-*. Da aber im Vedischen und ebenso in Vorstufen des Lateinischen auch die Möglichkeit zur Bildung von solchen Stämmen besteht, bleibt die Rekonstruktion einer Kombination von zwei Morphemen **ǵenh₁+e/os-* mit einer Unsicherheit behaftet, die im Fall von ES₁ nicht (oder in einem ungleich geringerem Mass) besteht: Im Vedischen, im Indo-Arischen, im Indo-Iranischen etc. (cf. Stüber 2002: 40–45; Nowicki 1976: 219–224) kann nach dem Verlust eines Fortsetzers von idg. **ǵenh₁+e/os-* (ggf. auch einer zwischenzeitlichen Neubildung) mit den jeweils vorhandenen Mitteln wieder ein entsprechender Stamm neu gebildet werden, solange das morphologische Material verfügbar oder auch neu entstanden ist. Wie oft dies in diesem Fall in der langen Geschichte des Indogermanischen geschehen ist, lässt sich mit rein qualitativen Methoden nicht beurteilen.

Die Verwendung des Prinzips der Maximalen Sparsamkeit in der Rekonstruktion insinuiert hier also, dass die Unsicherheit der Rekonstruktion bei ved. *jánas-* und **d^hugHter-* (ES₁) dieselbe ist, während sie grundverschieden sind, vgl. Abbildung 2.

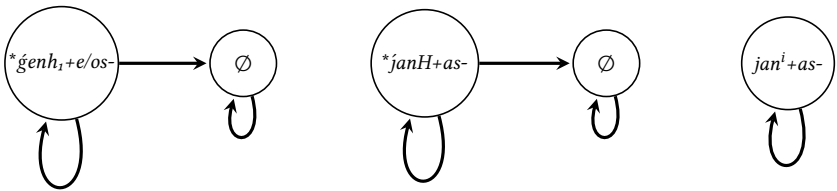


Abbildung 2: Ein Stamm kann in der Geschichte jeweils gebildet werden, verschwinden und jeweils unabhängig wieder gebildet werden, sofern das morphologische Material vorhanden ist. Chronologisch von links nach rechts: Indogermanisch, Indo-Iranisch, Vedisch.

Flexionsmorphologie ist in den meisten Fällen noch unsicherer. Kategorien lassen sich hier vielleicht rekonstruieren, das morphologische Material ist im Einzelnen aber oft umstritten und kontrovers. Zum Beispiel wird der Akkusativ Plural der *ā*-Stämme im Griechischen auf *-ns* (Brugmann 1913: 273f.; Rix 1992: 133) zumeist so erklärt, dass das *-n-* durch Analogie wieder eingeführt worden ist, nachdem es bereits im Indogermanischen durch Stangs Gesetz in einer Ausgangsform **-ah₂-ns* geschwunden war (Mayrhofer 1986: 164; Rix 1992: 75, 133). Wir haben hier demnach einen Wandel idg. *-ns* > *-s* > *-ns* > *-s* wie in Abbildung 3 dargestellt, und wir können qualitativ mit keinem Mittel beurteilen, wie oft dieses und vergleichbare Morpheme in der Vorgeschichte einer beliebigen Sprache von einem Zustand in einen anderen gewechselt haben. Die prinzipielle Versatilität des Datentyps ist deshalb mit der Anwendung der Maximalen Sparsamkeit nicht vereinbar.

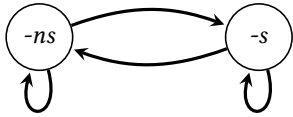


Abbildung 3: Wechsel zwischen 2 morphologischen Zuständen.

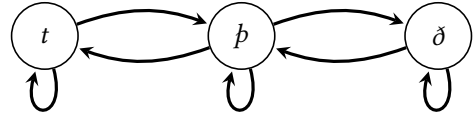


Abbildung 4: Wechsel zwischen 3 phonologischen Zuständen.

Es ist ziemlich sicher, dass es im Wandelverhalten der verschiedenen Derivations- und Flexionsmorpheme grosse Unterschiede gibt, doch gibt es dazu derzeit wenig sicheres Wissen. Wichtig ist an dieser Stelle lediglich, dass Derivations- und Flexionsmorphologie als Datentyp sich deutlich von Wurzeln und synchron nicht bildbaren Stämmen unterscheidet.

Vergleichbar gelagert sind phonologische Daten. Nimmt man zum Beispiel das mittelschwedische *hundra* ‚Hundert‘ (Bsp. 1), sieht man im Auslaut ein *-t*, das mit dem *-t-* der rekonstruierbaren Form *k̑m̑to-rato-* (o. ä.) übereinstimmt (Noreen 1904: 203). Ein Lautwandel mit drei Zuständen ist hier also vollständig rückgängig gemacht worden, vgl. oben Abbildung 4.

- (1) vorurgerm. *k̑m̑to-rato-* > germ. *hundraþa-* > nordgerm. *hundrað(-)* > altschwed. *hund-rath* > mittelschwed. *hundra*

Für das Mittelschwedische können wir qualitativ aufgrund von geographischer und historischer Information abschätzen, dass die Wahrscheinlichkeit des ökonomischsten Modells, das mittelschwedisch *t* ohne Zwischenstufen mit seinem idg. Entsprechungsset in Verbindung bringt, nicht sehr gross ist. Kennt man die Vorgeschichte jedoch nicht, kann es geschehen, dass von vier Sprachen zwei davon unabhängig voneinander im Moment der Überlieferung zufällig den selben Wert aufweisen, zum Beispiel *ð*, zwei andere aber *t*, eine Situation, die für sich alleine betrachtet Anlass gibt, eine gemeinsame Neuerung und damit eine Speziation zu vermuten, wo tatsächlich eine Homoplasie besteht.

Der Unterschied zwischen den Datentypen in ihrem historischen Verhalten ist in den Abbildungen 5 und 6 auf S. 378 visualisiert. Daten des Typs ES₁ verhalten sich in der vertikalen Transmission grundsätzlich wie zum Beispiel „grau“ oder „schwarz“ in Abbildung 5 gemäss der Maximalen Sparsamkeit. Eine Geschichte wie in Abbildung 6 hingegen ist extrem unwahrscheinlich: Ein Datenpunkt dieses Typs kann nach seinem gänzlichen Verschwinden kaum wieder auftauchen. Anders morphologische und phonologische Datentypen: Für viele dieser Daten ist die sparsamste Geschichte wie in Abbildung 5 nicht die wahrscheinlichste,

sondern eine sehr wenig wahrscheinliche unter vielen möglichen, und unter den vielen möglichen Geschichten enthält die grosse Mehrheit mehrere Zustandswechsel wie in Abbildung 6 (vgl. auch Dunn 2015: 200).

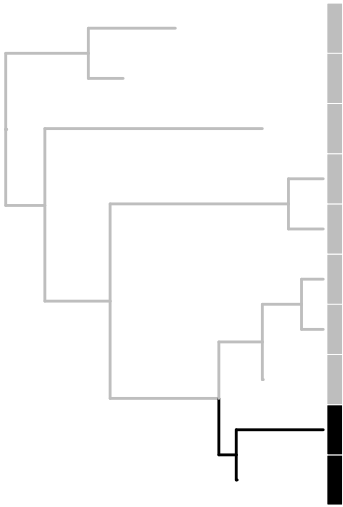


Abbildung 5: Rekonstruktion mit Maximaler Sparsamkeit

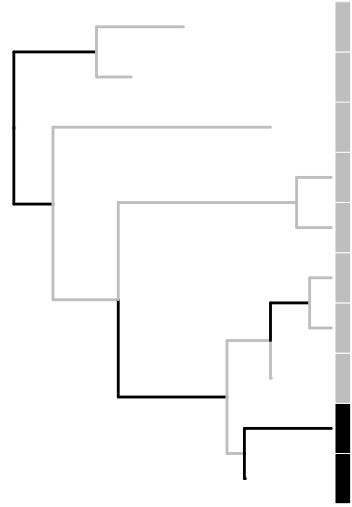


Abbildung 6: Rekonstruktion ohne Maximale Sparsamkeit

Der irreversible Verlust lexikalischer Daten ist im Übrigen auch verantwortlich dafür, dass das Alter von rekonstruierbaren Familien systematisch beschränkt ist. Mit dem Verlust des lexikalischen Materials verstummt auch das sprachfamilienspezifische Signal jeweils nach einer bestimmten Zeit (ca. 7000–8000 Jahre), was die Zeittiefe für die Rekonstruierbarkeit auch des Indogermanischen systematisch begrenzt. Abweichend davon können die Datentypen, die zwischen mehreren Zuständen wiederholt wechseln können, Signale enthalten, die für grössere Zeittiefen geeignet sind (vgl. zum Beispiel Dediu und Levinson 2012).

Spezifische Lexeme wie **d^hugHter-* und Wurzeln eignen sich also als Datentyp besser für die Modellentwicklung, weil sie anders als andere Datentypen aufgrund prinzipiell irreversibler Änderungen der Zustände unzweideutigere Signale geben, insbesondere im Fall von Verlust eines Signals wie bei ES₁ (**d^hugHter-*). Die Wahrscheinlichkeit von Homoplasien ist minim und das Prinzip der Maximalen Sparsamkeit ist in diesen Fällen mit geringer Unsicherheit behaftet. Auf jeden Fall ist es für die Entwicklung von Modellen sinnvoll, Datentypen, die nur einmal entstehen und verschwinden können, prinzipiell von Datentypen zu trennen, die mehrmals entstehen und verschwinden bzw. zwischen mehreren Zuständen frei wechseln können.

3 Beurteilung von Stammbäumen

Konzentriert man sich auf lexikalisches Material und Wurzeln ergeben sich andere Probleme, die zu Unsicherheit in der Rekonstruktion der Geschichte führen (vgl. zum Beispiel Chang u. a. 2015; Geisler und J.-M. List im Druck; M. List und Guillaume im Druck; Weiss 2015). Die geläufigsten Unsicherheiten ergeben sich etwa durch falsche etymologische Verbindungen, ererbte Variation, Homoplasie, nicht erkennbare Entlehnungen durch konvergente Entwicklung oder auch vertikale Entlehnungen, d. h. Entlehnungen aus eigenen Vorstufen, die in

bestimmten Bereichen weiter Verwendung finden (zum Beispiel lateinisches Lehngut im Romanischen). Hinzu kommt weiter das Nichterkennen von familieninternem horizontalem Transfer, der dadurch verdeckt wird, dass nur eine geringe Anzahl der tatsächlich jemals gesprochenen Sprachen und Sprachzweige des Indogermanischen überhaupt überliefert ist. All dies ist insofern wichtig, als es systematisch die Qualität auch der bestmöglichen Datenpunkte einschränkt.

Eine weitere Quelle für Unsicherheit – und dadurch konfligierende Modelle – liegt allein in der Vielzahl der möglichen Geschichten. Die Daten in Tabelle 1 auf S. 375 zum Beispiel lassen sich zwar ungezwungen so in einem Entwicklungsmodell interpretieren, dass entweder ES₁ oder ES₂ als Apomorphie anzusehen ist: ES₁ wird vertikal weitergegeben wie in Abbildung 7a und das apomorphe ES₂ ersetzt ES₁ oder *vice versa* (Abbildung 7b). Es ist weiter auch möglich, dass beide in der Vorgeschichte vorhanden waren und die Neuerung darin besteht, dass in einem Zweig das eine und im anderen Zweig das andere vertikale Signal verloren gegangen ist (vgl. Abbildung 7c). Letztlich können auch ES₁ und ES₂ beide geneuert sein wie in Abbildung 7d.

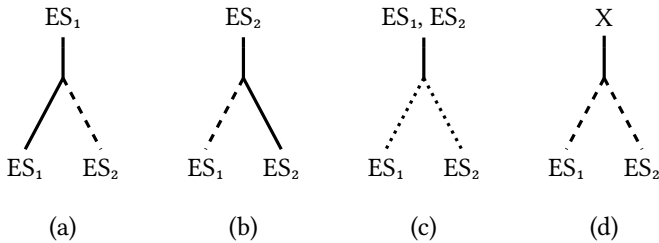


Abbildung 7: Mögliche Modelle für die Entwicklung der Daten aus Tabelle 1 (gezogene Linie: vertikal weitergegeben; gestrichelte Linie: geneuert; gepunktete Linie: ein Merkmal weitergegeben, eines verloren): (a) ES₂ geneuert; (b) ES₁ geneuert; (c): Verlust von ES₁ bzw. ES₂; (d): ES₁ und ES₂ geneuert.

Aufgrund der Vielzahl von Möglichkeiten und der Unsicherheit der Daten hat jeder Datenpunkt eine beträchtliche Anzahl möglicher Geschichten und dies kann für eine einzige Sprache zu vielen widersprüchlichen Signalen führen, die in Unkenntnis der ereignisgeschichtlichen Zusammenhänge die Art und Anzahl der möglichen Hypothesen und Modelle stark beeinflussen.

In Abhängigkeit vom Datenpunkt oder Datentyp kann in einem Extremszenario eine Sprache in einem Stammbaum auftauchen oder auch gänzlich fehlen. Ein bekanntes Beispiel ist das Michif, eine Sprache, deren nominales Lexikon fast ausschliesslich romanisch ist, während das verbale Lexikon aus dem Cree stammt. Betrachtet man nur das nominale und pronominale Lexikon (vgl. *fâm* 'Frau' in Tabelle 2 auf S. 380), kann man diese Sprache in einem romanischen Stammbaum im galloromanischen Zweig nahe beim Französischen angliedern. Verfügt man zufällig ausschliesslich über verbale Datenpunkte, wird man die Sprache nicht in einen romanischen Stammbaum integrieren.

Dieses Szenario mutet extrem an, doch gibt es keine Veranlassung anzunehmen, dass vergleichbare Prozesse in der langen Geschichte der indogermanischen Familie sowohl mit verwandten indogermanischen als auch mit nicht-indogermanischen Sprachen nicht auch stattgefunden haben (zum Beispiel Ringe, Warnow und Taylor 2002: 63ff. zu mittellengl. Dialekten mit weiterer Literatur).

Tabelle 2: FRAU in einigen romanischen Sprachen und dem Michif (zitiert nach M. List und Guillaume im Druck).

	Latein	Französisch	Portugiesisch	Michif
FRAU	<i>femina</i>	<i>femme</i> [fam]	<i>femea</i>	<i>fâm</i>

Prinzipiell liessen sich alle Fragen mit qualitativen Methoden lösen, doch fehlen dazu die Voraussetzungen und werden immer fehlen: Notwendig wären eine umfassende Dokumentation aller jemals gesprochenen indogermanischen Sprachen. Mangels Kriterien erfährt dadurch die Geschichte jeder untersuchten Einheit eine Interpretation durch den jeweiligen Forscher, was aufgrund der vielen Unsicherheiten oft zu stark divergierenden Meinungen und Vorstellungen führt. Wie kann man die Vielzahl von möglichen Hypothesen und Modellen vergleichen und beurteilen und wie mit der vorhandenen Unsicherheit umgehen?

Der methodenaffine Meillet war sich der Beurteilungsproblematik bereits gänzlich bewusst und hielt bezüglich der Verwandtschaft der romanischen Sprachen fest, dass die Beurteilungskriterien für Modelle bezüglich Stammbäumen immer probabilistischer Natur sind:

„Tout le problème de méthode porte donc sur l’appréciation du hasard : le linguiste, observant que les dés retombent souvent du même côté, conclut qu’ils sont pipés. Mais combien de correspondances faut-il rencontrer pour qu’on considère comme inadmissible le caractère fortuit de la rencontre ?“ (Meillet 1925: 103)

Er schliesst zwar den Gebrauch der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus, bringt die Probleme der qualitativen Arbeit aber auf den Punkt:

„Par cela de la qualité, les détails particuliers en doivent être appréciés en chaque cas, il dépend du tact, du jugement, du bon sens des linguistes de tirer des faits le parti qui convient. Tous les linguistes ne sentent pas les choses de la même manière. ... Ce « coefficient personnel » explique beaucoup de divergences entre les linguistes. Et il y a des esprits faux qui ne sont capables d’apprécier la juste valeur d’aucun rapprochement. Mais, avec l’exercice et en examinant des séries de faits bien établis, on acquiert une expérience grâce à laquelle on peut juger correctement des divers types de faits comparés.“ (Meillet 1925: 104)

Die Lösung liegt gemäss Meillet demnach in der Erfahrung und der Autorität des Forschers, dank dem es gelingen soll, den „coefficient personnel“ zu überwinden, d. h. in der qualitativen Beurteilung von Modellen.

Bei rein qualitativen Methoden übersteigt jedoch die Vielzahl der möglichen Hypothesen und Modelle die Möglichkeiten auch des besten und erfahrensten Linguisten. Für einen rein binär verzweigenden Stammbaum mit einer Wurzel kann die Anzahl möglicher Bäume mit der Formel in (2) berechnet werden, in der n für die Anzahl berücksichtigter Sprachen (Taxa) steht (Yang 2014: 74).

$$(2) \quad \frac{(2n-3)!}{2^{n-2}(n-2)!}$$

Bei fünf Sprachen ergeben sich daraus 105 mögliche Stammbäume, bei zehn Sprachen schon eine furchteinflössende Menge von 34'459'425 möglichen Geschichten. Auch wenn

von diesem Urwald nur ein Tausendstel aller Bäume gut genug ist, um ernsthaft qualitativ untersucht und geprüft zu werden, bleiben immer noch über 34'000 mögliche Stammbäume.

Typischerweise wird angesichts dieser Menge das beigezogene Material so reduziert, dass ein bestimmtes Set von Datenpunkten ausgewählt wird, die alle mit einer ganz bestimmten Hypothese vereinbar sind. Die Erfahrung zeigt aber, dass in vielen Fällen die Meinungen über die richtige Wahl der Daten und deren Interpretation stark auseinandergehen, ganz abgesehen davon, dass eine Entscheidung zwischen zwei Modellen ohnehin sehr problematisch ist, da die verfügbaren Daten qualitativ nicht hochwertig genug sind, um zur tatsächlichen Geschichte vorzudringen.

Als mögliches Kriterium für die Rekonstruktion einer untersuchten Einheit wird oft implizit oder explizit die Quantität der Präsenz gewertet. Im Fall von Datentypen, für die Maximale Sparsamkeit als Methode anwendbar ist, kann dieses Verfahren sinnvoll sein. Die Wurzel **h₁es-* kann man zum Beispiel aufgrund dieses Kriteriums mit hoher Wahrscheinlichkeit für das Indogermanische rekonstruieren. Ebenso ist die Geschichte von **d^hugHter-* (ES₁) aus Tabelle 1 auf S. 375 mit hoher Wahrscheinlichkeit rekonstruierbar, was bedeutet, dass die Geschichte von **d^hugHter-* im Stammbaum nie unterbrochen war (vgl. Abbildung 5 auf S. 378). Dass die Geschichte einer Wurzel wie **h₁es* oder von **d^hugHter-* von ganzlichem Verlust und – unter Ausschluss von horizontaler und vertikaler Entlehnung – von folgendem unabhängigem erneuten Entstehen geprägt ist (schematisch dargestellt in Abbildung 6 auf S. 378), ist sehr unwahrscheinlich und meines Wissens auch nie behauptet worden.

Wie kann im Fall von Datentypen, für die Maximale Sparsamkeit kein zuverlässiges Beurteilungskriterium ist, eine sinnvolle Antwort auf Meillet's Frage „Mais combien de correspondances faut-il rencontrer pour qu'on considère comme inadmissible le caractère fortuit de la rencontre?“ lauten? Die Menge der Vertretungen kann in solchen Fällen nicht als Argument für die Rekonstruktion eingebracht werden, da diese Zahl nicht zuverlässig ist: Die Geschichte solcher Datentypen lässt sich nicht allein anhand der synchronen Verteilung in den berücksichtigten Einzelsprachen ermitteln. Es ist auch dieser Umstand, der der Einsicht in der Typologie zugrunde liegt, dass sich typologische Verteilungen nicht allein aus synchronen Zuständen verstehen lassen, da ein synchroner Zustand immer auch von Zuständen in der jüngeren und/oder älteren Geschichte einer Sprache abhängt (zum Beispiel Maslova 2000).³

Die Abbildung 8 auf S. 382 illustriert das Problem. Die beiden Graphiken in der oberen Reihe zeigen jeweils zwei mögliche Geschichten eines Merkmals mit zwei möglichen Zuständen „schwarz“ (20% der Sprachen) und „grau“ (80% der Sprachen; zum Beispiel „Genitiv Sg. -i bei o-Stämmen vorhanden (schwarz) oder nicht vorhanden (grau)“). Obwohl „grau“ quantitativ zum Zeitpunkt der Dokumentation der Sprachen überwiegt, kann die Geschichte doch von „schwarz“ dominiert sein, d. h. das Merkmal war in vielen zufällig nicht überlieferten Sprachen im Zustand „schwarz“. Auch die Anzahl der Wechsel zwischen den beiden Zuständen ist in beiden Szenarien identisch, sie sind gemäss dem Prinzip der Maximalen Sparsamkeit gleichwertig.

Auch wenn „schwarz“ in 30% der Sprachen belegt ist wie in der unteren Reihe in Abbildung 8, gibt es immer noch viele mögliche Szenarien, in denen die Geschichte weniger von „schwarz“ geprägt ist (rechte Abbildung der unteren Reihe, 29%) als in der oberen Reihe mit weniger Sprachen im Zustand „schwarz“.

3 Dies macht die Typologie (und Universalienforschung) zu einer diachronen Disziplin: „Linguistic typology will turn into a diachronic discipline, in which synchronic tendencies and universals will be derived from the dynamics of language change“ (Cysouw 2011: 429f.). Die Tragweite dieser Erkenntnis für eine genuin diachrone Sprachwissenschaft wie die Indogermanistik braucht an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt zu werden.

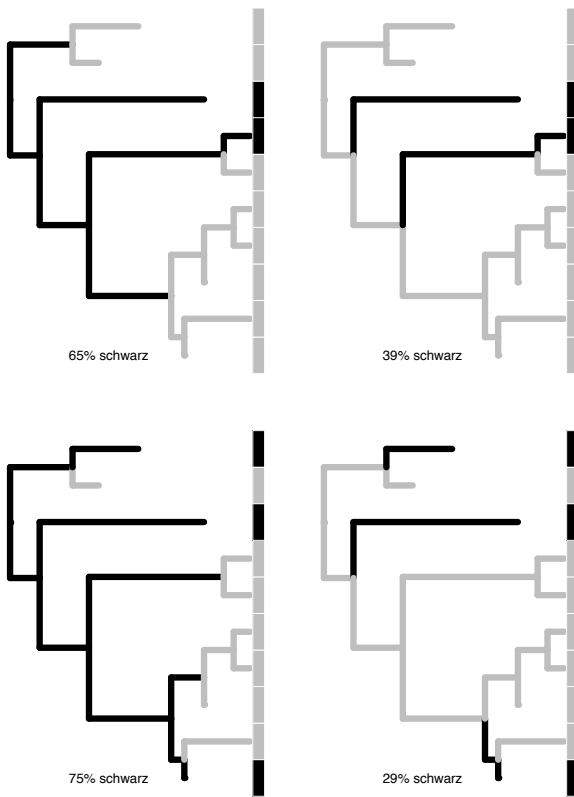


Abbildung 8: Zwei von vielen möglichen Geschichten von einem Merkmal mit zwei Zuständen. *Obere Reihe*: 20% der Sprachen sind im Zustand „schwarz“; das Szenario links ist vom Zustand „schwarz“ dominiert, Szenario rechts von „grau“; beide Szenarien sind gleich sparsam (drei Zustandswechsel). *Untere Reihe*: 30% der Sprachen sind im Zustand „schwarz“; das Szenario links ist vom Zustand „schwarz“ dominiert, Szenario rechts von „grau“; beide Szenarien sind gleich sparsam (vier Zustandswechsel).

Eine kleine Simulation der Geschichte in einzelnen Schritten von ca. 30 Jahren (etwa eine Sprechergeneration; cf. Abbildung 9 auf S. 383) zeigt, dass unter dem gewählten Modell beide Zustände problemlos rekonstruierbar sind, wobei „grau“ in der Geschichte immer wahrscheinlicher ist als „schwarz“. Zentral ist dabei, dass nicht versucht wird, einen bestimmten Zustand zu rekonstruieren, sondern es wird die Unsicherheit der möglichen Rekonstruktion und der Geschichte in der Entwicklung beziffert.

Aus der quantitativen Verteilung der Merkmale in den Sprachen allein lassen sich demnach keine eindeutigen Schlüsse ziehen und es ist nicht möglich zu bestimmen, welches Modell der Geschichte in Form von möglichen Stammbäumen das richtige ist. Eine Alternative zur Einengung der Datenpunkte und der damit einhergehenden starken Reduktion der möglichen Hypothesen und Modelle besteht in der Verbreiterung der Datenbasis: Anstatt sich auf ein ganz spezifisches Modell festzulegen und einzelne Datenpunkte zu isolieren, die diese Geschichte unterstützen könnten, nimmt man möglichst viele Modelle und schätzt die

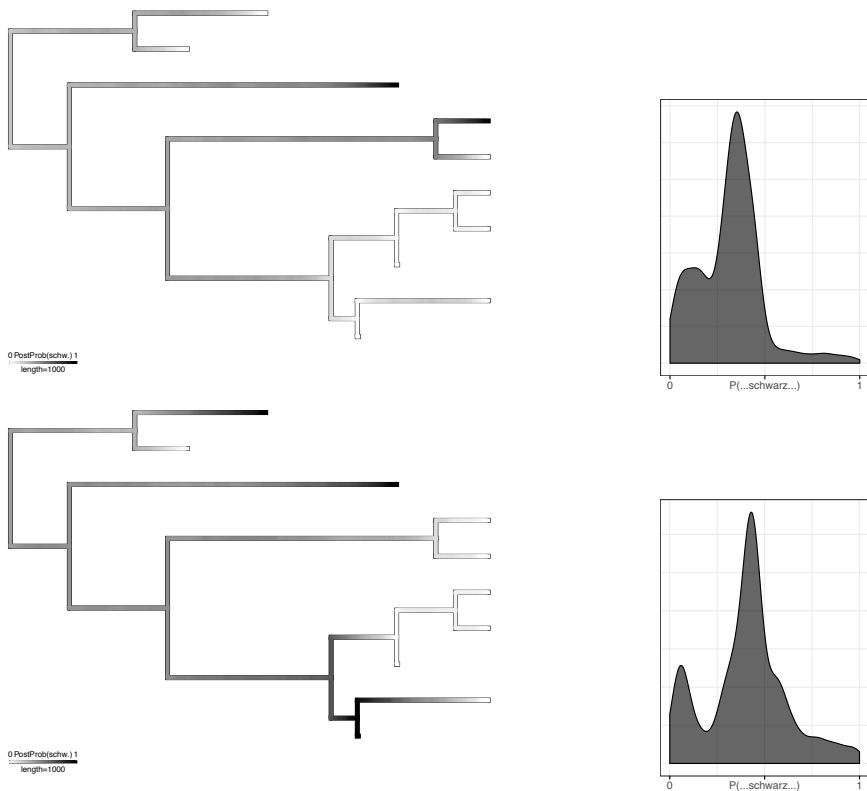


Abbildung 9: Simulation: Schätzung der *posterior probability distribution* der zwei Zustände „schwarz“ und „grau“ aus den Verteilungen aus Abbildung 8; visualisiert mit Hilfe von Graustufen über Zeit (linke Kolumne) und als Dichteplots der geschätzten Wahrscheinlichkeit für den Zustand „schwarz“ für jede Sprache in ca. 30-Jahresschritten. Zu den Methoden s. Widmer u. a. (2017).

sowieso bestehende Unsicherheit der Geschichte(n) ab. Dafür gibt es seit einiger Zeit phylogenetische Methoden, die genau das leisten. Die derzeit leistungsfähigsten Methoden basieren auf dem Bayes'schen Wahrscheinlichkeitsbegriff, ich verweise hier auf die Beschreibungen (mit Literatur) von Dunn (2015) und Greenhill und Gray (2009).

Kurz zusammengefasst erlauben diese Methoden, aufgrund von definierbaren Modellparametern und anhand der qualitativ überprüften Daten, in dem riesigen Wald der möglichen Stammbäume die besten Stammbäume für die Geschichte der betrachteten Sprachen auszuwählen: Mit einem definierbaren Modell für Wandelprozesse wird dabei mit einer *maximum likelihood*-Methode ein Wert errechnet, der ein Mass dafür ist, wie gut der untersuchte mögliche Baum die Daten unter dem gegebenen Modell erklären kann.⁴ Ist ein solcher Wert errechnet, wird der betrachtete Baum etwas verändert (zum Beispiel seine Topologie) und dessen *likelihood*-Wert mit dem Wert des vorherigen verglichen. Die derzeit verwendeten Suchalgorithmen basieren dabei auf der *Markov Chain Monte Carlo*-Methode (MCMC). Der

4 In ein solches Modell kann auch nicht-linguistisches Wissen integriert werden, zum Beispiel Angaben über bekannte Bifurkationen wie etwa die des Lateinischen zum Romanischen etc., so zum Beispiel Chang u. a. 2015.

Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden und generiert ein grosses Set an möglichen Bäumen, mit dem dann weiter gearbeitet werden kann.

Der Vorteil der Methode liegt auf der Hand: Anstatt sich mit Hilfe eines kleinen eklektischen Datensets auf ein dadurch bestimmtes Subset von möglichen Stammbäumen festzulegen und dabei eine enorme Menge von Daten und möglichen Geschichten aussen vor zu lassen, werden hier alle möglichen Stammbäume, die bestimmbar Qualitätskriterien genügen, berücksichtigt und die Unsicherheit der Rekonstruktion beurteilt.

Diese Menge der errechneten möglichen Stammbäume gibt freilich nicht die „wahre“ Geschichte der Sprachfamilie wieder, sondern nur die möglichen Geschichten, die durch die Menge und besonders auch die Qualität der verfügbaren Daten und die getroffenen Annahmen zum Sprachwandel bestimmt sind. Die Stammbäume haben aber den enormen Vorteil, dass man mit ihnen abschätzen kann, wie unsicher eine mögliche Geschichte mit den gegebenen Daten unter einem gegebenen Modell ist, und die verschiedenen Modelle, die von der Expertise des Forschers und dessen „coefficient personnel“ geprägt sind, lassen sich vergleichen.

4 Verwendung von Stammbäumen

Die vielen möglichen Stammbäume, die für ein homogenes Set von qualitativ hochstehenden Daten mögliche Geschichten mit einer abschätzbaren Unsicherheit beschreiben, sind für die historische Sprachwissenschaft von hohem Wert: Sie bilden als diachrones Modell das Rückgrat, anhand dessen die Entwicklung verschiedenster Datentypen untersucht und modelliert werden kann und der Vergleich verschiedener Hypothesen ermöglicht wird.

Die Anwendungsbereiche in der Indogermanistik sind vielfältig. Zum Beispiel kann man die errechneten möglichen Bäume zu einem MCC-Baum (*maximum credibility clade*) zusammenfassen und die Konfidenz für die dabei errechneten Knoten beziffern (vgl. zum Beispiel Chang u. a. 2015: 199). Gerade in den letzten Jahren hat die Verwendung phylogenetischer Methoden auch viel zur Diskussion der Datierung des Indogermanischen beigetragen und mit der damit verbunden Urheimatfrage sehr viel Rauschen im Blätterwald auch einer breiten Öffentlichkeit verursacht. In einer gut erforschten Familie wie dem Indogermanischen ist diese Anwendung derzeit weniger relevant als in anderen Familien.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen in der Modellierung der Koevolution von Sprache und anderen Kulturgütern (Religion, Kunst, Musik, Poetik, Artefakte etc.), in der Modellierung von Sprachkontakt, Phylogeographie und in erster Linie natürlich in der Rekonstruktion der Morphologie, Phonologie und Syntax, d. h. in den Datentypen, die mehr als einmal entstehen und/oder mehrfach in der Geschichte des Indogermanischen zwischen zwei oder mehr verschiedenen Zuständen wechseln konnten. Widmer u. a. (2017) rekonstruieren zum Beispiel mit Hilfe eines Sets an gut befundenen Bäumen aus Chang u. a. 2015 und „Mapping the Origins and Expansion of the Indo-European Language Family“ 2012, dass es in der Geschichte des Indogermanischen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit immer mindestens ein morphosyntaktisches Verfahren gegeben hat, um eine Nominalphrase in eine Nominalphrase rekursiv einzubetten, zum Beispiel mit Adjektiven wie in (3) oder mit Komposita wie in (4).

(3) [[[*laksa-ññ-ai*] *klautsai-šš-e*] *spe[l]*]
Fisch-ADJZ-OBL.SG.F Ohr(F)-ADJZ-NOM/OBL.SG.M Umschlag(M).NOM/OBL.SG

(medizinischer) Wickel aus Ohren von Fischen

(Toch. B, PK AS 3Bb2; Adams 2009: 304)

(4) [[[Auto-] reifen-] wechsel]

Die Rekonstruktion der Geschichte dieser Art Rekursion zeigt, dass mit 97%iger Wahrscheinlichkeit jede einzelne Sprache in der Geschichte des Indogermanischen mindestens eines der untersuchten morphosyntaktischen Verfahren gehabt hat. Daraus lässt sich schliessen, dass das Indogermanische auch mindestens ein solches Verfahren kannte und damit rekursive Einbettung erlaubte.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag habe ich versucht zu zeigen, dass es sinnvoll ist, für den Bau von Stammbäumen Datentypen zu verwenden, die sich bezüglich Sprachwandel homogen verhalten. Gut geeignet sind dafür Wurzeln und die lexikalischen Daten, die mit hoher Wahrscheinlichkeit in einer Familie nur einmal entstehen, d. h. nach dem einmaligen Verlust in der vertikalen Transmission nicht wieder auftauchen.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die verfügbaren Sprachdaten grundsätzlich auch nach sorgfältigster qualitativer Überprüfung wahrscheinlich immer noch sehr viele Störsignale enthalten, und zudem ist aus der Geschichte des Indogermanischen nur ein geringer Anteil aller jemals gesprochenen Sprachen überliefert. Jeder überlieferte Datenpunkt generiert somit potentiell einen eigenen Stammbaum und es ist evident, dass diese Stammbäume nur teilweise zu einem einheitlichen Stammbaum konvergieren können. Anstatt die Menge konfligierender Signale mittels eklektischer Reduktion der Datenpunkte *a priori* zu reduzieren und sich dann auf ein daraus extrahiertes Modell festzulegen, ist es sicherer, die Menge an möglichen Modellen beizubehalten und die durch die konfligierenden Signale hervorgerufene Unsicherheit zu benennen. Dies führt zwar oft zu uneindeutigen Rekonstruktionen, auf diese Weise aber können verschiedene Rekonstruktionen und Modelle verglichen und weiterer qualitativer Analyse zugeführt werden.

So nützlich Stammbäume auch sind, sie wachsen nicht in den Himmel: Sie enthalten in ihrer urständigen Form keine oder nur wenig Information über die Ähnlichkeiten der berücksichtigten Sprachen, über ihre typologischen Eigenschaften, über die Wanderungen, die die Träger absolviert haben, über die externen und internen Ursachen für Sprachwandel, die dazu geführt haben, dass die Sprachen zum Zeitpunkt der Überlieferung so sind, wie sie sind. Stammbäume bilden primär nur die Anwesenheit vertikaler Transmissionsprozesse ab. Darin liegt aber ihr Wert: Sie formulieren explizite Modelle und Hypothesen zur Geschichte des Indogermanischen.

Literatur

- Adams, Douglas Q. (2009). „Genitive and adjective in Tocharian“. In: *Journal of Indo-European Studies* 37.3&4, 299–320.
- Barbançon, François, Steven N. Evans, Luay Nakhleh, Don Ringe und Tandy Warnow (2013). „An experimental study comparing linguistic phylogenetic reconstruction methods“. In: *Diachronica* 30.2, 143–170. doi: 10.1075/dia.30.2.01bar.
- Brugmann, Karl (1913). *Griechische Grammatik. Lautlehre, Stammbildungs- und Flexionslehre, Syntax*. 4. Aufl. München: Beck.
- Campbell, Lyle und William J. Poser (2008). *Language classification. History and method*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chang, Will, Chundra Cathcart, David Hall und Andrew Garrett (2015). „Ancestry-constrained phylogenetic analysis supports the Indo-European steppe hypothesis“. In: *Language* 91, 194–244.

- Clackson, James (2007). *Indo-European Linguistics. An Introduction*. Cambridge & New York: Cambridge University Press.
- Cysouw, Michael (2011). „Understanding transition probabilities“. In: *Linguistic Typology* 15, 415–431.
- Dediu, Dan und Stephen C. Levinson (2012). „Abstract Profiles of Structural Stability Point to Universal Tendencies, Family-Specific Factors, and Ancient Connections between Languages“. In: *PLOS ONE* 7.9, 1–15. DOI: 10.1371/journal.pone.0045198.
- Dunn, Michael J. (2015). „Language phylogenies“. In: *The Routledge handbook of historical linguistics*. Hrsg. von Claire Bowerman und Bethwyn Evans. London: Routledge, 190–211.
- Fortson, Benjamin W. (2010). *Indo-European Language and Culture. An Introduction*. 2. Aufl. Oxford: Blackwell.
- François, Alexandre (2015). „Trees, waves and linkages. Models of language diversification“. In: *The Routledge handbook of historical linguistics*. Hrsg. von Claire Bowerman und Bethwyn Evans. London: Routledge, 161–189.
- Geisler, Hans und Johann-Mattis List (im Druck). „Beautiful trees on unstable ground. Notes on the data problem in lexicostatistics“. In: *Die Ausbreitung des Indogermanischen*. Hrsg. von Heinrich Hettrich.
- Gray, Russell D., Quentin D. Atkinson und Simon J. Greenhill (2011). „Language evolution and human history. What a difference a date makes“. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 366.1567, 1090–1100. DOI: 10.1098/rstb.2010.0378.
- Greenhill, Simon J., Thomas E. Currie und Russell D. Gray (2009). „Does horizontal transmission invalidate cultural phylogenies?“ In: *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 276.1665, 2299–2306. DOI: 10.1098/rspb.2008.1944.
- Greenhill, Simon J. und Russell D. Gray (2009). „Austronesian language phylogenies. Myths and misconceptions about Bayesian computational methods“. In: *Austronesian Historical Linguistics and Culture History*. A festschrift for Robert Blust. Hrsg. von K. Alexander Adelaar und Andrew Pawley. Canberra: Pacific Linguistics, 375–397.
- Heggarty, Paul (2014). „Prehistory by Bayesian phylogenetics? The state of the art on Indo-European origins“. In: *Antiquity* 88.340, 566–577. DOI: 10.1017/S0003598X00101188.
- Kelly, Luke J. und Geoff K. Nicholls (2017). *Lateral transfer in Stochastic Dollo models*. URL: <https://arxiv.org/abs/1601.07931v3> (besucht am 16. 03. 2017).
- List, Mattis und Jacques Guillaume (im Druck). *Save the trees*. Why we need tree models in linguistic reconstruction (and when we should apply them).
- „Mapping the Origins and Expansion of the Indo-European Language Family“ (2012). In: *Science* 337, 957–960.
- Maslova, Elena (2000). „A dynamic approach to the verification of distributional universals“. In: *Linguistic Typology* 4, 307–333.
- Mayrhofer, Manfred (1986). „Lautlehre“. In: *Indogermanische Grammatik*. Hrsg. von Warren Cowgill und Manfred Mayrhofer. Bd. 1. Heidelberg: Winter, 73–216.
- Meillet, Antoine (1925). *La méthode comparative en linguistique historique*. Oslo: Aschehoug.
- Nelson-Sathi, Shijulal, Johann-Mattis List, Hans Geisler, Heiner Fangerau, Russell D. Gray, William Martin und Tal Dagan (2010). „Networks uncover hidden lexical borrowing in Indo-European language evolution“. In: *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. ISSN: 0962-8452. DOI: 10.1098/rspb.2010.1917. eprint: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/early/2010/11/23/rspb.2010.1917.full.pdf>. URL: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/early/2010/11/23/rspb.2010.1917>.
- Noreen, Adolf (1904). *Altschwedische Grammatik mit Einschluss des Altguthnischen*. Halle: Niemeyer.
- Nowicki, Helmut (1976). „Die neutralen s-Stämme im indo-iranischen Zweig des Indogermanischen“. Diss. Würzburg: Universität Würzburg.
- Ringe, Don, Tandy Warnow und Ann Taylor (2002). „Indo-European and computational cladistics“. In: *Transactions of the Philological Society* 100, 59–129.
- Rix, Helmut (1992). *Historische Grammatik des Griechischen. Laut- und Formenlehre*. 2. Aufl. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Stüber, Karin (2002). *Die primären s-Stämme des Indogermanischen*. Wiesbaden: Reichert.

- Taylor, Ann, Tandy Warnow und Don Ringe (2000). „Character-based reconstruction of a linguistic cladogram“. In: *Historical linguistics 1995*. Hrsg. von John Charles Smith und Delia Bentley. Bd. 1. Amsterdam: Benjamins, 393–408.
- Weiss, Michael L. (2015). „The Comparative Method“. In: *The Routledge Handbook of Historical Linguistics*. Hrsg. von Claire Bowern und Bethwyn Evans. Abingdon (UK) & New York: Routledge, 127–145.
- Widmer, Manuel, Sandra Auderset, Johanna Nichols, Paul Widmer und Balthasar Bickel (2017). „NP recursion over time. Evidence from Indo-European“. In: *Language* 93.4, 799–826. DOI: <https://doi.org/10.1353/lan.2017.0058>.
- Willems, Matthieu, Etienne Lord, Louise Laforest, Gilbert Labelle, François-Joseph Lapointe, Anna Maria Di Sciullo und Vladimir Makarenkov (2016). „Using hybridization networks to retrace the evolution of Indo-European languages“. In: *BMC Evolutionary Biology* 16.1, 180. DOI: 10.1186/s12862-016-0745-6.
- Yang, Ziheng (2014). *Molecular evolution. A statistical approach*. Oxford: Oxford University Press.