

# Moderne Evolutionsbiologie: Mathematik, Informatik und Biologie im Dialog



---

**Alexandros Stamatakis**  
**Informatik, TU München**

**und**

**Susanne Renner**  
**Botanischer Garten München**



# Weshalb sind wir heute hier?

---



Zu viele Daten?



# Das Internet



# Das Internet



# Das Internet



Wer interessiert sich  
für Stammbäume in  
Göttingen?

# Das Internet



```
astamata@devfrt01:~/STATS/archived_2007_10
Datei Bearbeiten Ansicht Terminal Reiter Hilfe
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$ grep goettingen blackbox.log*
blackbox.log.0:272255 134.76.77.64 Fri Oct 12 10:04:05 2007 Kevin new gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.13:361099 134.76.77.64 Fri Nov 16 12:25:49 2007 Kevin_plus2Hex_crop gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.30:783690 134.76.77.64 Mon Mar 3 15:11:59 2008 kevin08final gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.39:206257 84.129.112.195 Tue May 13 16:51:03 2008 Herve08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222838 84.36.252.157 Mon Sep 24 12:31:18 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222891 84.36.252.157 Mon Sep 24 13:16:44 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.7:201370 134.76.77.64 Tue Sep 11 13:09:32 2007 output gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$
```

# Das Internet



```
astamata@devfrt01:~/STATS/archived_2007_10
Datei Bearbeiten Ansicht Terminal Reiter Hilfe
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$ grep goettingen blackbox.log*
blackbox.log.0:272255 134.76.77.64 Fri Oct 12 10:04:05 2007 Kevin new gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.13:361099 134.76.77.64 Fri Nov 16 12:25:49 2007 Kevin_plus2Hex_crop gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.30:783690 134.76.77.64 Mon Mar 3 15:11:59 2008 kevin08final gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.39:206257 84.129.112.195 Tue May 13 16:51:03 2008 Herve08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222838 84.36.252.157 Mon Sep 24 12:31:18 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222891 84.36.252.157 Mon Sep 24 13:16:44 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.7:201370 134.76.77.64 Tue Sep 11 13:09:32 2007 output gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$
```

Alexandros Stamatakis und

# Das Internet



Vortragende für Wissenschaftstage?



```
astamata@devfrt01:~/STATS/archived_2007_10
Datei Bearbeiten Ansicht Terminal Reiter Hilfe
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$ grep goettingen blackbox.log*
blackbox.log.0:272255 134.76.77.64 Fri Oct 12 10:04:05 2007 Kevin new gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.13:361099 134.76.77.64 Fri Nov 16 12:25:49 2007 Kevin_plus2Hex_crop gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.30:783690 134.76.77.64 Mon Mar 3 15:11:59 2008 kevin08final gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.39:206257 84.129.112.195 Tue May 13 16:51:03 2008 Hervee08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222838 84.36.252.157 Mon Sep 24 12:31:18 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222891 84.36.252.157 Mon Sep 24 13:16:44 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.7:201370 134.76.77.64 Tue Sep 11 13:09:32 2007 output gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$
```

Alexandros Stamatakis und

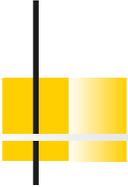
# Das Internet



```
astamata@devfrt01:~/STATS/archived_2007_10
Datei Bearbeiten Ansicht Terminal Reiter Hilfe
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$ grep goettingen blackbox.log*
blackbox.log.0:272255 134.76.77.64 Fri Oct 12 10:04:05 2007 Kevin new gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.13:361099 134.76.77.64 Fri Nov 16 12:25:49 2007 Kevin_plus2Hex_crop gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.28:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747307 134.76.77.64 Mon Feb 25 9:58:11 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.29:747318 134.76.77.64 Mon Feb 25 10:10:09 2008 kevin08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.30:783690 134.76.77.64 Mon Mar 3 15:11:59 2008 kevin08final gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.39:206257 84.129.112.195 Tue May 13 16:51:03 2008 Herve08 gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222838 84.36.252.157 Mon Sep 24 12:31:18 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.5:222891 84.36.252.157 Mon Sep 24 13:16:44 2007 Ircinia gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
blackbox.log.7:201370 134.76.77.64 Tue Sep 11 13:09:32 2007 output gert.woerheide@geo.uni-goettingen.de
[astamata@devfrt01 archived 2007 10]$
```

Alexandros Stamatakis und

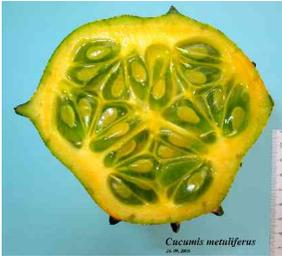
# Gliederung



---

- **AS:** Stammbäume aus Informatikersicht
- **SR:** Aussterben & Bildung von Arten
- **AS:** Hochleistungsrechnen zur Stammbaumberechnung
- **SR:** Anwendungen molekularer Bäume

# Stammbäume: Eingabe



AAGGCCCT



AAGACACCT

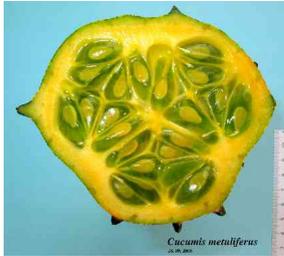


AAGCCCCCT



AAGGCCTTT

# Stammbäume: Eingabe



DNA (DNS)  
Eingabesequenzen

AAGGCCCT

AAGACACCT

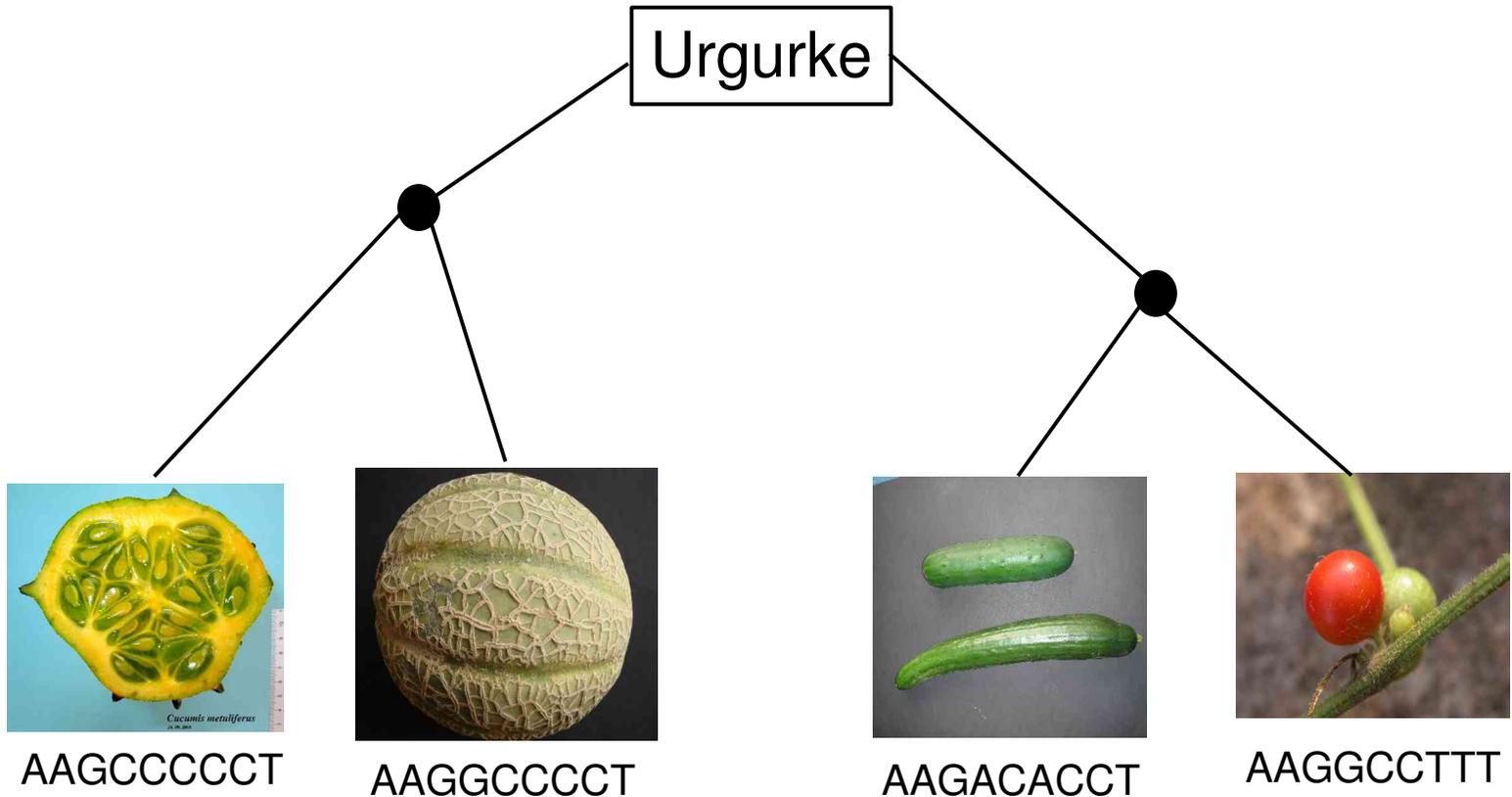


AAGCCCCCT

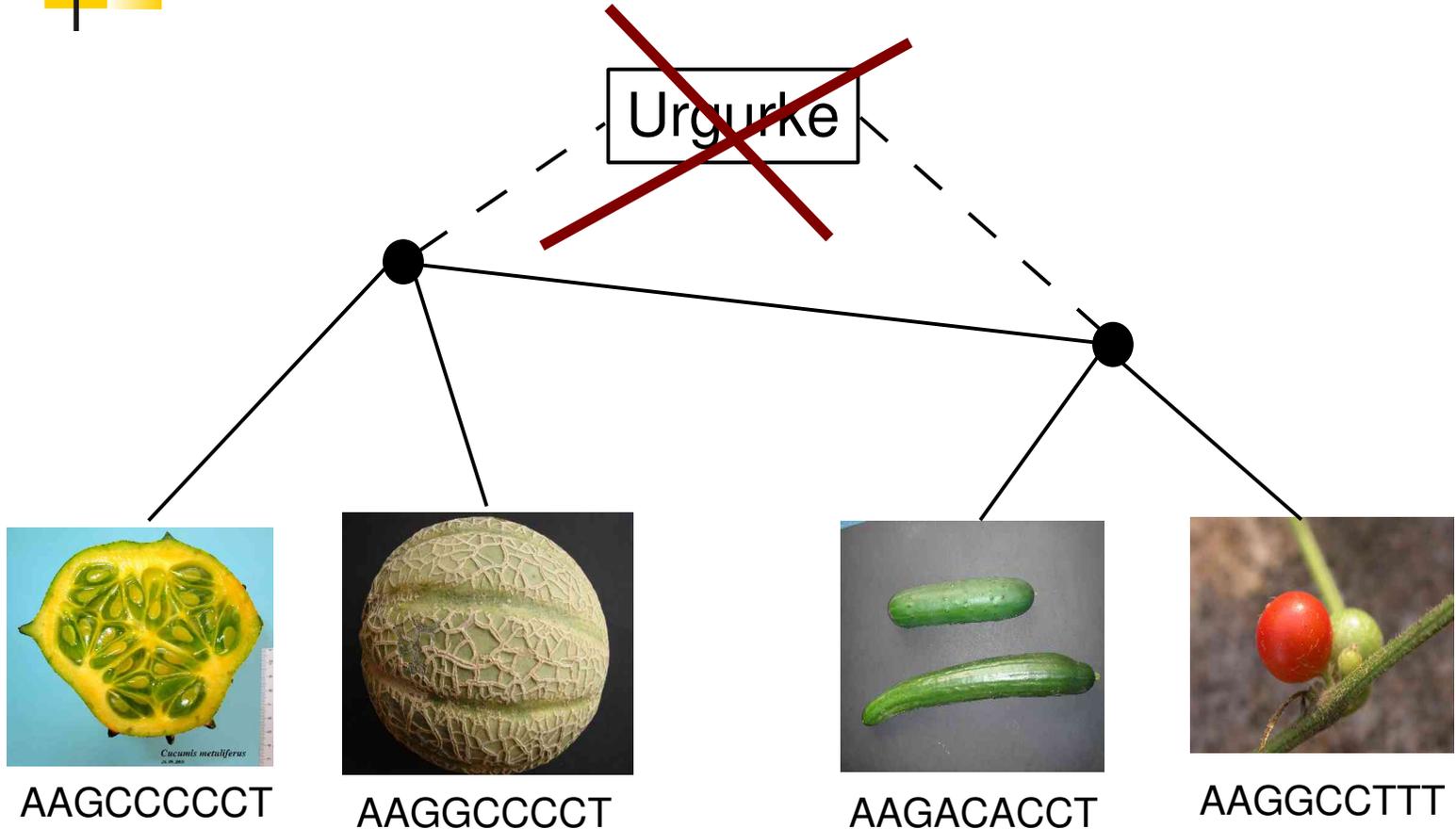
AAGGCCTTT



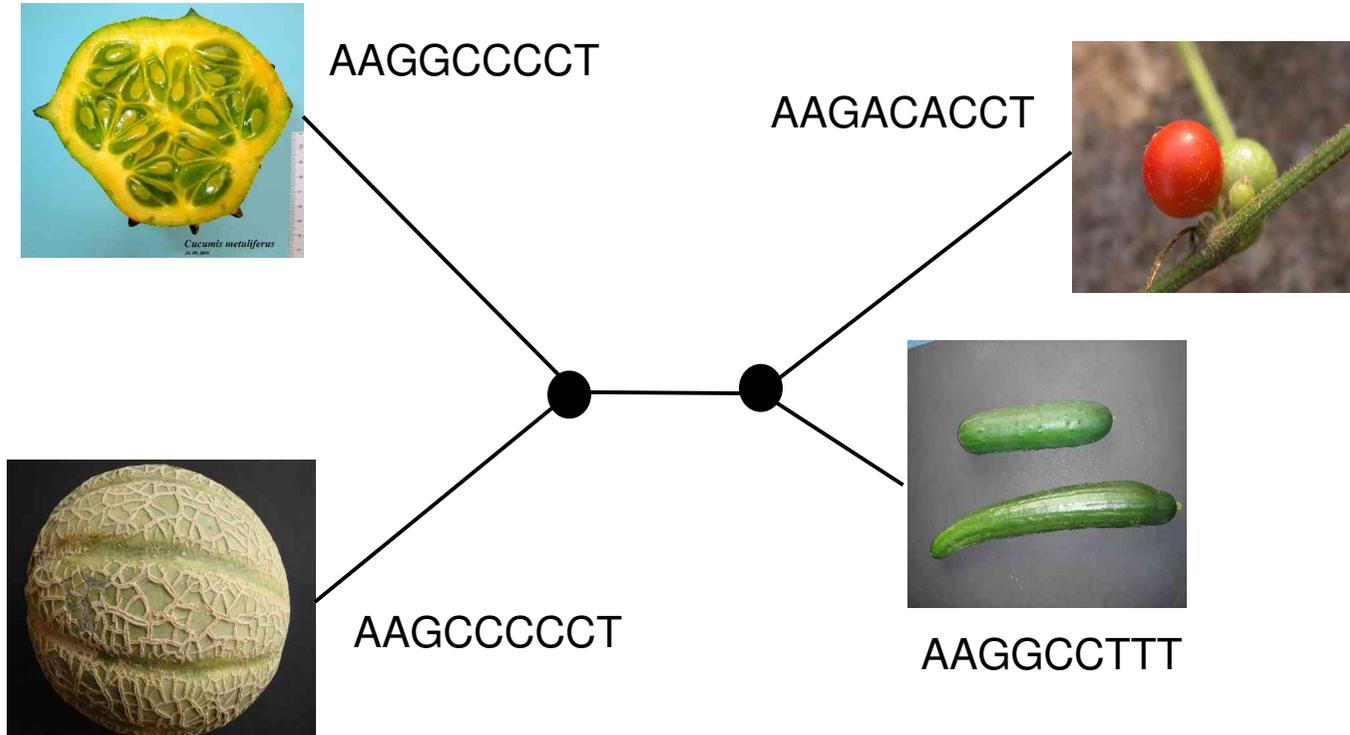
# Stammbäume: Ausgabe



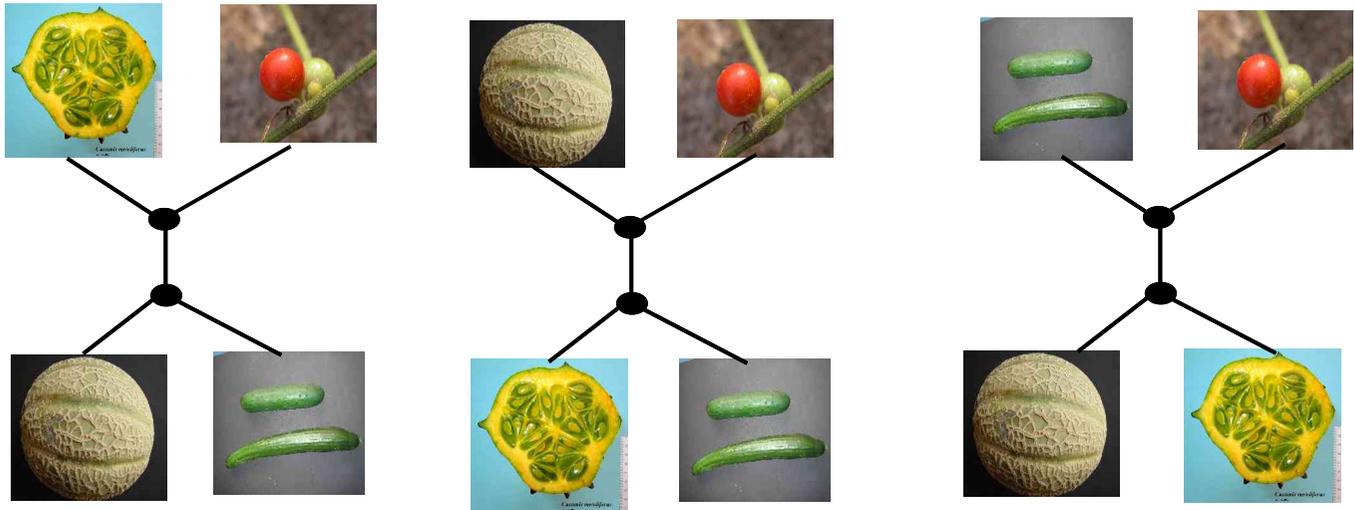
# Stammbäume: Ausgabe



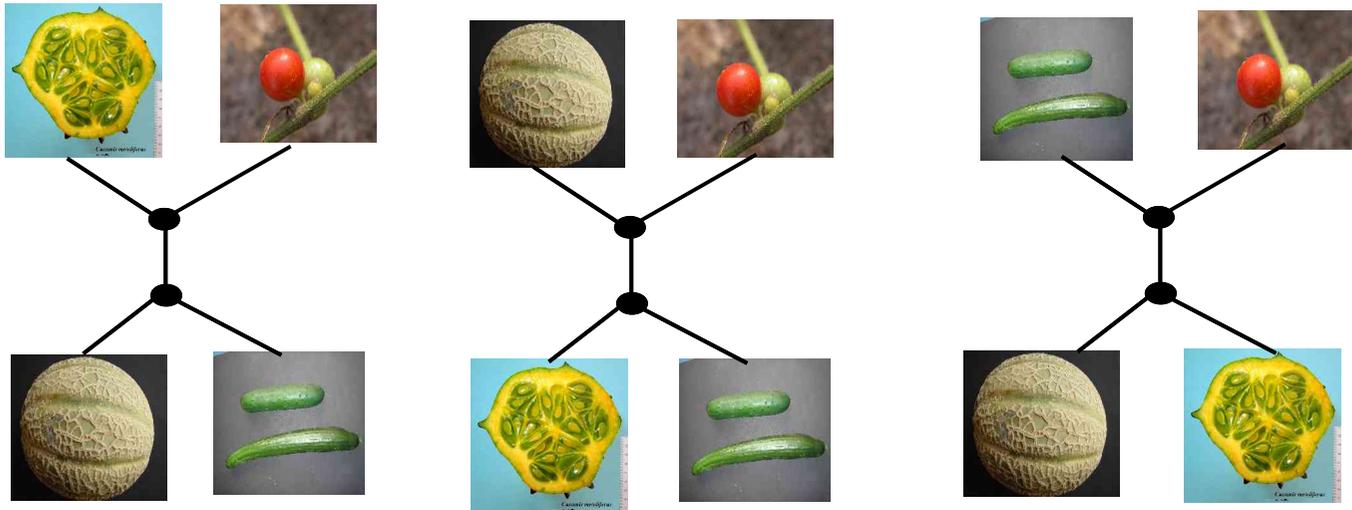
# Stammbäume: Ausgabe



# Welcher ist der beste Baum?



# Wir brauchen eine Bewertungsfunktion!



# Wir brauchen eine Bewertungsfunktion!



$f()$



1.0

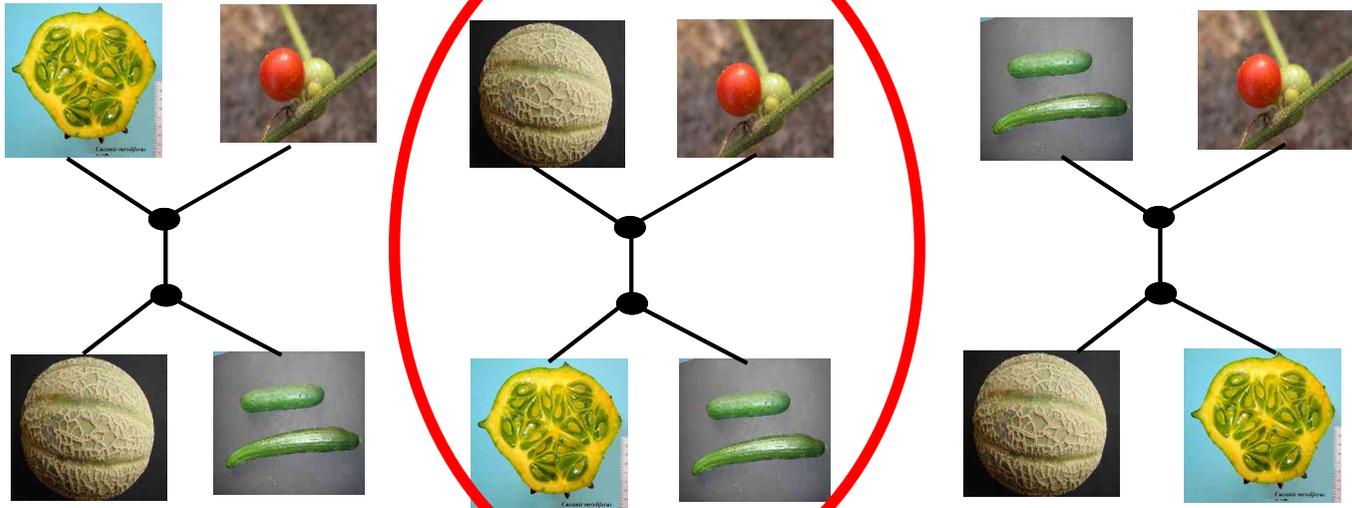
# Wir brauchen eine Bewertungsfunktion!

Funktion  $f()$  →  
mathematische  
Modellbildung

Statistische Methoden:  
Maximum Likelihood

$f()$   
↓  
1.0

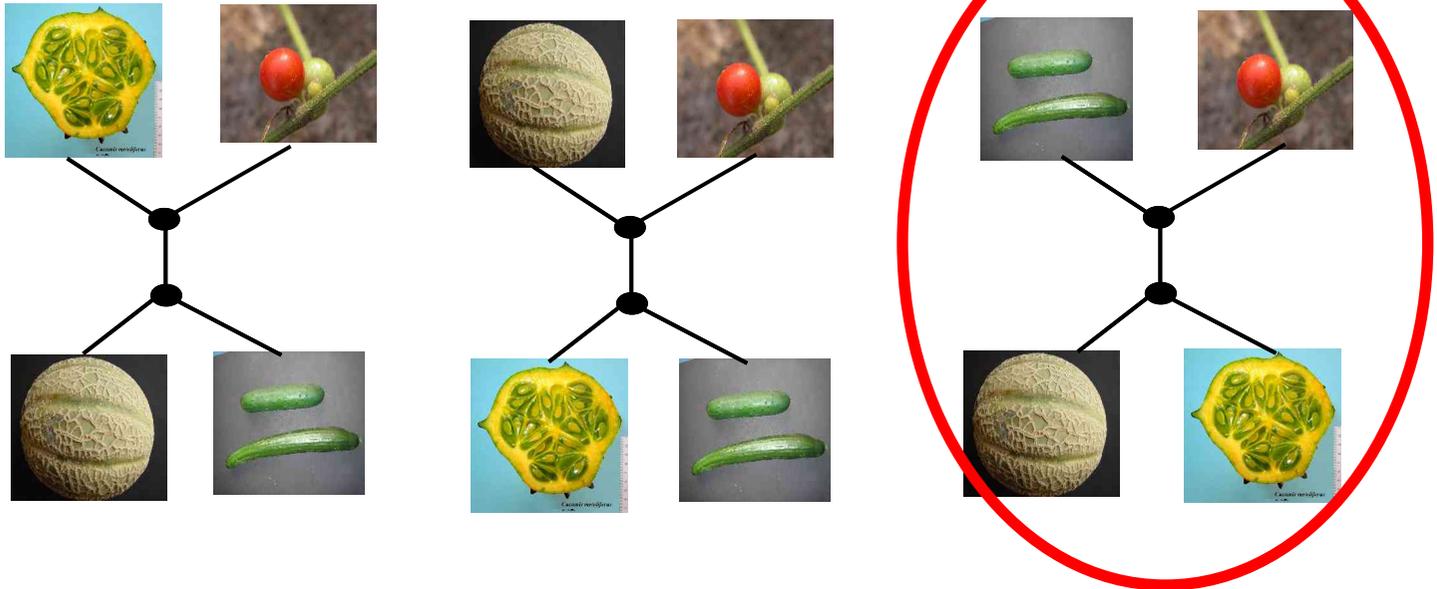
# Wir brauchen eine Bewertungsfunktion!



$f()$   
↓

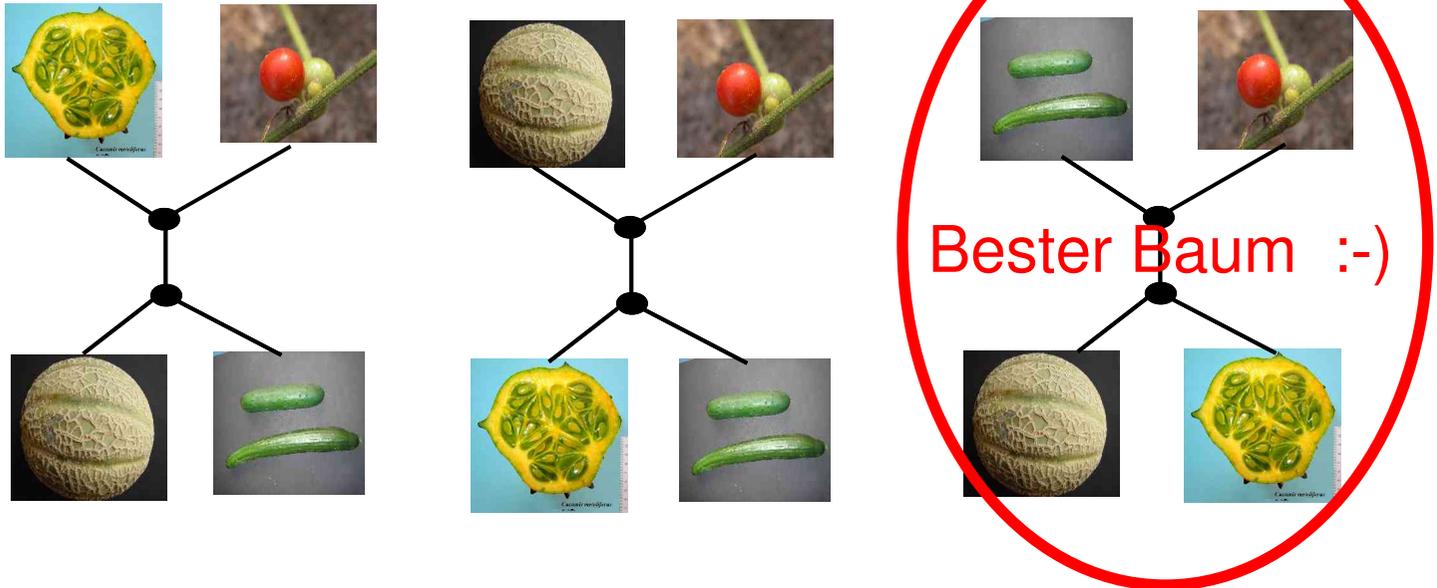
2.0 )8

# Wir brauchen eine Bewertungsfunktion!



$f()$   
↓  
3.0

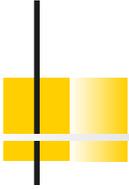
# Wir brauchen eine Bewertungsfunktion!



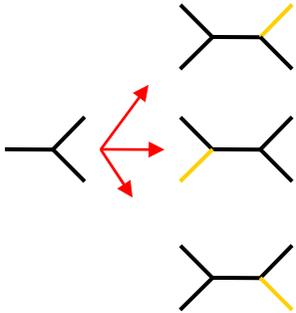
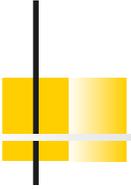
f()  
↓  
3.0

# Mit dem Kopf durch die Wand

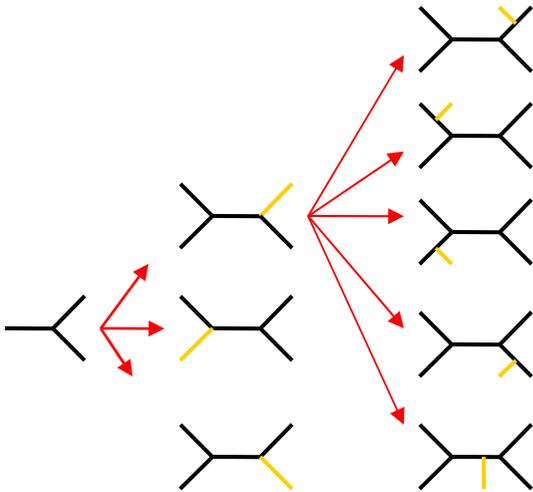
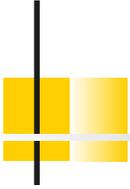
---



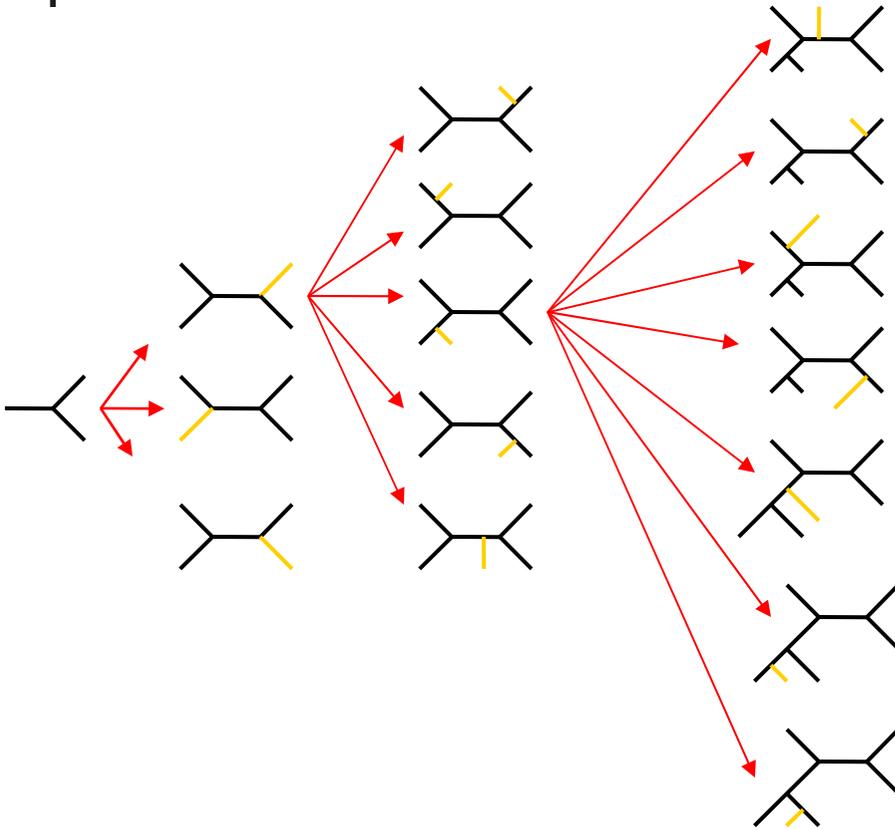
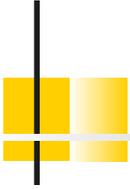
# Mit dem Kopf durch die Wand



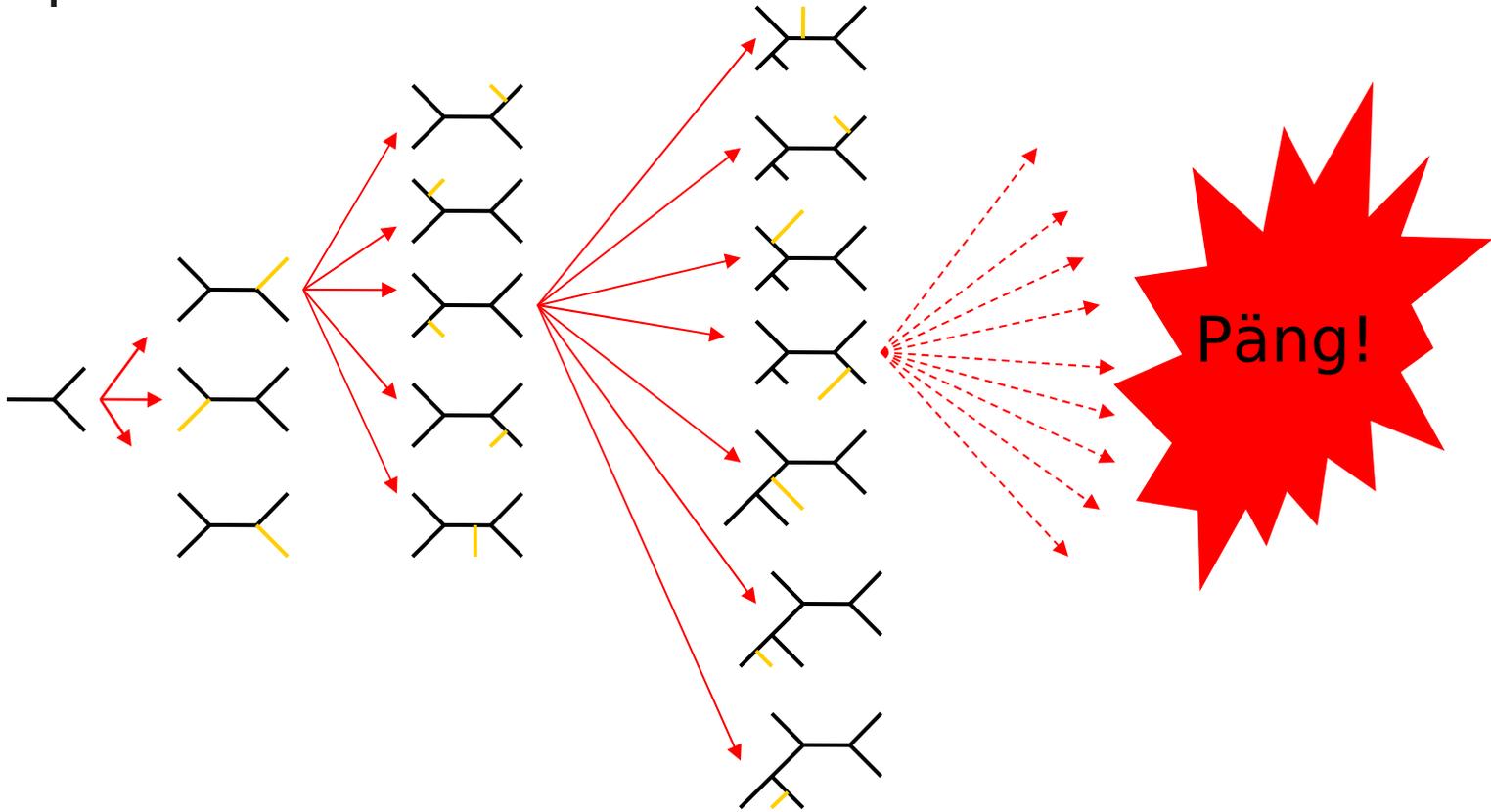
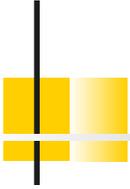
# Mit dem Kopf durch die Wand



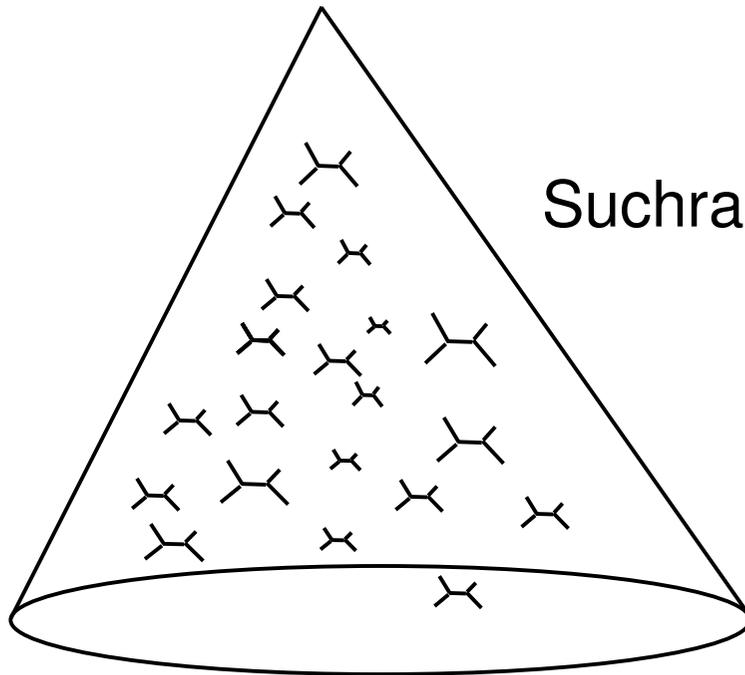
# Mit dem Kopf durch die Wand



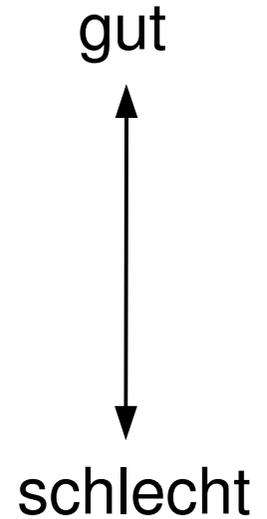
# Mit dem Kopf durch die Wand



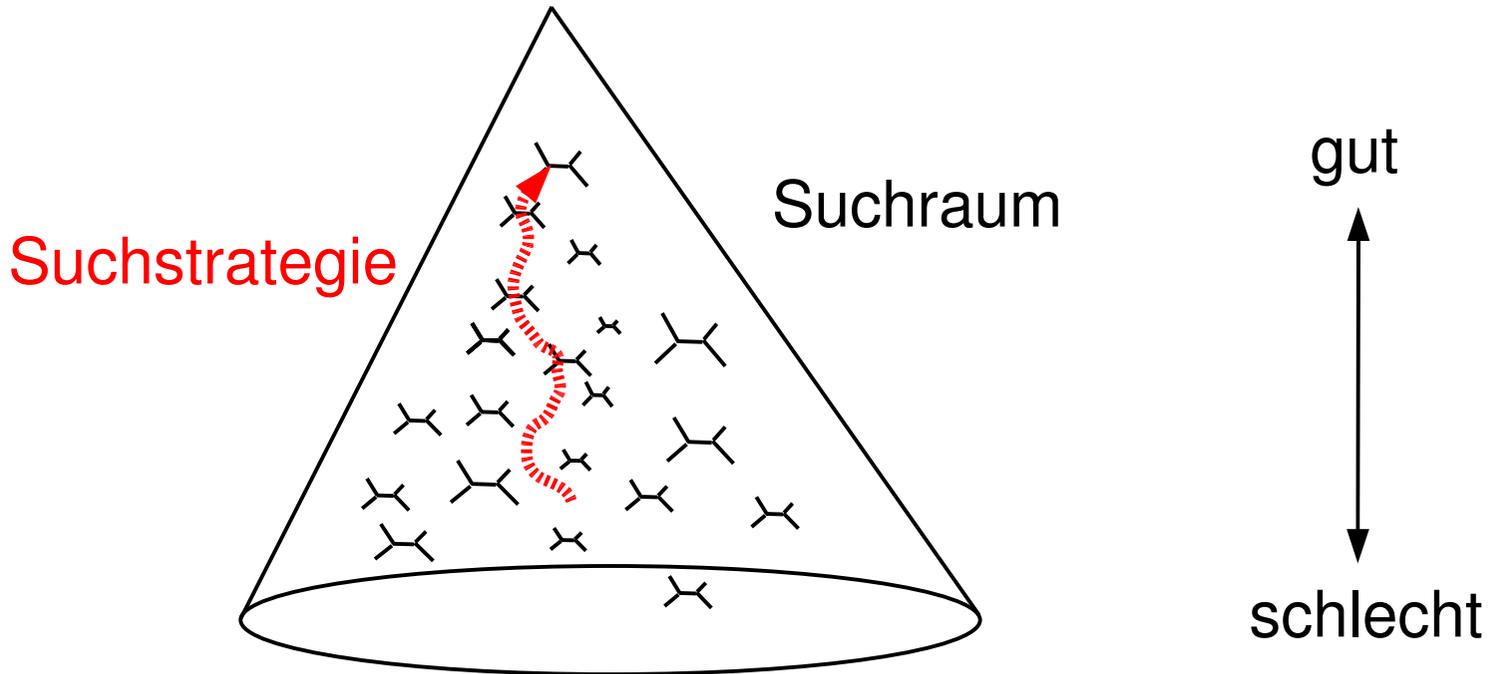
# Suchstrategien



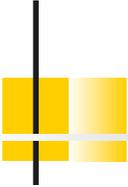
Suchraum



# Suchstrategien

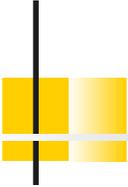


# Start Black Box Demo



---

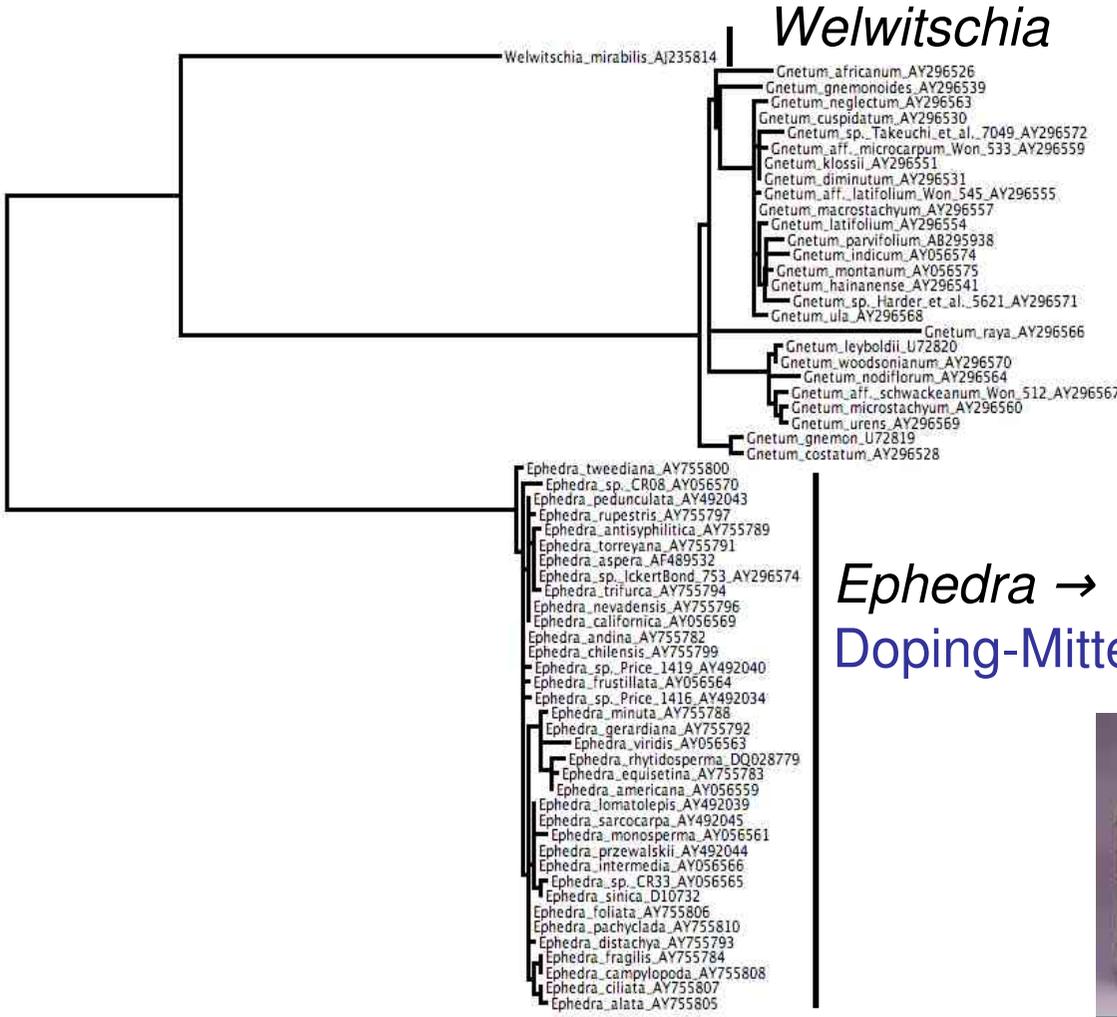
# Gliederung



---

- **AS:** Stammbäume aus Informatikersicht
- **SR:** Aussterben & Bildung von Arten
- **AS:** Hochleistungsrechnen zur Stammbaumberechnung
- **SR:** Anwendungen molekularer Bäume

# Stammbaum



*Ephedra* →  
Doping-Mittel Ephedrin

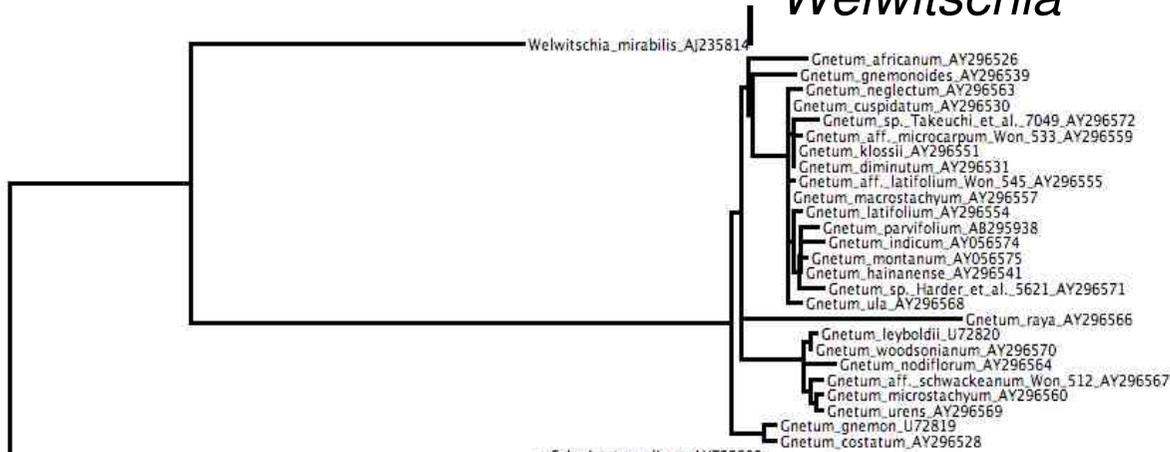




*Ephedra*-  
Artengruppe:

Heute 80 Arten,  
aber ähnliche  
Arten  
fossil vor 120  
Millionen  
Jahren

# Welwitschia



# Gnetum

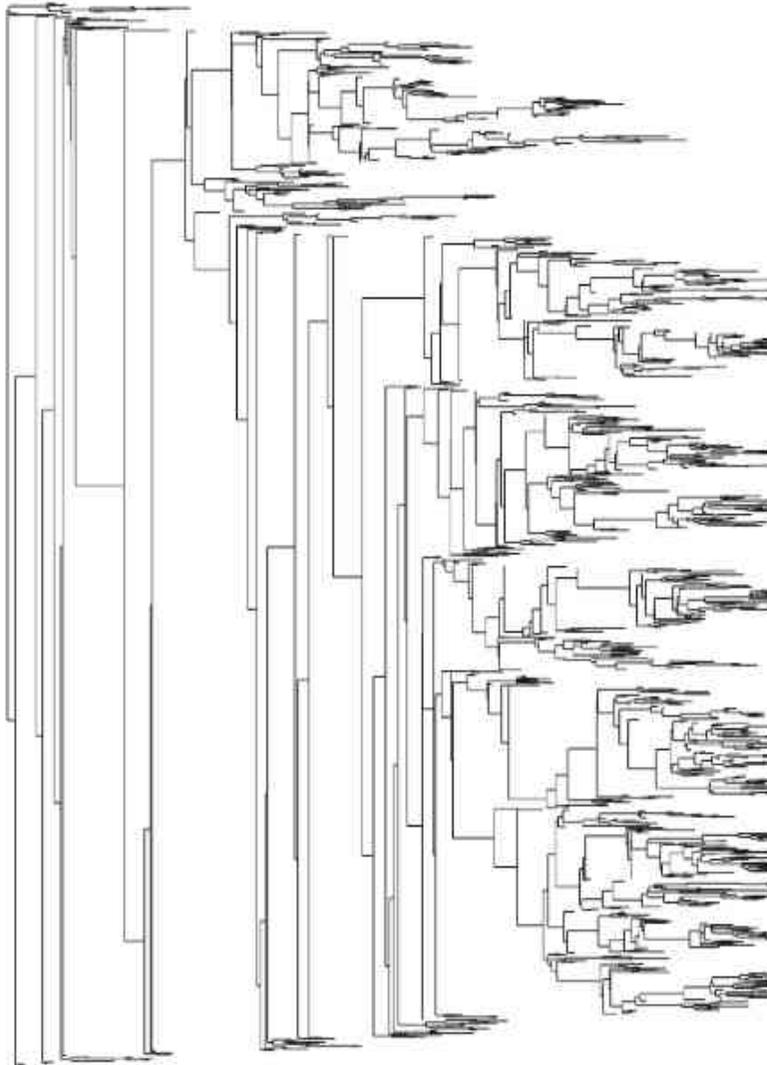
Zeit?

Ephedra →  
Doping-Mittel Ephedrin

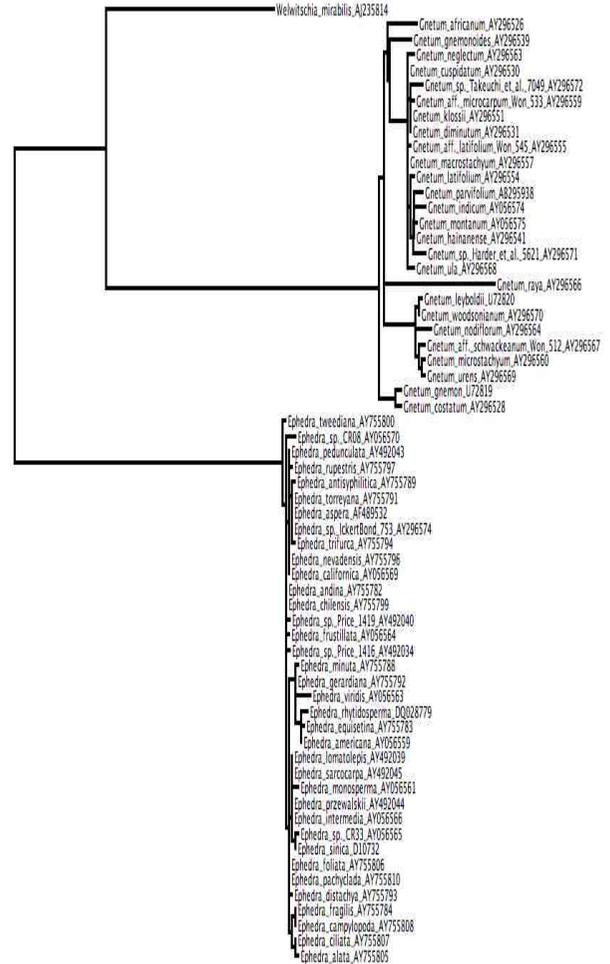
- 
- Ephedra tweediana\_AY755800
  - Ephedra sp. CR08\_AY056570
  - Ephedra pedunculata\_AY492043
  - Ephedra rupestris\_AY755797
  - Ephedra antisiphilitica\_AY755789
  - Ephedra torreyana\_AY755791
  - Ephedra aspera\_AF489532
  - Ephedra sp. IckertBond\_753\_AY296574
  - Ephedra trifurca\_AY755794
  - Ephedra nevadensis\_AY755796
  - Ephedra californica\_AY056569
  - Ephedra andina\_AY755782
  - Ephedra chilensis\_AY755799
  - Ephedra sp. Price\_1419\_AY492040
  - Ephedra frustillata\_AY056564
  - Ephedra sp. Price\_1416\_AY492034
  - Ephedra minuta\_AY755788
  - Ephedra gerardiana\_AY755792
  - Ephedra viridis\_AY056563
  - Ephedra rhytidisperma\_DQ028779
  - Ephedra equisetina\_AY755783
  - Ephedra americana\_AY056559
  - Ephedra lomatolepis\_AY492039
  - Ephedra sarcocarpa\_AY492045
  - Ephedra monosperma\_AY056561
  - Ephedra przewalskii\_AY492044
  - Ephedra intermedia\_AY056566
  - Ephedra sp. CR33\_AY056565
  - Ephedra sinica\_D10732
  - Ephedra foliata\_AY755806
  - Ephedra pachyclada\_AY755810
  - Ephedra distachya\_AY755793
  - Ephedra fragilis\_AY755784
  - Ephedra campylopoda\_AY755808
  - Ephedra ciliata\_AY755807
  - Ephedra alata\_AY755805



# Ausgestorbene + Überlebende

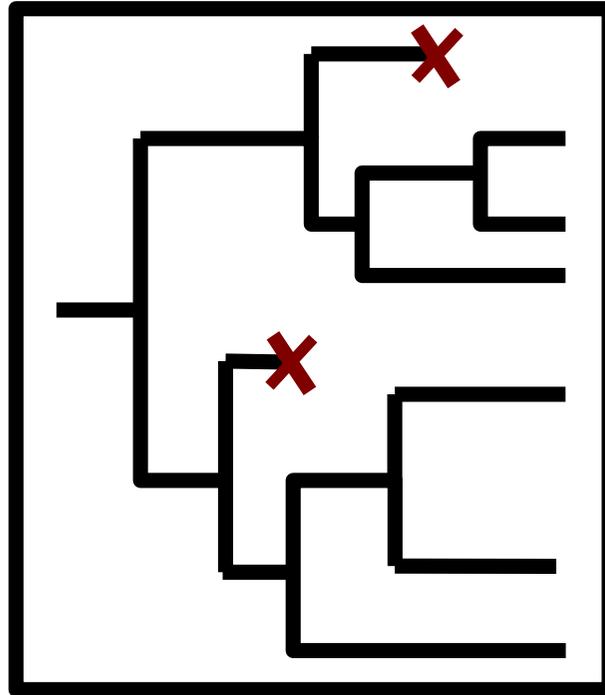
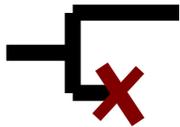


# Nur die Lebenden



# Aussterbe- & Artbildungsraten aus Stammbäumen????

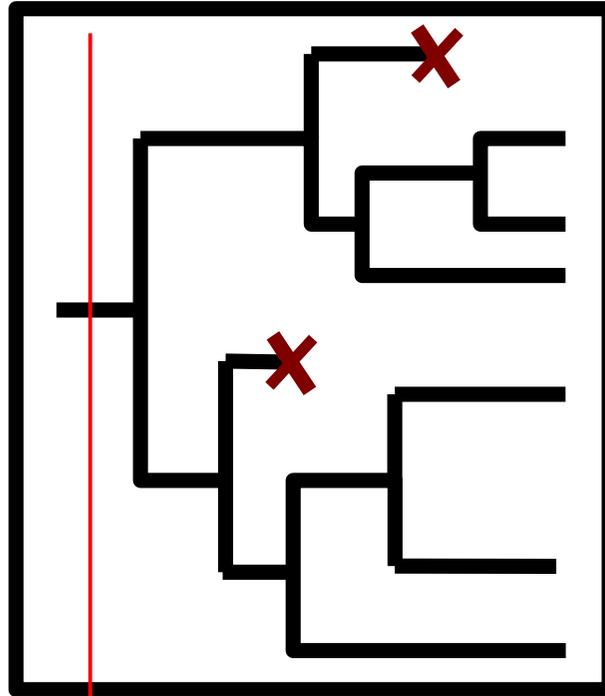
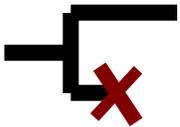
Artbildung  
(Speziation)



Zeit

# Aussterbe- & Artbildungsraten aus Stammbäumen????

Artbildung  
(Speziation)



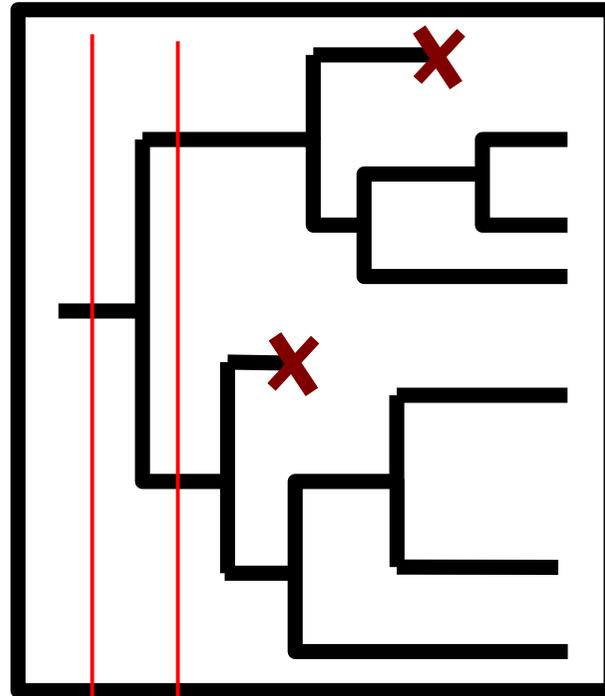
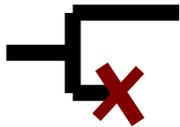
Zahl jeweils vorhandener Arten: 1



Zeit

# Aussterbe- & Artbildungsraten aus Stammbäumen????

Artbildung  
(Speziation)



Zahl jeweils vorhandener Arten:

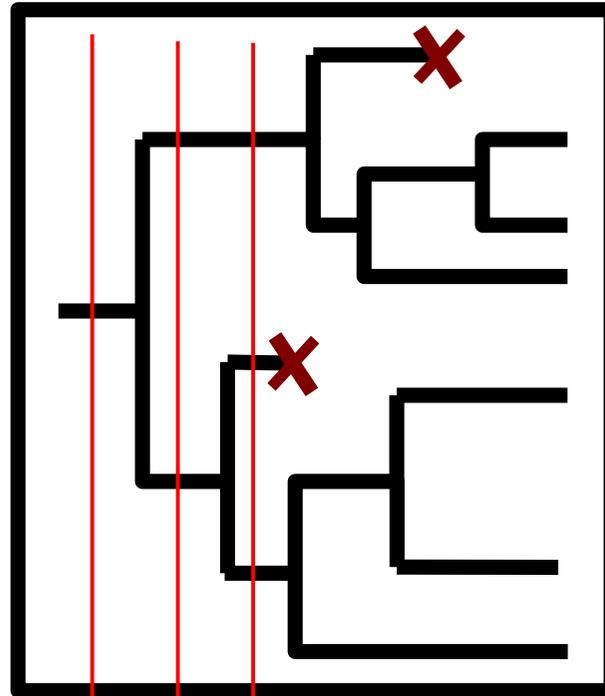
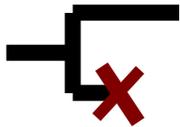
1 2



Zeit

# Aussterbe- & Artbildungsraten aus Stammbäumen????

Artbildung  
(Speziation)



Zahl jeweils vorhandener Arten:

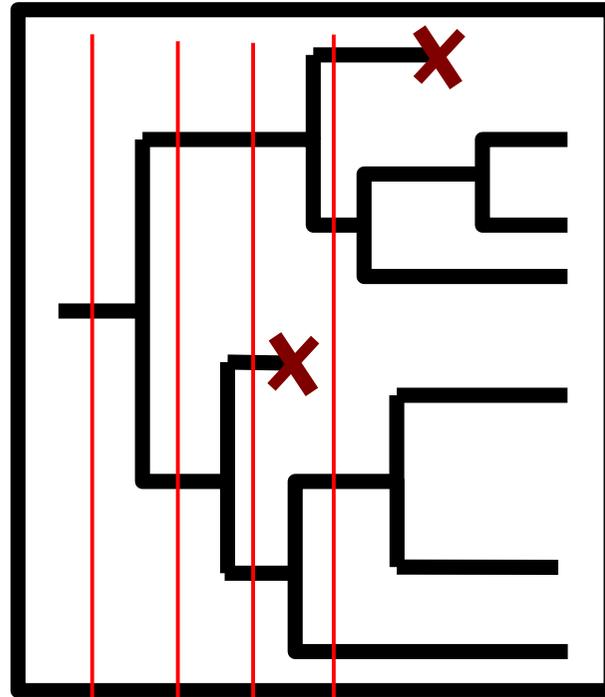
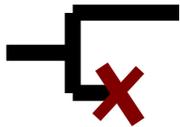
1 2 3



Zeit

# Aussterbe- & Artbildungsraten aus Stammbäumen????

Artbildung  
(Speziation)



Zahl jeweils vorhandener Arten:

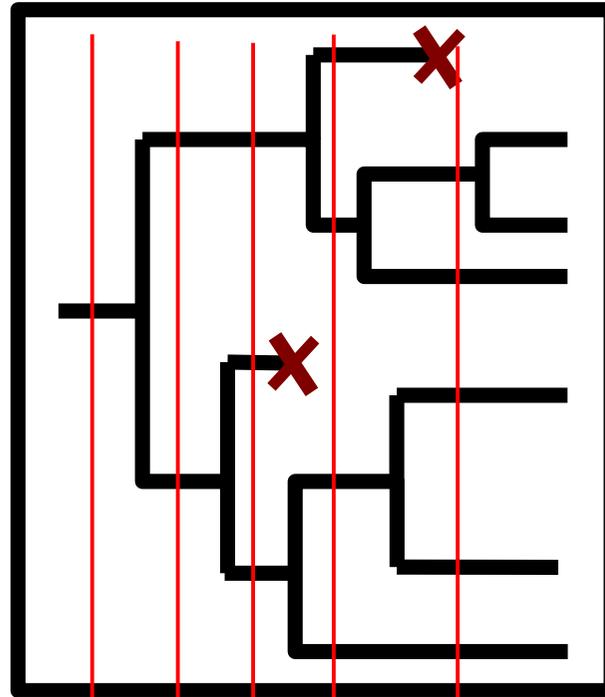
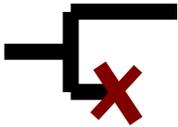
1 2 3 4



Zeit

# Aussterbe- & Artbildungsraten aus Stammbäumen????

Artbildung  
(Speziation)



Zahl jeweils vorhandener Arten:

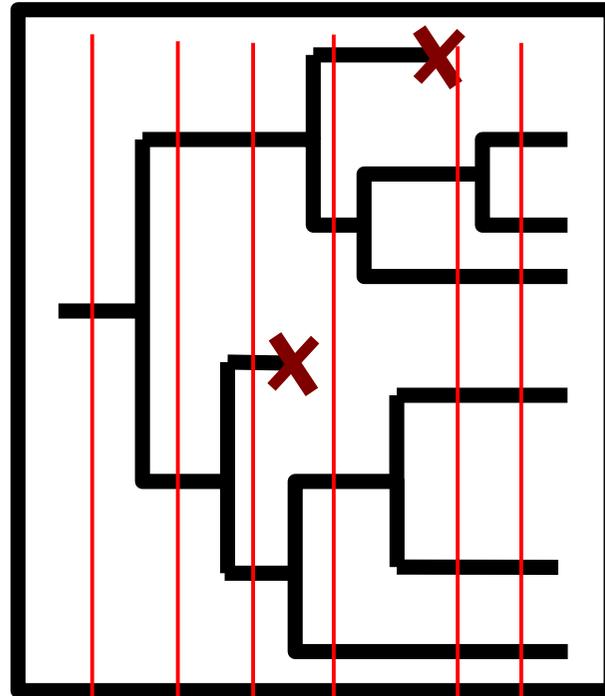
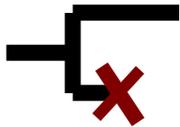
1 2 3 4 5



Zeit

# Aussterbe- & Artbildungsraten aus Stammbäumen????

Artbildung  
(Speziation)



Zahl jeweils vorhandener Arten:

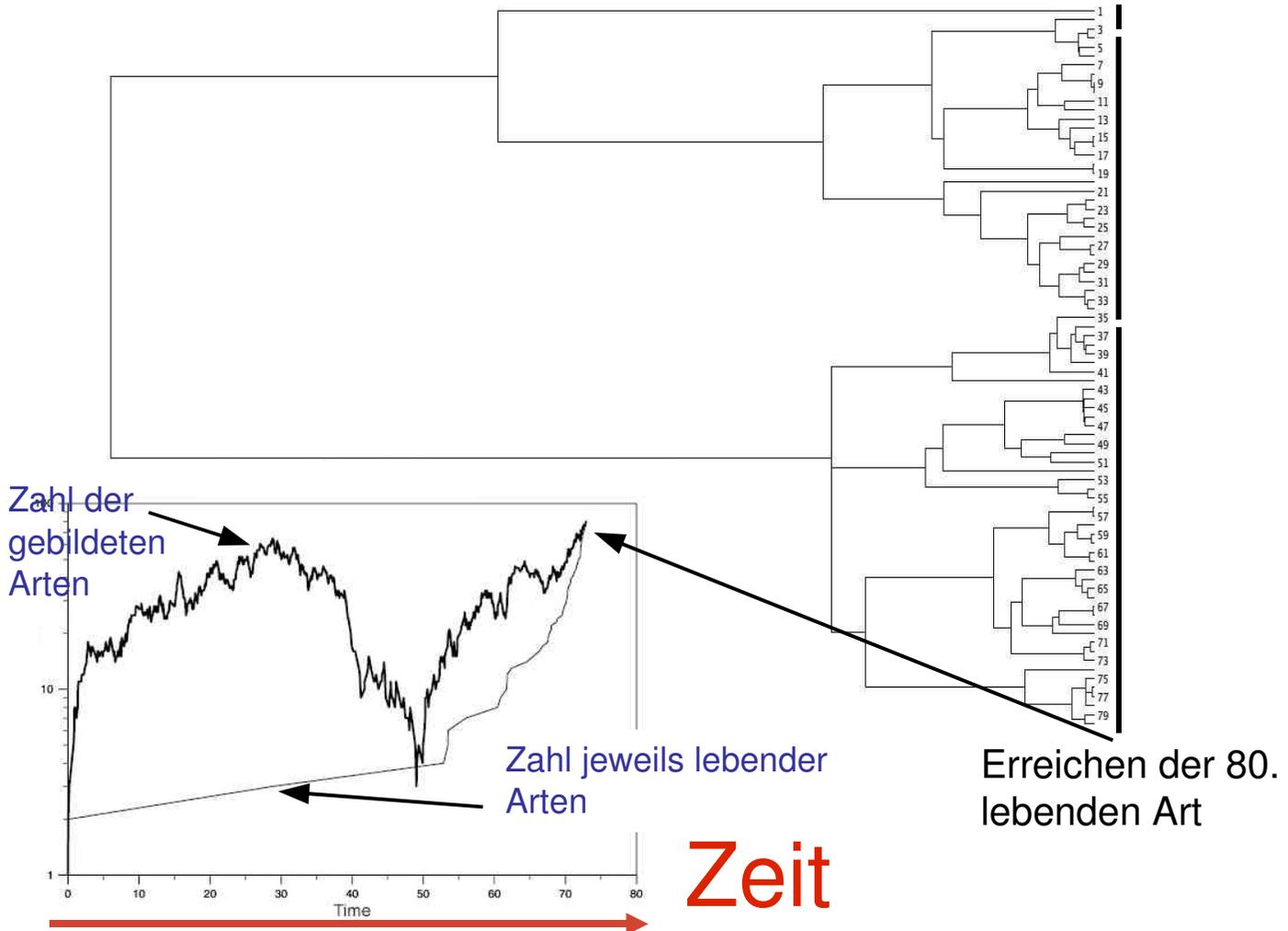
1 2 3 4 5 6



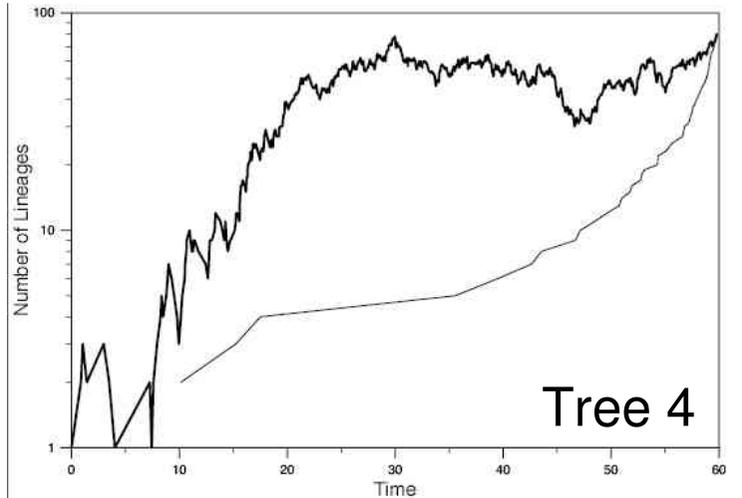
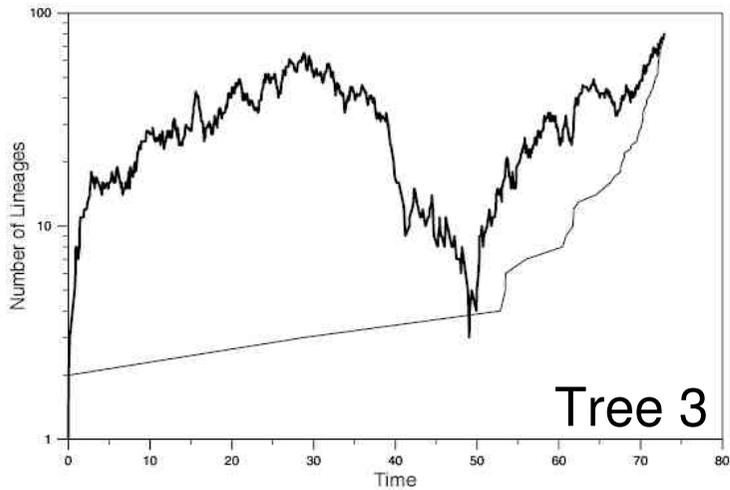
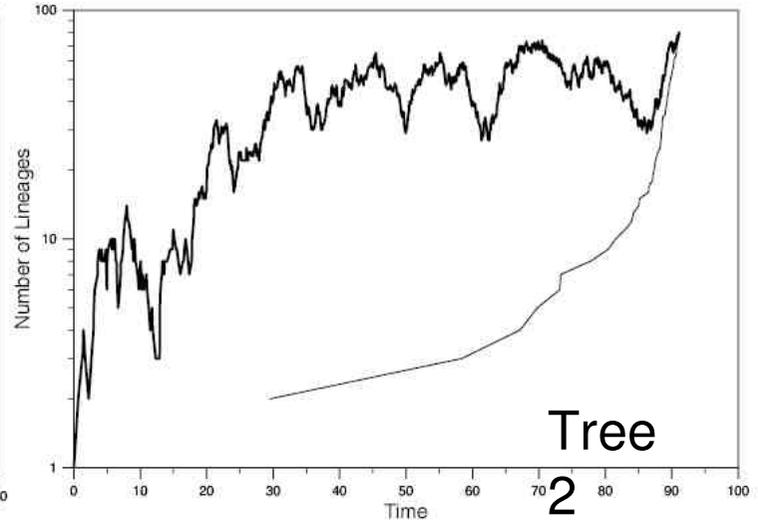
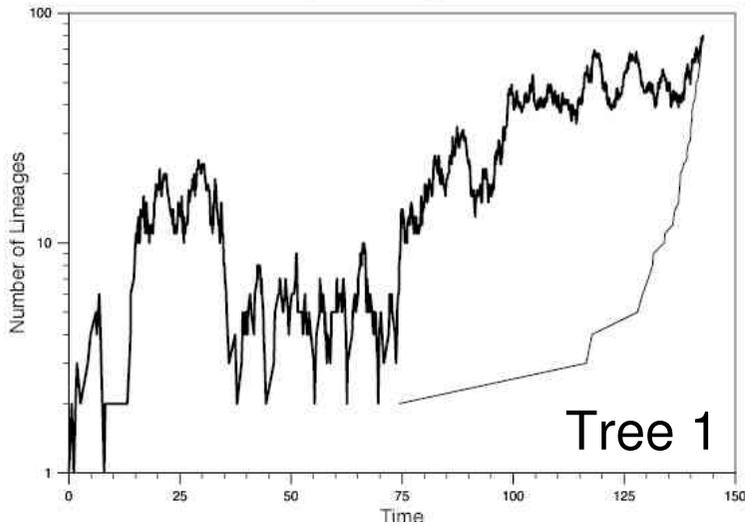
Zeit



472 Stammbäume starben aus, bevor sie 80 Arten erreichten  
4 Bäumen erreichen 80 Arten. Hier ist einer davon:



# Die 4 Bäume, die 80 Arten erreichten



**Constant-rate** birth/death model, extinction fraction 99%, purely stochastic

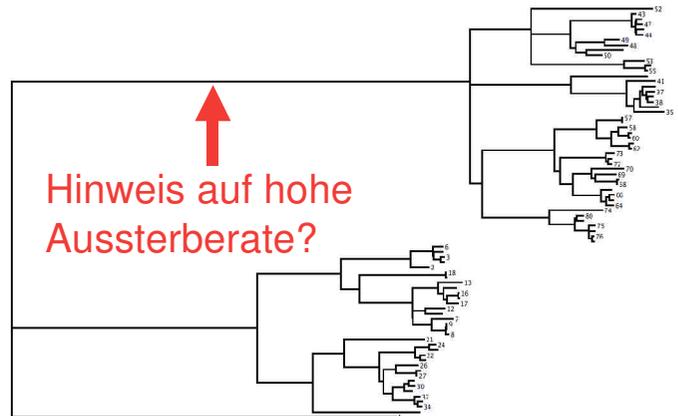
# Die Mathematikerin



$$f_{t_v}(s|t_{v_1}, \dots, t_{v_m}, t_{or}, \mathcal{T}) = \sum_{r \in r(\mathcal{T})} (r(v_{a+1}) - r(v)) \binom{r(v_{a+1}) - r(v_a) - 1}{r(v_{a+1}) - r(v)} \times \\ G(s|t_{or}, x_{r(v_a)}, x_{r(v_{a+1})})^{r(v_{a+1}) - r(v) - 1} \times \\ (1 - G(s|t_{or}, x_{r(v_a)}, x_{r(v_{a+1})}))^{r(v) - r(v_a) - 1} g(s|t_{or}, t_{r(v_a)}, t_{r(v_{a+1})}) \times \\ \frac{\int f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}|t_{or}, n) dx_{r_1} \dots dx_{r_{n-m-1}}}{\sum_{\tilde{r} \in r(\mathcal{T})} \int f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}|t_{or}, n) dx_{\tilde{r}_1} \dots dx_{\tilde{r}_{n-m-1}}} \quad (3.37)$$

Dissertation Tanja Gernhart,  
Lehrstuhl für Angewandte Geometrie und Diskrete Mathematik,  
TU München

“Sampling simulated trees ... is more complicated than may first be expected, necessitating some careful mathematical consideration”



# Die Mathematikerin fand heraus: “Simulating Trees ... a tricky task!”

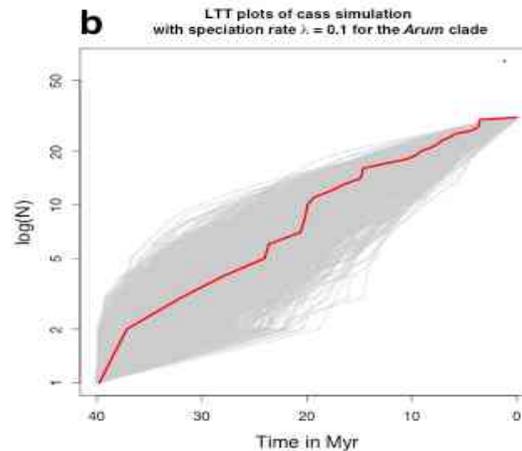
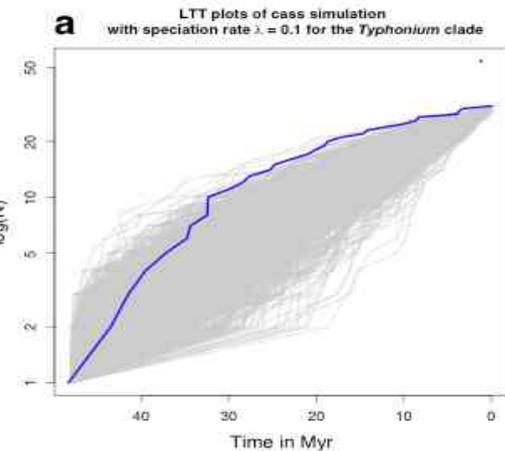
Tanja Gernhard, 3 Probleme mit Simulationen:

- 1) Wann stoppen?
- 2) Artenzahlen oszillieren
- 3) Über welchen Zeitraum existieren  $x$  Arten?

Sind die Diversifikationsraten von Aronstabgewächsen im Monsoonklima Südostasiens anders als die einer Schwestergruppe im Mittelmeergebiet?

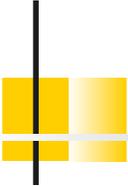


Dissertation Natalie Cusimano,  
Biologie, LMU München



Heutiges Artensterben schlimmer denn je?

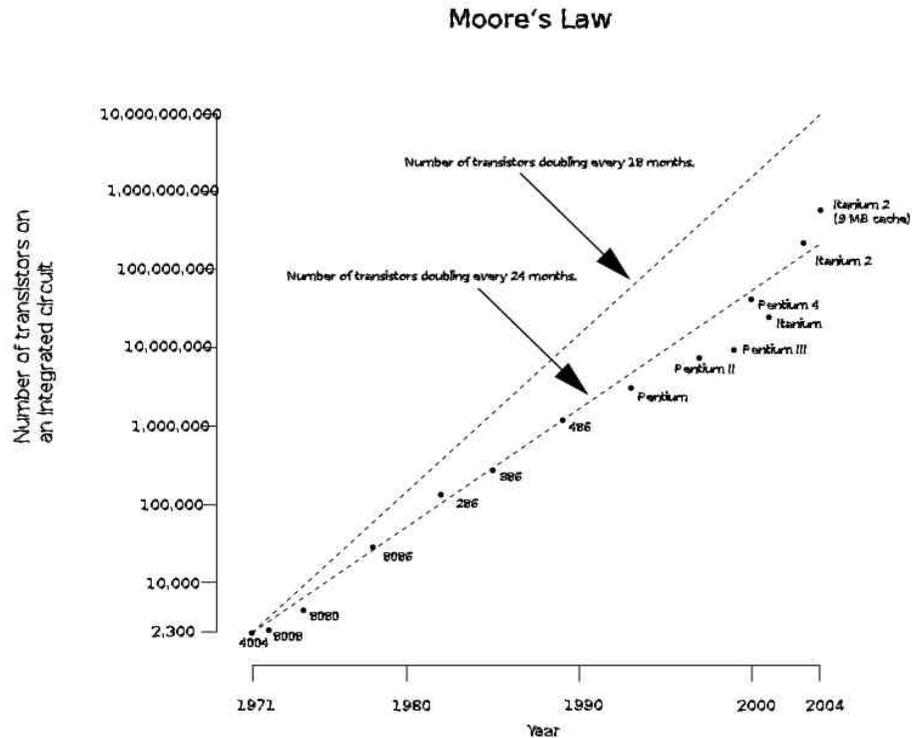
# Gliederung



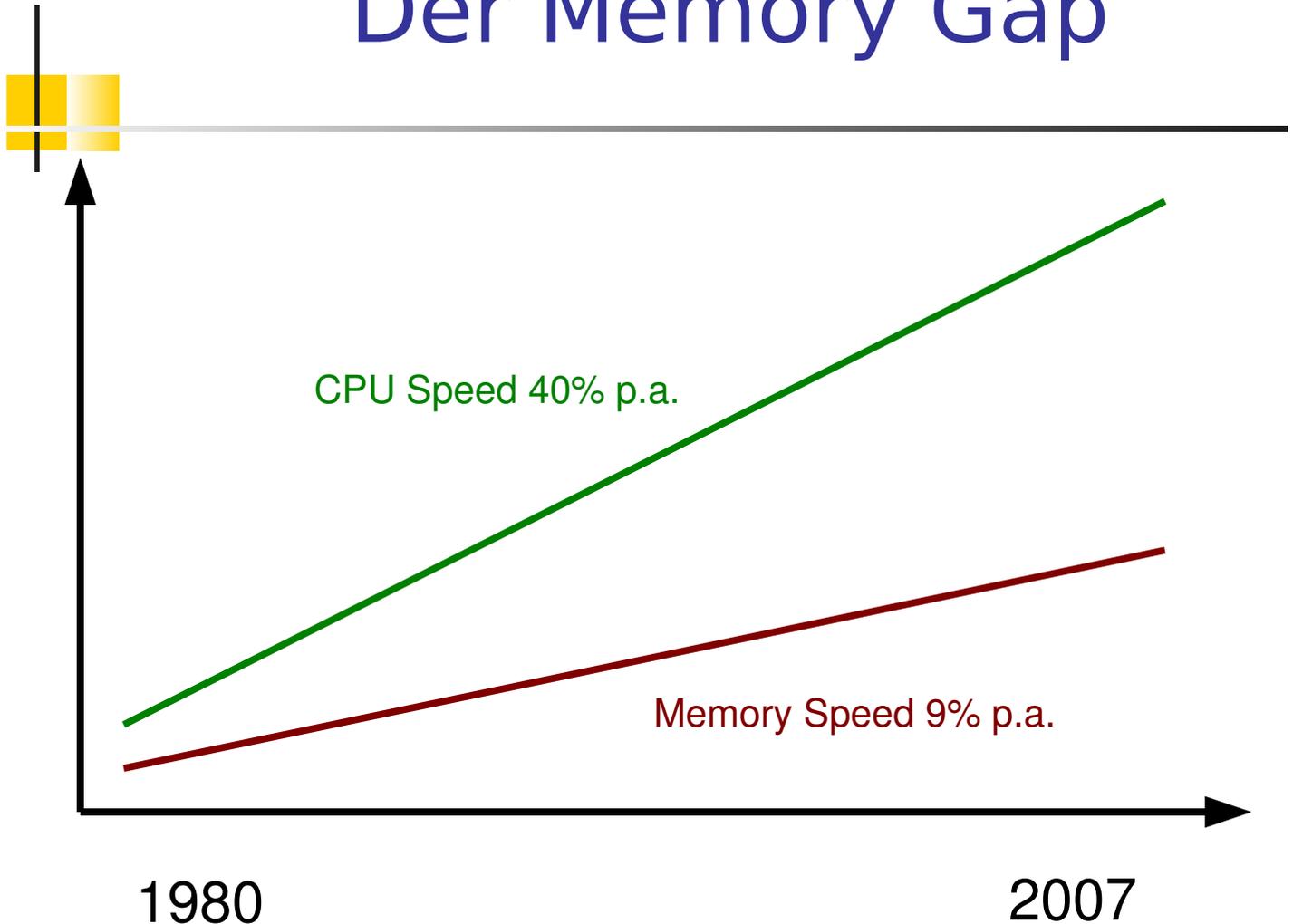
---

- **AS:** Stammbäume aus Informatikersicht
- **SR:** Bildung & Aussterben von Arten
- **AS:** Hochleistungsrechnen zur Stammbaumberechnung
- **SR:** Anwendungen molekularer Bäume

# Moore's Law



# Der Memory Gap



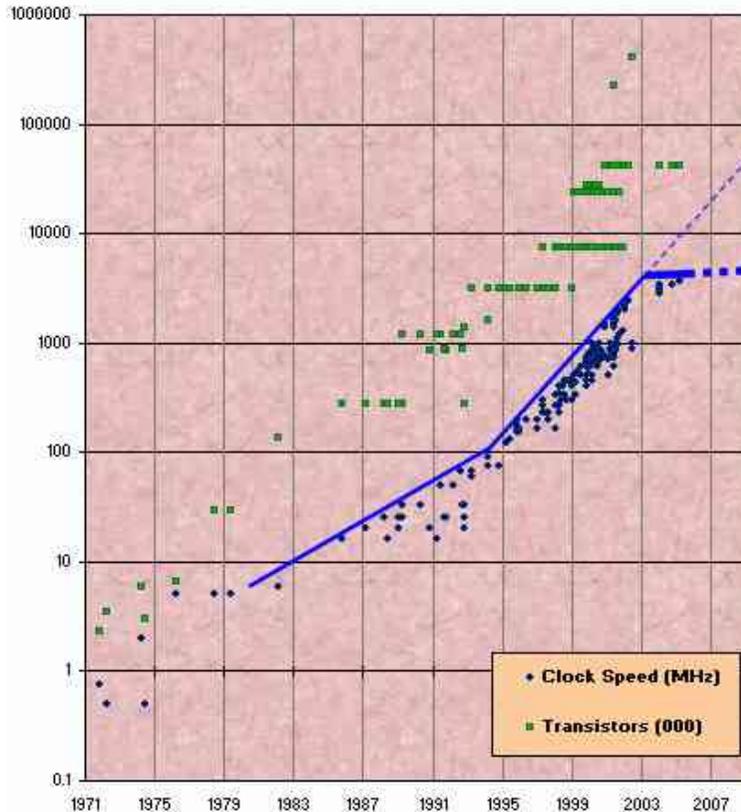
CPU Speed 40% p.a.

Memory Speed 9% p.a.

1980

2007

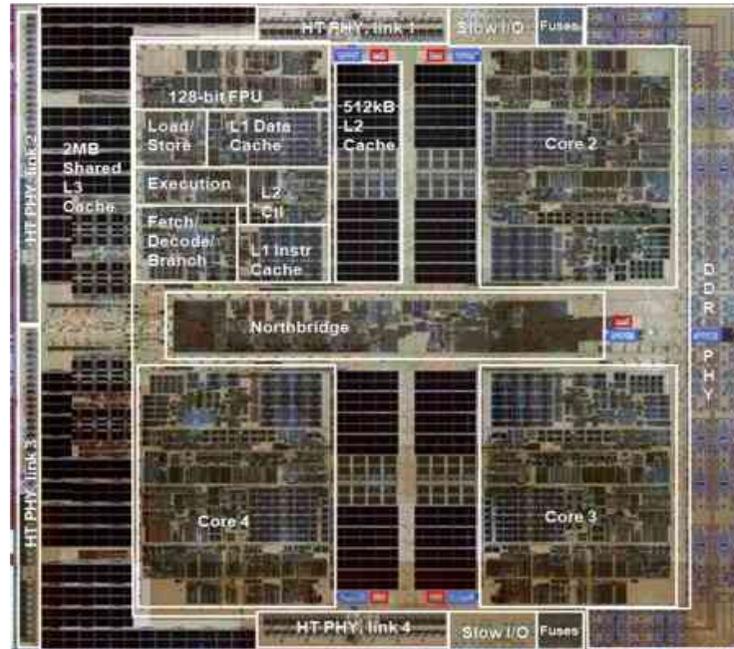
# The free lunch is over!

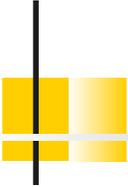


# Warum kann man die Taktzahlen nicht einfach weiter erhöhen?

- Man bekommt nicht genug Daten in den Prozessor wegen Memory Gap
  - Problem mit Überhitzung: Temperatur steigt im Quadrat zur Taktfrequenz
  - Prozessoren würden bei über 5Ghz schmelzen
  - The Clock-speed Wall
- Lösung (oder auch nicht)  
Paradigmenwechsel zu Mehrkern (Multi-Core) Architekturen “The free lunch is over!”

# Multi-Core Architektur

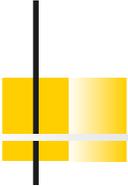




# Evolution der Rechnerarchitekturen

---

- Moore's law
- Ausserdem gibt es ein Speicherproblem
- Paradigmenwechsel zu Mehrkern-Architekturen
- Parallelisierung von Programmen kann nicht automatisiert werden

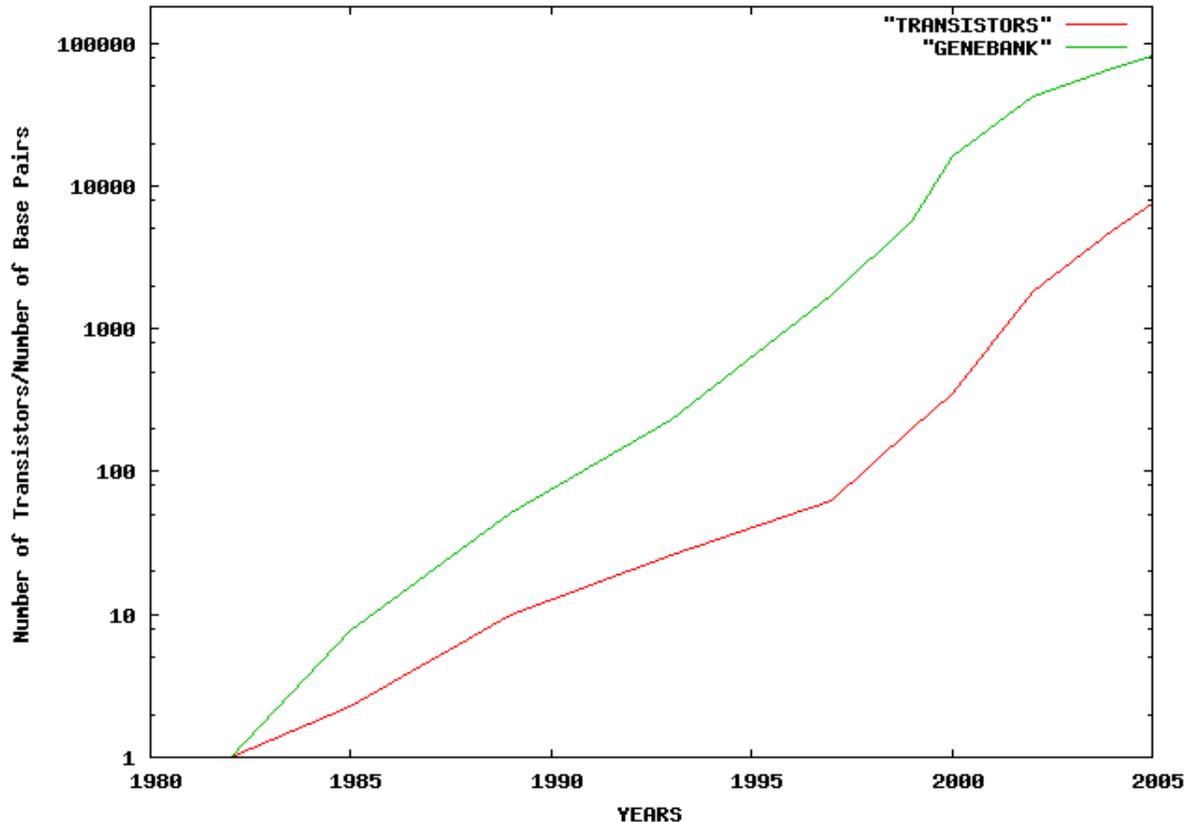


# Evolution der Rechnerarchitekturen

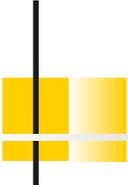
---

- Moore's law
- Ausserdem gibt es ein Speicherproblem
- Paradigmenwechsel zu Mehrkern-Architekturen
- Parallelisierung von Programmen kann nicht automatisiert werden
- Neue DNA-Sequenziertechniken: Nie dagewesene Datenflut

# Eine rasante Entwicklung Der "Bio-Gap"



# Fazit



---

- Parallelrechnen wird zunehmend wichtiger für die Bioinformatik!
- Man muss sich zu einer neuen Sequenziermaschine einen Hochleistungsrechner dazukaufen!
- Neue Sequenziermaschine (454-Sequencer) auf Kreta → reicht für das ganze östliche Mittelmeer

# Datenverteilung & Parallelisierung

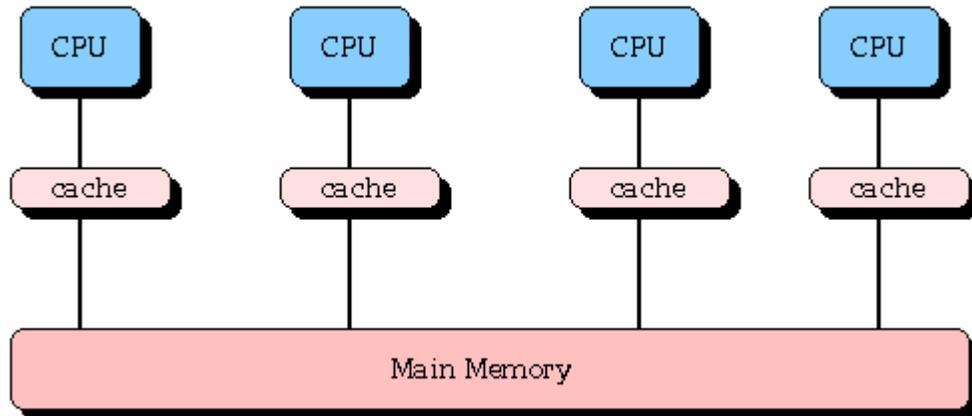


ACGTT AAGGG TTTCC CCGGG

ACGTA AAAGG TTCCC CCCGG

AAGTT AGGGG TATCC CCAAG

ACCTT AAAAG TTTCC CCGAG



# Datenverteilung & Parallelisierung



ACGTT

ACGTA

AAGTT

ACCTT



AAGGG

AAAGG

AGGGG

AAAAG



TTTCC

TTCCC

TATCC

TTTCC

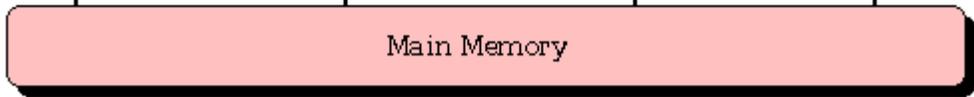


CCGGG

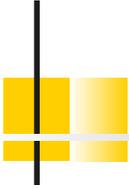
CCCGG

CCAAG

CCGAG



# Bewertungsfunktion $f()$ als Schaltkreis

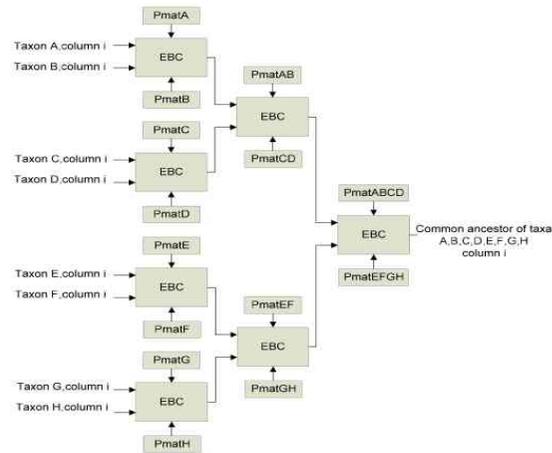


Nikos Alahiotis  
Technische Universität Chania  
ab 2009 Doktorand TU München

Alexandros Stamatakis und Susanne Renner, |

## 4.3.1 Το Μονοπάτι Δεδομένων – Εναλλακτική 1

Σύμφωνα με την πρώτη εναλλακτική σχεδιαστική προσέγγιση που προτείνεται, τα expanded basic cells τοποθετούνται σε δενδρική δομή όπως φαίνεται στην εικόνα 4-4.



Εικόνα 4-4 : Δενδρική Τοπολογία της επεκταμένης βασικής υπολογιστική μονάδας

Η παραπάνω σχεδιαστική επιλογή παρουσιάζει 7 expanded basic cells σε δενδρική διάταξη. Τα 4 EBCs του πρώτου επιπέδου λειτουργούν παράλληλα και επεξεργάζονται δεδομένα από 8 διαφορετικές λειτουργικές ταξινομηκές μονάδες. Η πληροφορία που προκύπτει αποτελεί είσοδο στα EBCs του δεύτερου επιπέδου και τα αποτελέσματα του

# Stammbaumberechnung auf Hochleistungsrechnern



IBM BlueGene/L San Diego Supercomputer Center  
LRZ HLRB-II Höchstleistungsrechner in Bayern



Michael Ott  
TU München

# Playstation III

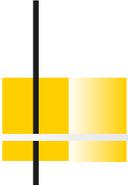
## Nicht nur zum Spielen

---



Filip Blagojevic  
Berkeley Labs, Kalifornien

# Gliederung

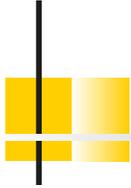


---

- **AS:** Stammbäume aus Informatikersicht
- **SR:** Bildung & Aussterben von Arten
- **AS:** Hochleistungsrechnen zur Stammbaumberechnung
- **SR:** Anwendungen molekularer Bäume

# Was machen denn unsere Gurken?

---





# Wer sind die nächsten Verwandten der Gurke?

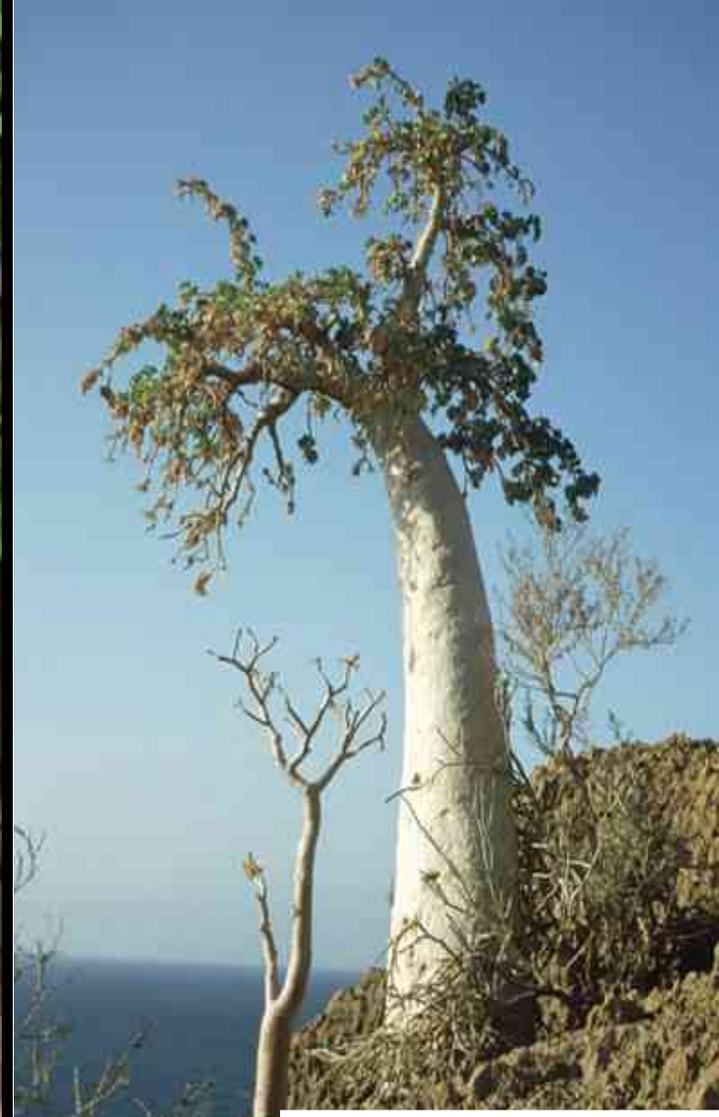


Genus *Cucumis*





*Sinohailiana yunnanensis*  
Yunnan Det. H. Schaefer

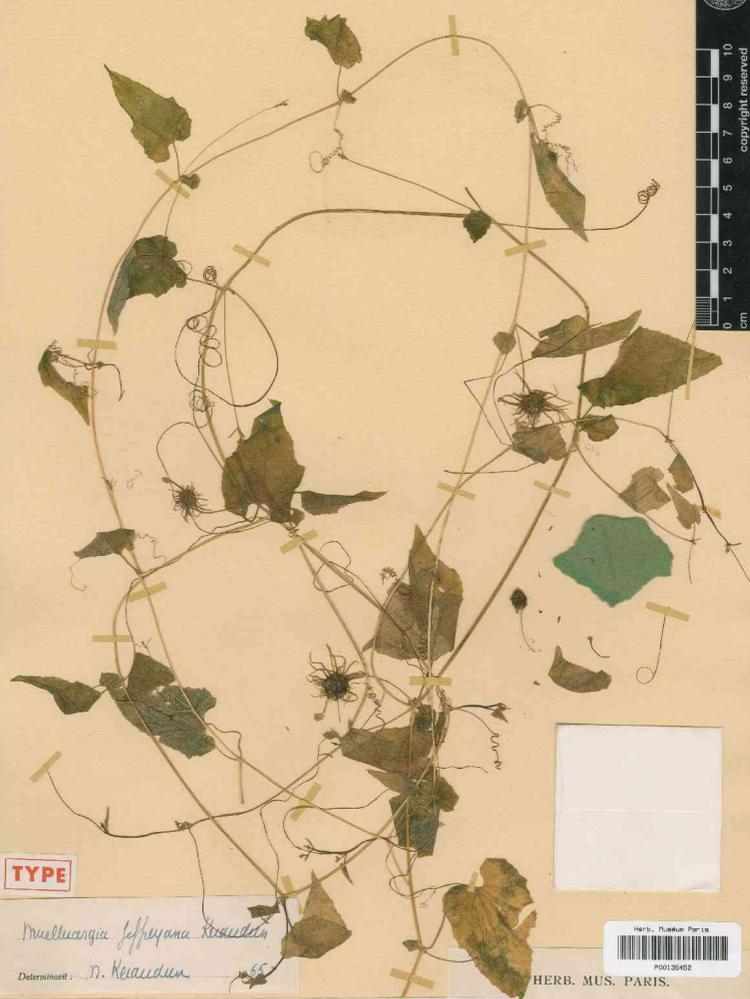


*Dendrosicyos socotranus*  
Socotra Photo M. Thiv



Black  
3/Color  
White  
Magenta  
Red  
Yellow  
Green  
Cyan  
Blue  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
A

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
cm  
copyright reserved



TYPE

*Muehlenbergia Jeffreyana* ~~Krauss~~  
Determinat: M. Krauss

Herb. Muséum Paris  
P00135462

HERB. MUS. PARIS.

COURS Gilbert - PLANTES DE MADAGASCAR  
District de DIANGO-SUAZEH - Canton d'AMIVORANO Nord  
Forêt d'Antemampandrana - Km 89,500 de la route  
d'Ambilobe le 1er Février 1960 - Collecteurs de  
l'Antarana - avec le Prof. HUBERTY

5586 - Liane à feuilles très fines à toucher ciréux - Feuilles vert franc  
sutes un peu plus claires dessous portant quelques cils blancs -  
Fleurs blanches.

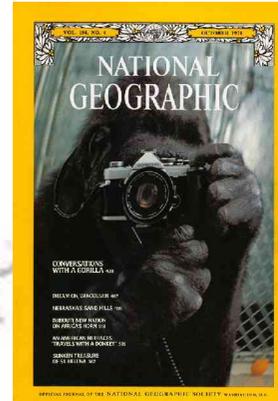
M. G. COURS

Diese nur von 2  
Herbarbögen  
bekannte  
madagassische Art  
ist Schwestergruppe  
zur Linie  
Gurke/Melone  
(Gattung *Cucumis*)

# Laufende Dissertation zu den “neuen” Verwandten der Gurke: Wer, wo, wie sehen die aus?



DNA (jedenfalls uralte),  
aber bisher keine Kenntnisse zu  
den Eigenschaften der  
2007 neu erkannten  
“wilden” Gurken.



# Anwendungen molekularer Bäume

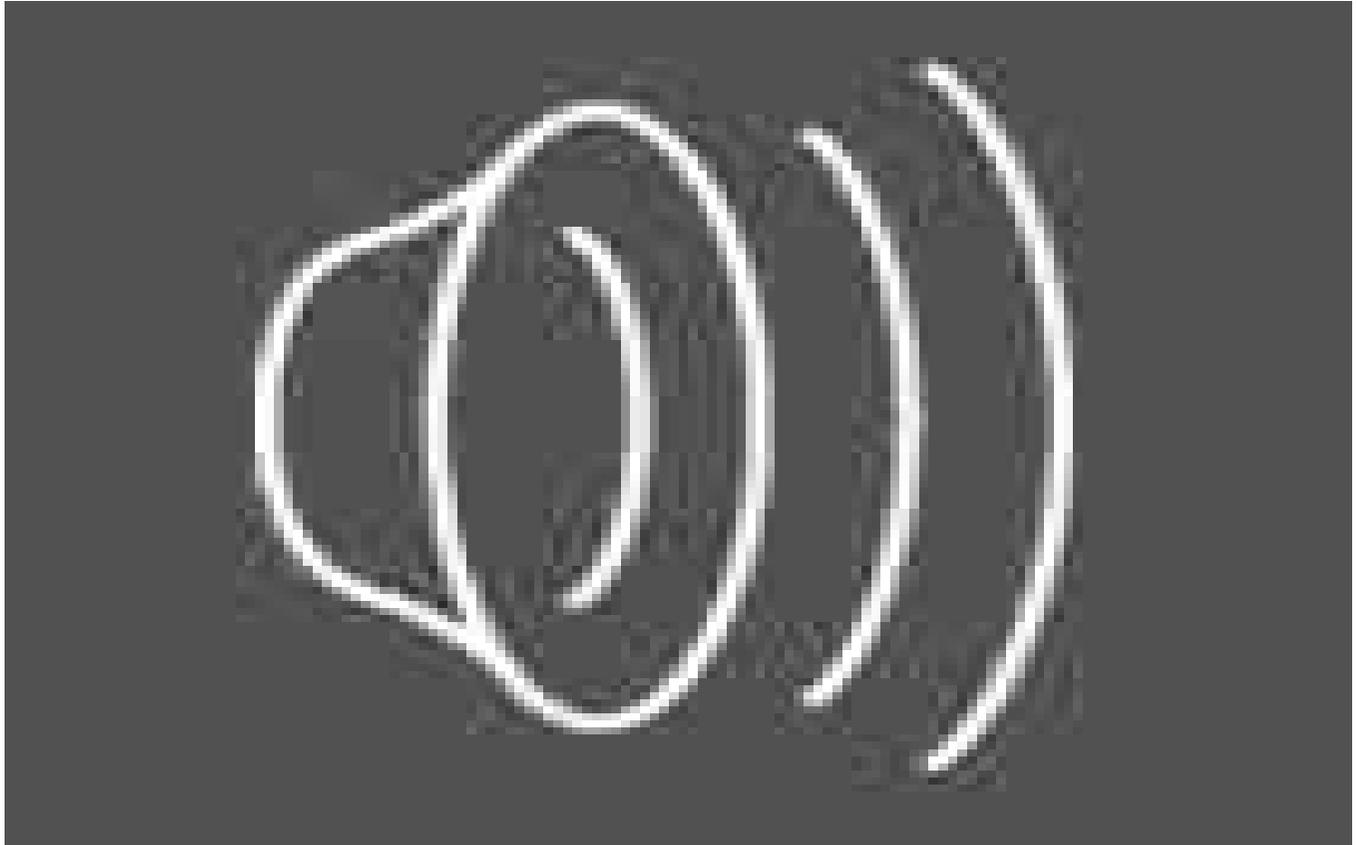
Zahlreiche weitere Beispiele möglich,

- Transfer von DNA-Teilsträngen zwischen Spezies
- Erkennen der Herkunft invasiver Pflanzen & Tiere
- Ausbreitung von Epidemien → die zum Schluss

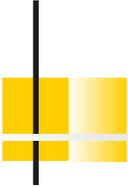
# Ausbreitung des Vogelgrippe-Virus 1996-2004



# Ausbreitung des Vogelgrippe-Virus 1996-2004



# Zusammenfassung

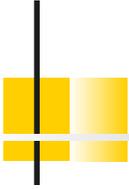


---

- Stammbäume sind für viele Bereiche der biologischen und medizinischen Forschung wichtig
- Interdisziplinäres Forschungsfeld: Statistik, Algorithmik, Höchstleistungsrechnen, Biologie
- Die biologische Datenflut stellt uns vor neue Herausforderung

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

---



Psiloritis, Kreta, Griechenland, Januar 2006