

# Wie die Bioinformatik hilft, Sprachgeschichte zu rekonstruieren

Gerhard Jäger

SfS, Tübingen

24. November 2011

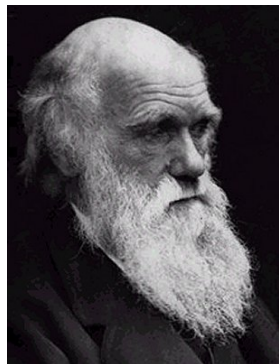


# Sprachwandel und Evolution

*„The formation of different languages and of distinct species, and the proofs that both have been developed through a gradual process, are curiously parallel. [...] We find in distinct languages striking homologies due to community of descent, and analogies due to a similar process of formation. The manner in which certain letters or sounds change when others change is very like correlated growth. [...] The frequent presence of rudiments, both in languages and in species, is still more remarkable. [...]*

*Languages, like organic beings, can be classed in groups under groups; and they can be classed either naturally according to descent, or artificially by other characters. Dominant languages and dialects spread widely, and lead to the gradual extinction of other tongues.“*

(Darwin, The Descent of Man)



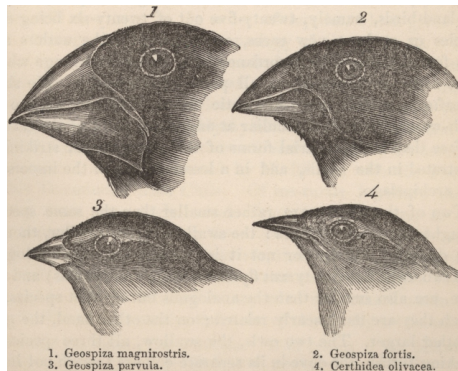
# Sprachwandel und Evolution

Vater Unser im Himmel, geheiligt  
werde Dein Name

Onze Vader in de Hemel, laat Uw  
Naam geheiligt worden

Our Father in heaven, hallowed be  
your name

Fader Vor, du som er i himlene!  
Helliget vorde dit navn





# Sprachwandel und Evolution

*Mittelhochdeutsch:*

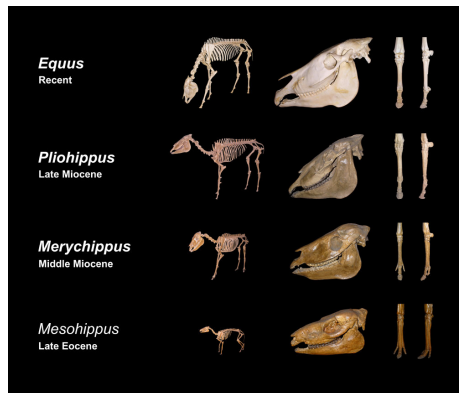
Got vater unser, dâ du bist in dem  
himelrîche gewaltic alles des dir ist,  
geheiliget sô werde dîn nam

*Althochdeutsch:*

Fater unser thû thâr bist in himile, si  
giheilagôt thîn namo

*Gotisch:*

Atta unsar þu in himinam, weihnai  
namo þein





# Höherentwicklung im Sprachwandel

## Pidgin- und Kreolsprachen

- eine Indianerin zu einem weißen Verehrer in Pidgin-English:

*You silly. You weak. You baby-hand. No catch horse. No kill buffalo. No good but for sit still—read book.*

- Satz aus dem Sranan, einer Englisch-basierten Kreolsprache aus Surinam:

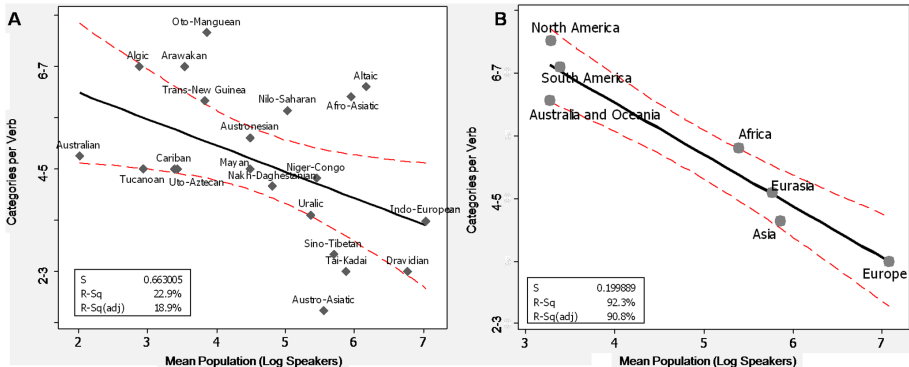
*A hondiman datai ben bai wan oso gi en mati.*

‘Der Jäger, der ein Haus gekauft hat, gab es seinem Freund.’

(aus John McWhorter, 2003, *The Power of Babel*)

# Höherentwicklung im Sprachwandel

## Anpassung der Grammatik an soziale Gegebenheiten



(aus G. Lyman & R. Dale, 2010, PLoS ONE 5(1))



# Konvergente Evolution

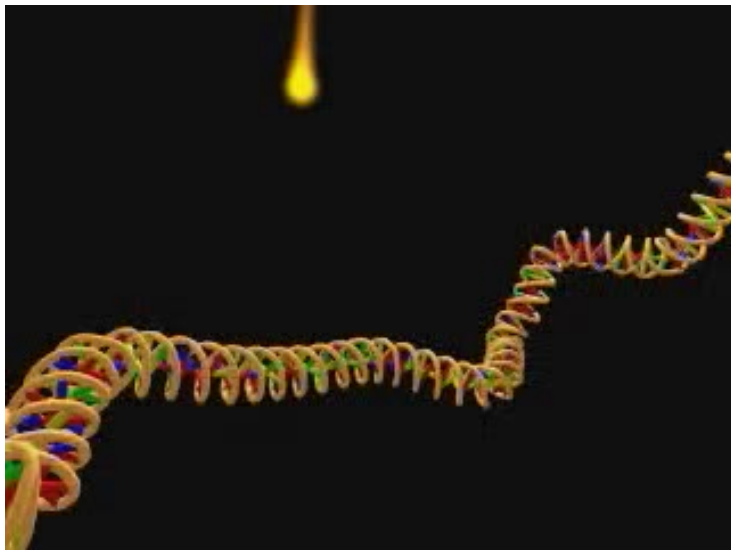
## Taking Flight

To take to the air, three very different vertebrates lightened bones and transformed hands into wings.



- Altenglisch *docga* > Englisch *dog* ('Hund')
- Proto-Paman *\*gudaga* > Mbabaram *dog* ('Hund')

# Evolution via Mutation in der Biologie



# Lautgesetze

Erste bzw. Germanische Lautverschiebung (Indoeuropäisch → Germanisch)	Phase	Zweite bzw. Hochdeutsche Lautverschiebung (Germanisch → Althochdeutsch)	Beispiele (Neuhochdeutsch)	Jahrhundert	Dialektgebiete
G: /*b/ → /*p/	1	/*p/ → /ff/ → /f/	niederdeutsch: <b>slapen</b> , englisch: <b>sleep</b> → <b>schlafen</b> ; niederdeutsch und englisch: <b>Schipp</b> , <b>ship</b> → <b>Schiff</b> niederdeutsch: <b>scherp</b> , englisch: <b>sharp</b> → <b>scharf</b>	4/5	oberdeutsch und mitteldeutsch
	2	/*p/ → /pf/	niederdeutsch: <b>Peper</b> , englisch: <b>pepper</b> → <b>Pfeffer</b> ; niederdeutsch: <b>Plauch</b> , englisch: <b>plough</b> → <b>Pflug</b> ; niederdeutsch: <b>scherp</b> , englisch: <b>sharp</b> , althochdeutsch: <b>scarpf</b> , mittelhochdeutsch: <b>scharpf</b>	6/7	oberdeutsch
G: /*d/ → /*t/	1	/*t/ → /ss/ → /s/	niederdeutsch: <b>dat</b> , <b>wat</b> , <b>eten</b> ; englisch: <b>that</b> , <b>what</b> , <b>eat</b> → <b>das</b> , <b>was</b> , <b>essen</b>	4/5	ober- und mitteldeutsch <sup>1</sup>
	2	/*t/ → /ts/	niederdeutsch: <b>Tiet</b> , englisch: <b>tide</b> (Gezeiten), schwedisch: <b>tid</b> → <b>Zeit</b> ; niederdeutsch: <b>ver-tellen</b> , englisch: <b>tell</b> → <b>er-zählen</b> ; <b>Timmermann</b> → <b>Zimmermann</b>	5/6	ober- und mitteldeutsch
G: /*g/ → /*k/	1	/*k/ → /xx/ → /x/	niederdeutsch: <b>ik</b> , altenglisch: <b>ic</b> → <b>ich</b> ; niederdeutsch und englisch: <b>make</b> n, <b>make</b> → <b>machen</b> ; niederdeutsch: <b>auk</b> → <b>auch</b>	4/5	ober- und mitteldeutsch <sup>2</sup>
	2	/*k/ → /kx/	<b>Kind</b> → bairisch: <b>Kchind</b>	7/8	südbairisch, hoch- und höchstalemannisch
G: /*b'/ → /*b/ V: /*p/ → /*b/	3	/*b'/ → /p/	<b>Berg</b> , <b>bist</b> → bairisch: <b>perg</b> , <b>pist</b>	8/9	teilweise bairisch und alemannisch
G: /*d'/ → /*d/ → /*d/ V: /*t/ → /*d/ → /*d/	3	/*d'/ → /t/	niederdeutsch: <b>Dag</b> oder <b>Dach</b> , englisch: <b>day</b> → <b>Tag</b> ; niederfränkisch: <b>vader</b> → <b>Vater</b>	8/9	oberdeutsch
G: /*g'/ → /*g/ V: /*k/ → /*g/	3	/*g'/ → /k/	<b>Gott</b> → bairisch: <b>Kott</b>	8/9	teilweise bairisch und alemannisch
G: /*t/ → /p/ [ð]	4	/p/ → /d/ /ð/ → /d/	englisch: <b>thorn</b> , <b>thistle</b> , <b>through</b> , <b>brother</b> → <b>Dorn</b> , <b>Distel</b> , durch, Bruder	9/10	gesamtes deutsches Dialektkontinuum

# Lautgesetze

- Lautgesetze sind spezifisch für eine bestimmte Sprachwandel-Periode
- gelten nahezu universell für alle Instanzen des betroffenen Lautes in der betroffenen Sprache
- im Idealfall gibt es schriftliche Zeugnisse der älteren und der jüngeren Sprachstufe (z.B. Latein/romanischen Sprachen, Althochdeutsch/Mittelhochdeutsch)
- meistens müssen Lautgesetze durch systematischen Vergleich verwandter Sprachen identifiziert werden
- erlaubt partielle Rekonstruktion der gemeinsamen Ursprungssprache

## The Indo-European language family

- William Jones 1786:  
„The Sanskrit Language, whatever be its antiquity, is of wonderful structure; more perfect than the Greek, more copious than the Latin, and more exquisitely refined than either; yet bearing to both of them a stronger affinity both in the roots of verbs and the forms of grammar, than could possibly have been produced by accident; so strong indeed that no philologer could examine them at all without believing them to have sprung from some common source, which perhaps no longer exists: there is similar reason, so not quite so forcible, for supposing that both the Gothic and the Celtic, though blended with a different idiom, had the same origin with the Sanskrit; and the old Persian might be added to the same family, if this were the place for discussing any question concerning the antiquities of Persia.“

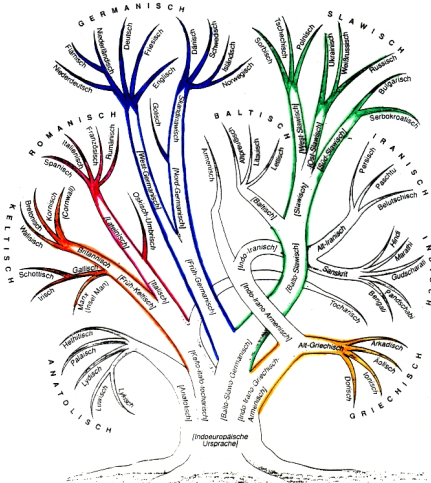
# Sprachrekonstruktion durch die komparative Methode

- erste erfolgreiche Anwendung auf *Indo-europäisch* im 19. Jhd.

	Griechisch	Vedisch	Awestisch	Latein	Wallsisch	Gotisch	Armenisch	Tocharisch A	A. K. Slawisch	Litauisch	Indogermanisch (rekonstruiert)
1	heis (< *hens < *sems)	éka	aēuua	ūnus (Altlatein: oinos)	un	ains	mi	sas	inū	vianas	*oyno-, oyko-, sem-
2	dúō	dvá	duua	duō	dau	twai	erkow	wu	dúva	dù	*duwóh <sub>1</sub>
3	treis	tri	θrāiō	trēs	tri	breis	erekʰ	tre	trije	trýs	*tréyes
4	téttares	catváras	caθuuārō	quattuor	pedwar	fidwor	čorkʰ	štwar	četyre	keturi	*k <sup>w</sup> etwóres
5	pénte	pánca	panca	quinque	pump	fimf	hing	pāñ	peṭī	penki	*pénk <sup>w</sup> e
6	héks	ṣát	xšuuas	sex	chwech	saihs	več	šák	šestī	šeši	*swéks
7	heptá	ṣaptá	hapta	septem	saith	sibun	ewt <sup>w</sup> ʰn	špät	sedmī	septyni	*septriŋ
8	októ	aṣṭá	ašta	octō	wyth	ahtau	owt <sup>w</sup> ʰ	okāt	osmī	aštuoni	*októ
9	ennéa	náva	nauua	novem	naw	niun	inn	ñu	devęti	devyni	*néwn
10	déka	dása	daša	decem	deg	taihun	tasn	šák	desęti	dęsimt	*dékŋ
20	wikati (dorisches)	vimšati	vīšaiti	vigintī	ugeint (Mittelwallsisch)		k <sup>w</sup> ʰsan	wiki			*wíkm̥ti
100	hekatón	śatám	satəm	centum	cant	hund		kānt	sūto	šimtas	*k <sup>w</sup> m̥tóm

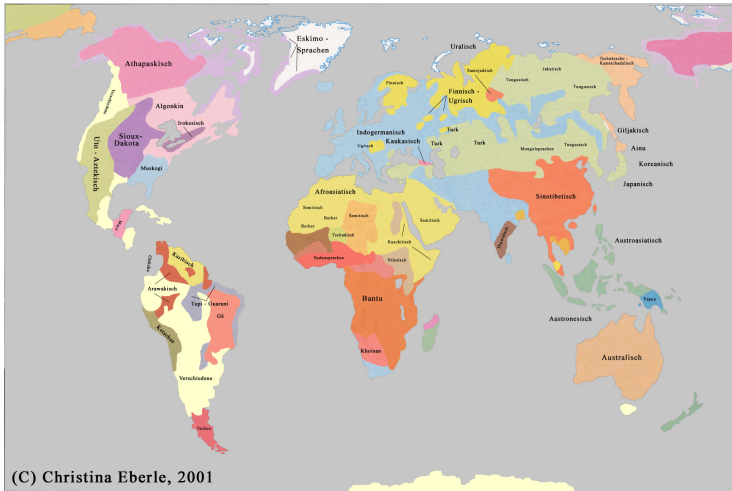
# Language trees

- komparative Methode ergibt Abstammungsbaum einer Sprachfamilie



# Grenzen der komparativen Methode

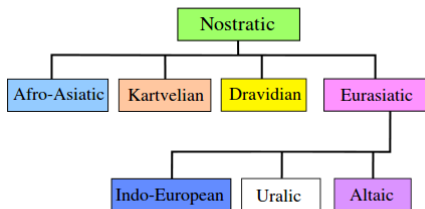
- Zeittiefe beschränkt auf 2 000 bis 8 000 Jahre





# Tiefe Sprachverwandtschaften

- Vielzahl von Vorschlägen für Meta-Familien
  - Nostratisch:
    - erstmals von Pedersen (1903) vorgeschlagen
    - ursprünglicher Vorschläge: Indo-europäisch, Finno-ugrisch, Samoyedisch, Turk-Sprachen, Mongolisch, Manchu, Yukaghir, Eskimo, Semitisch und Hamitisch
    - weiterentwickelt durch „Moskauer Schule“ in den 1960ern
    - Versuch der Rekonstruktion von Wortschatz



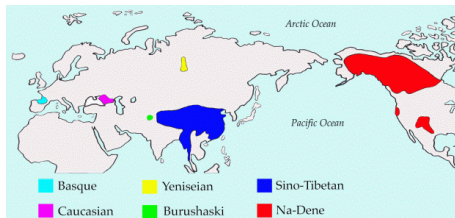
# Tiefe Sprachverwandtschaften

- Vielzahl von Vorschlägen für Meta-Familien
  - Eurasiatisch
    - vorgeschlagen von Greenberg (2000)
    - umfasst Indo-europäisch, Uralisch-Yukaghirisch, Altaisch, Tschuktscho-Kamtschadalisch, Eskimo-Aleutisch, Koreanisch-Japanisch-Ainu, Gilyak, Etruskisch
    - diverse Argumente, v.a. Morphologie und Phonologie



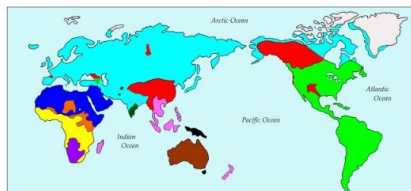
# Tiefe Sprachverwandtschaften

- Vielzahl von Vorschlägen für Meta-Familien
  - Dene-Kaukasisch
    - umfasst Ne-Dene, Kaukasisch, Sino-Tibetisch, Jenniseiisch, Burushaski, manchmal auch Baskisch



# Tiefe Sprachverwandtschaften

- Vielzahl von Vorschlägen für Meta-Familien
  - Amerindisch
    - vorgeschlagen von Greenberg (1987)
    - umfasst alle Indianersprachen außer Na-Dene



Khoisan	Dravidian	Austric
Nilo-Kordofanian	Kartvelian	Indo-Pacific
Nilo-Saharan	Eurasian	Australian
Afro-Asiatic	Dene-Caucasian	Amerind

Language Families of the World (after Greenberg)

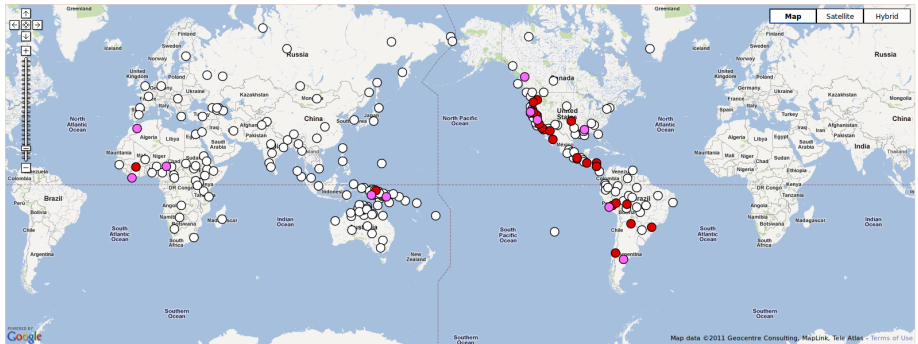


# Tiefe Sprachverwandtschaften

- Merritt Ruhlen, ein Schüler von Greenberg, behauptet sogar, „Proto-World“ z.T. rekonstruieren zu können, z.B. das Wort *akwa* für Wasser (das sich faszinierenderweise von Adam und Eva über Cicero bis zu Umberto Eco im Indoeuropäisch/Italisch/Lateinisch/Italienischen Zweig nicht verändert hat)
- derartige Vorschläge basieren häufig auf geographischen Häufungen einzelner Merkmale, wie z.B. Pronominalformen

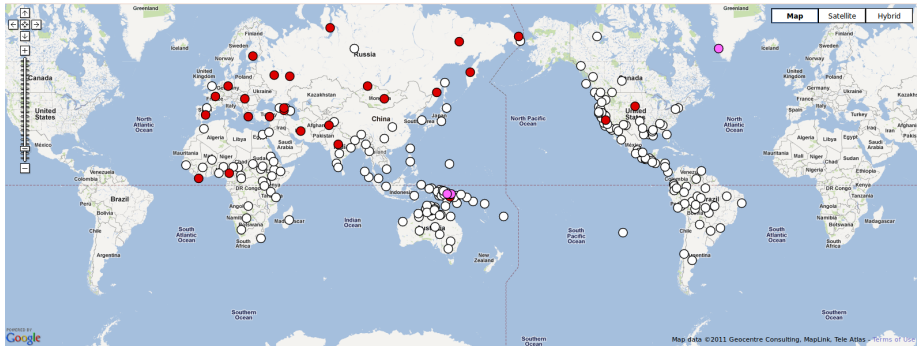
# Tiefe Sprachverwandtschaften

- N/M-Pronomina



# Tiefe Sprachverwandtschaften

## ● M/T-Pronomina

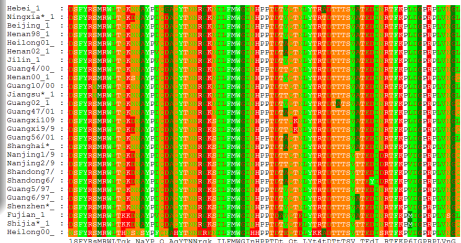


# Phylogenetische Rekonstruktion in der Bioinformatik

## Sequenzalinierung

- Algorithmus findet optimale Alinerung zwischen Sequenzen
- Anzahl der Mutationen wird somit abgeschätzt
- ergibt Abschätzung des evolutionären Abstands zwischen den entsprechenden Organismen

```
Hebei_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Ningxia*_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Beijing_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Henan98_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Heilong01 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Henan02_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Jilin_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guang4/00 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Henan00_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guang10/00 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Jiangsu*_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guang9_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guang47/01 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guangxi109 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guangxi9/9 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guang56/01 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Shanghai* : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Nanjing1/9 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Nanjing9/9 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Shandong7 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Shandong6 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guang5/97 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Guang6/97 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Shenzhen* : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Fujian_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Shijia*_1 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
Heilong00 : DSFYRMRMLTCKNNAYVFCQAAYTNNRGGILFMMGIIHFFPTDCCQLLVRDITISVTEIIRFFFPGLIGPRELVWG  
ISFYRMRMLTqk NayF C AqYTNRgk ILFMMGIIHFFPTD CC LYt4CDTtSV TEId RTFFP6IGPRELVWG
```







# Phylogenetische Rekonstruktion in der Bioinformatik

## Alternative: Cluster-Karten

- Organisation aller Datenpunkte (=Molekularsequenzen) in 2- oder 3-dimensionalen Raum
  - größere Ähnlichkeit entspricht (simulierter) physikalischer Anziehungskraft und umgekehrt
  - Algorithmus findet Energie-Minimum
- ⇒ verwandte Sequenzen bilden Cluster

Software: Frickey & Lupas, MPI für Entwicklungsbiologie

# Die Daten des Automated Similarity Judgment Project

- Projekt am MPI EVA in Leipzig um Sören Wichmann
- erfasst inzwischen über 5 000 Sprachen
- für jede Sprache Grundwortschatz von 40 Wörtern in (vereinfachter) phonetischer Umschrift
- frei elektronisch verfügbar

**verwendete Konzepte:** *I, you, we, one, two, person, fish, dog, louse, tree, leaf, skin, blood, bone, horn, ear, eye, nose, tooth, tongue, knee, hand, breast, liver, drink, see, hear, die, come, sun, star, water, stone, fire, path, mountain, night, full, new, name*

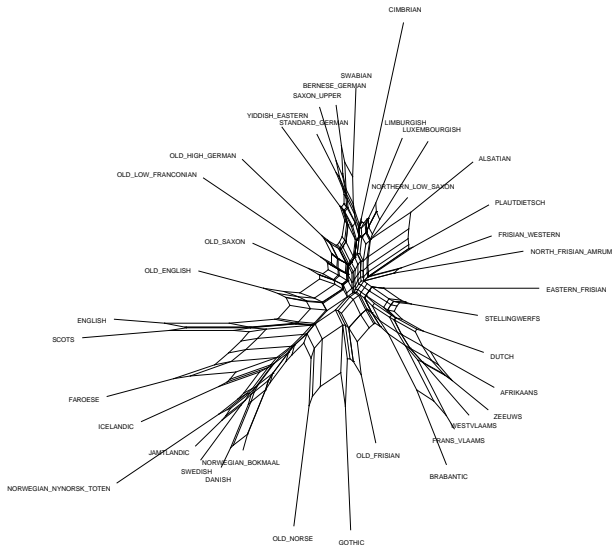
# Automated Similarity Judgment Project

<i>Konzept</i>	Deutsch	Englisch
<i>I</i>	iX	Ei
<i>you</i>	du	yu
<i>we</i>	vir	wi
<i>one</i>	ains	8is
<i>two</i>	cvai	8Et
<i>person</i>	mEnS	pers3n
<i>fish</i>	fiS	fiS
<i>dog</i>	hunt	dag
<i>louse</i>	laus	laus
<i>tree</i>	baum	tri
<i>leaf</i>	blat	lif
<i>skin</i>	haut	skin
<i>blood</i>	blut	bl3d
<i>bone</i>	knoX3n	bon
<i>horn</i>	horn	horn
<i>ear</i>	XXX	ir
<i>eye</i>	aug3	Ei

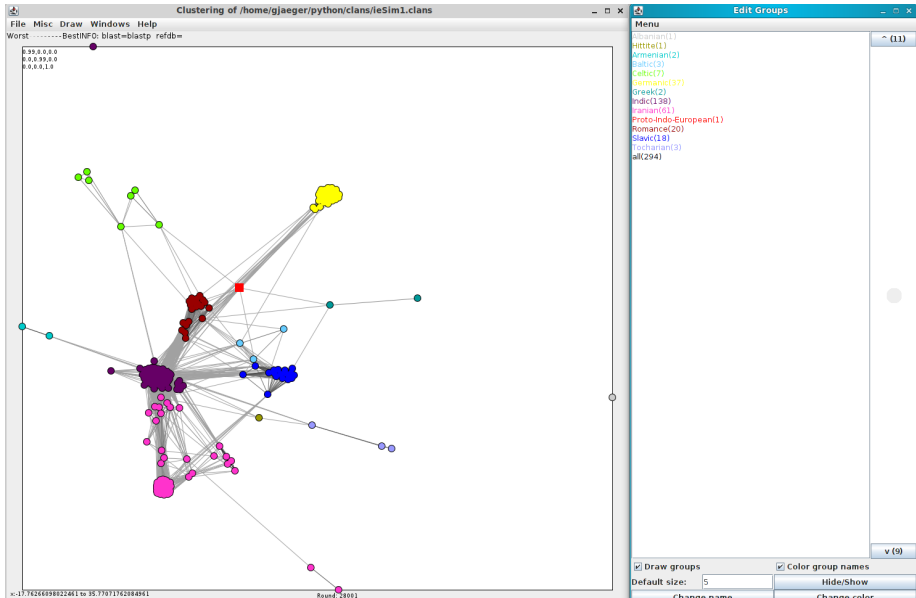
<i>Konzept</i>	Deutsch	Englisch
<i>nose</i>	naz3	nos
<i>tooth</i>	ch an	tu8
<i>tongue</i>	ch uN3	t3N
<i>knee</i>	kni	ni
<i>hand</i>	hant	hEnd
<i>breast</i>	brust	breSt
<i>liver</i>	leb3r	liv3r
<i>drink</i>	triNk3n	drink
<i>see</i>	ze3n	si
<i>hear</i>	her3n	hir
<i>die</i>	Sterb3n	dEi
<i>come</i>	kh om3n	k3m
<i>sun</i>	zon3	s3n
<i>star</i>	StErn	star
<i>water</i>	vas3r	wat3r
<i>stone</i>	Stain	ston
<i>fire</i>	foia	fEir

# Einfache Sequenz-Alinierung

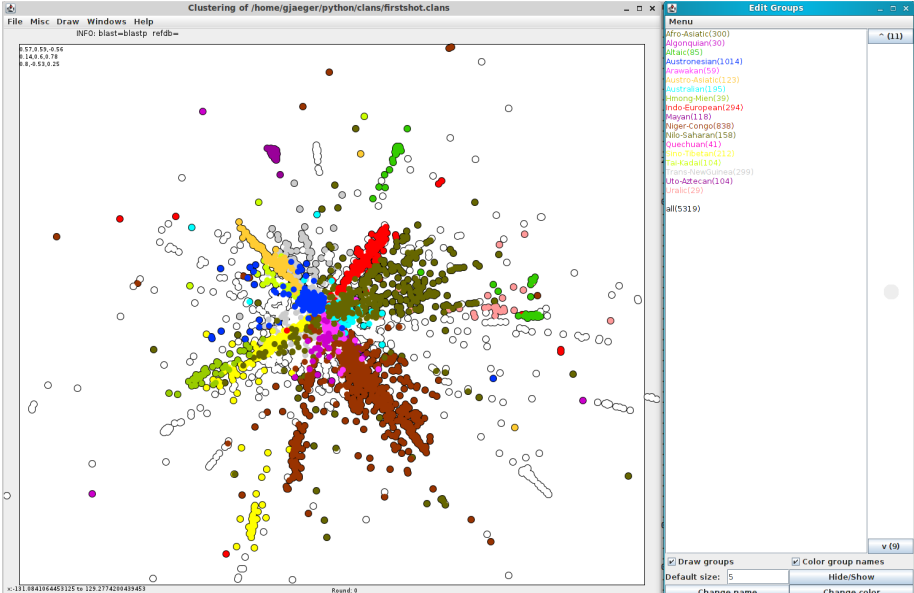
1.0



# Einfache Sequenz-Alinierung

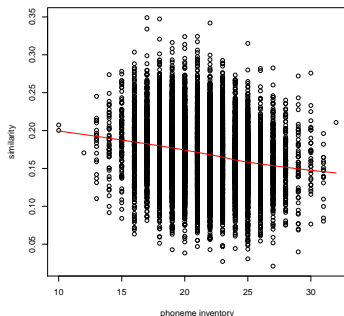


# Einfache Sequenz-Alinierung



# Einfache Sequenz-Alinierung

- Störeffekt: bei Sprachen mit kleineren Lautinventaren ergeben sich mehr Zufallsähnlichkeiten also bei Sprachen mit vielen verschiedenen Lauten
- Daher erscheinen Sprachen mit wenigen Lauten einander ähnlicher, als sie es tatsächlich sind.



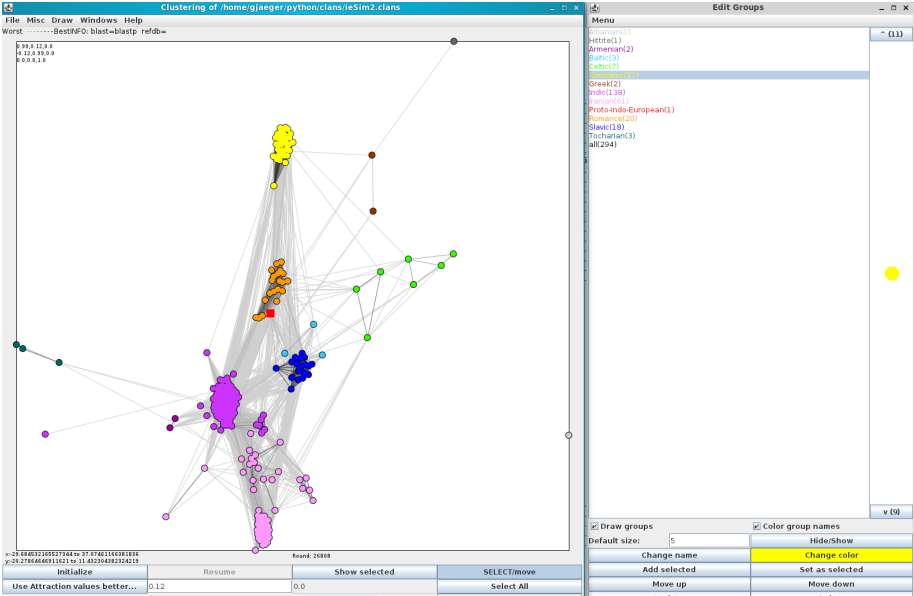


# Kalibrierte Alinierung

Ähnlichkeit des Deutschen zu:

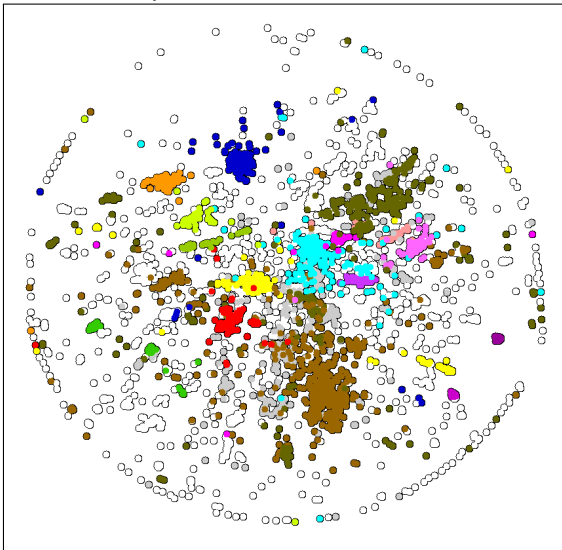
- Niederländisch: 35,4
- Englisch: 17,7
- Ur-Indoeuropäisch: 11,0
- Latein: 6,4
- Spanisch: 1,7
- Russisch: 3,3
- Türkisch: 0,5
- Ungarisch: 0,3

# Kalibrierte Alinierung



# Kalibrierte Alinierung

Alle 5 000 Sprachen:



Edit Groups

Menu

- Afro-Asiatic(300)
- Algonquian(30)
- Altaic(85)
- Austronesian(1023)
- Arawakan(59)
- Austra-Asiatic(123)
- Australian(198)
- Hmong-Mien(39)
- Indo-European(294)
- Mayan(118)
- Niger-Congo(838)
- Nilo-Saharan(159)
- Quechuan(41)
- Sino-Tibetan(212)
- Uralic(29)**
- Trans-NewGuinea(299)
- Uto-Aztecan(104)
- Uralic(29)

all(5381)

v (9)

Draw groups  Color group names

Default si... 5  Hide/Show

Change name	Change color
Add selected	Set as selected
Move up	Move down
Update	Delete

# Kalibrierte Alinierung

- etablierte Sprachfamilien bilden stabile Cluster
- keine darüber hinausgehenden sichtbaren Muster

# Kalibrierte Alinierung

- Methode ist relativ grobkörnig

h	a	n	t	h	a	n	t
h	E	n	d	m	a	n	o

- Ähnlichkeit ist in beiden Fällen 50%
- Korrespondenz  $a \sim E$ ,  $t \sim d$  sind nach linguistischen Kriterien viel natürlicher als  $h \sim m$  or  $t \sim o$
- Deutsch/Englisch und Deutsch/Spanisch erscheinen hier äquidistant, obwohl die Ähnlichkeit zwischen Deutsch und Englisch intuitiv viel größer ist

## Needleman-Wunsch-Algorithmus

- Analogie zur Bioinformatik: Mutationen zwischen verschiedenen Aminosäuren-Paaren sind unterschiedlich wahrscheinlich
- Algorithmus sucht *wahrscheinlichste* Übereinstimmungen zwischen Sequenzen
- $a \sim E$ ,  $d \sim t$  sind im Sprachwandel wahrscheinlicher als  $t \sim o$

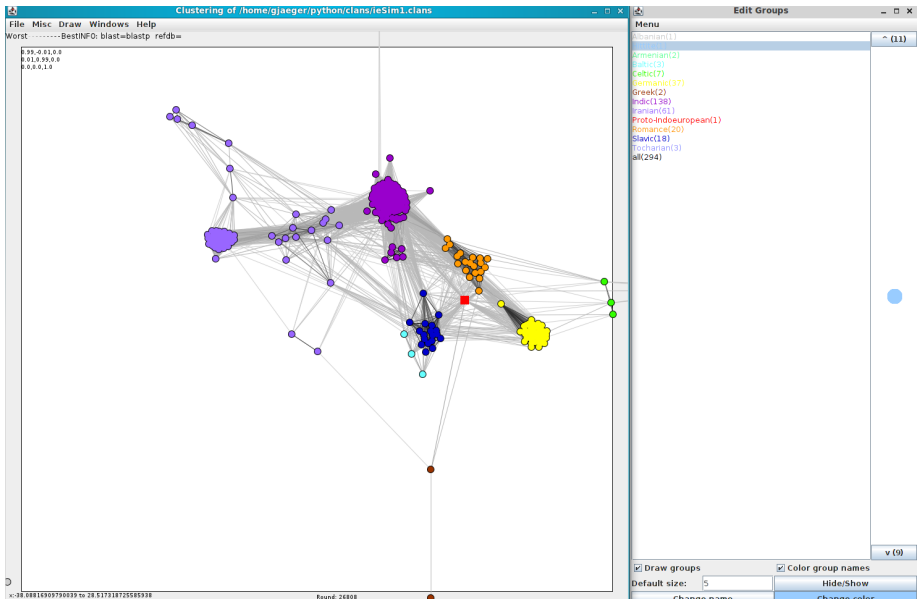


# Gewichtete Alinierung

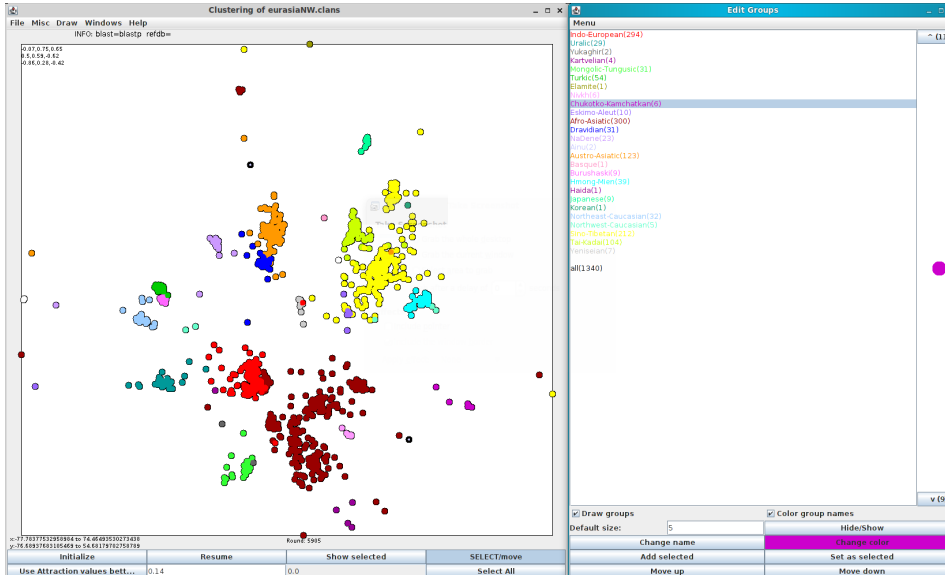
- Ähnlichkeit des Deutschen zu:
  - Dutch 35.4 / 38.3
  - English: 17.7 / 20.5
  - Proto-Indoeuropean: 11.0 / 14.6
  - Latin: 6.4 / 12.4
  - Spanish: 1.7 / 1.8
  - Russian: 3.3 / 6.5
  - Turkish: 0.5 / 0.6
  - Hungarian: 0.3 / 2.1



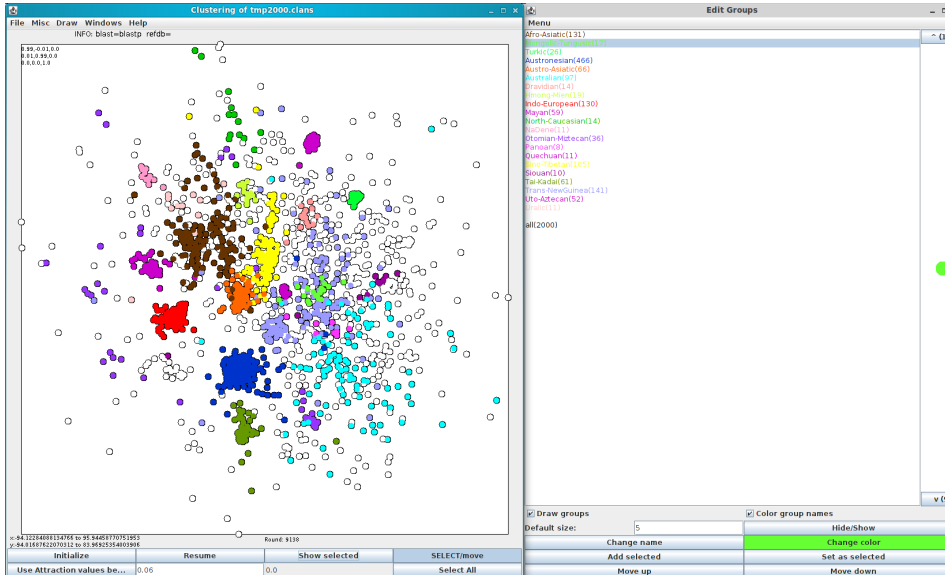
# Gewichtete Alinierung



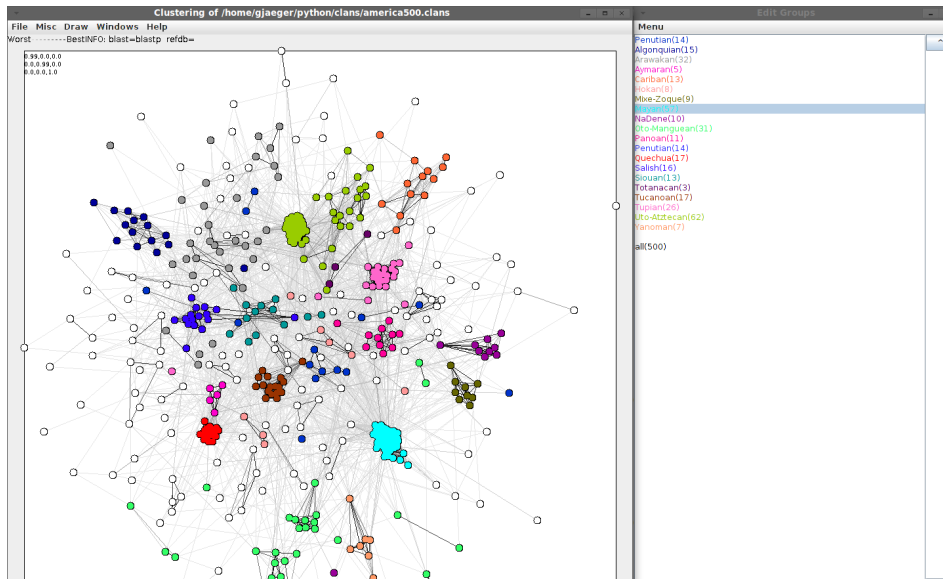
# Gewichtete Alinierung



# Gewichtete Alinierung

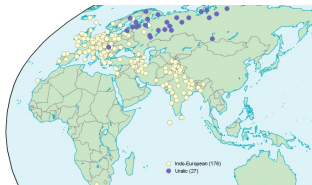


# Gewichtete Alinierung



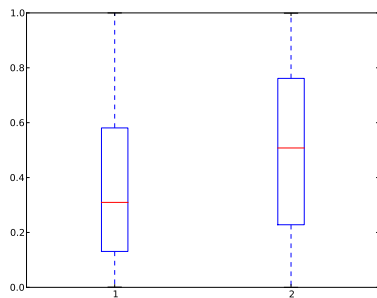
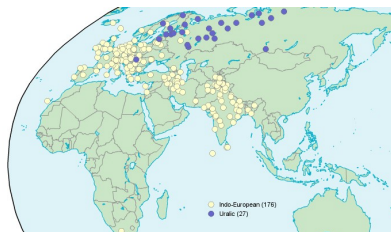
# Gewichtete Alinierung

- einige interessante Meta-Verwandtschaften werden sichtbar, v.a.
  - Indo-europäisch/Uralisch
  - Austronesisch/Tai-Kadai



# Indo-europäisch/Uralisch

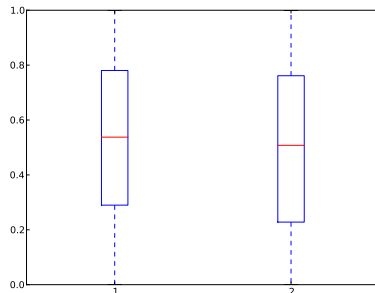
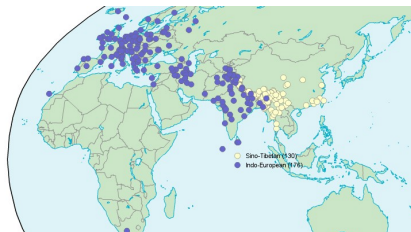
- $p$ -Werte für Vergleich Ähnlichkeiten IE/Ura vs. Zufallspaarungen



$p$ -Wert:  $1,5 \times 10^{-20}$

# Indo-europäisch / Uralisch

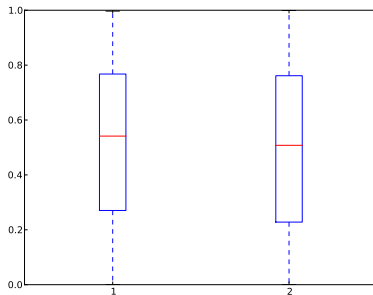
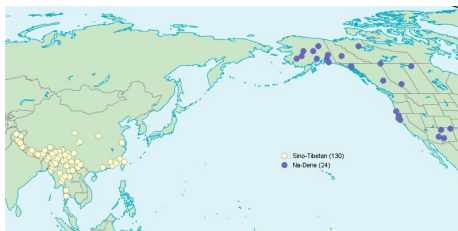
- $p$ -Werte für Vergleich Ähnlichkeiten IE/Sino-Tibetisch vs. Zufallspaarungen



$p$ -Wert: 1

# Indo-europäisch / Uralisch

- $p$ -Werte für Vergleich Ähnlichkeiten Sino-Tibetisch/Na-Dene vs. Zufallspaarungen



$p$ -Wert: 1



# Indo-europäisch/Uralisch

- $p$ -Werte für Vergleich Ähnlichkeiten Tai-Kadai/Austronesisch vs. Zufallspaarungen



$p$ -Wert:  $5 \times 10^{-5}$

