



Das Fisher-Skellam-Modell für die Ausbreitung des Neolithikums und Vergleich mit Datierungen für die Linearbandkeramik

1 Menschen oder Ideen?

Die Frage ob sich das Neolithikum als Kultur oder über die Wanderung und Ausbreitung neolithischer Menschen verbreitet hat ist noch immer umstritten. Genetische Daten der heutigen Bevölkerung weisen auf Wanderung hin.

Rhesusfaktor negativ

[Am84] Seine größte Häufigkeit hat er bei den Basken in den Pyrenäen und im Norden Skandinaviens, also bei den Volksgruppen, für die auch aus linguistischen [Ca97] und anderen Gründen am ehesten eine vorneolithische Abstammung angenommen wird.

Hauptkomponentenanalyse

[Ca96, Ca97] Für eine Reihe von Genen, die für Abstoßungsreaktionen und die Transplantationsmedizin wichtig sind, liegen Verbreitungsdaten für die heutige Bevölkerung vor. Eine Zusammenfassung und Hauptkomponentenanalyse dieser Daten läßt verschiedene Wanderungsbewegungen erkennen, von denen die deutlichste und wichtigste mit der Ausbreitung des Neolithikums gut übereinstimmt.

Y-Chromosom

[Ch02, Du04] Rund 50 % der Gene heutiger Europäer stammen aus der Ursprungsregion des Ackerbaus im Nahen Osten. Lokal bedeutet dies bei zehn Zwischenschritten einen Anteil der Zuwanderer, die weiter im Westen ja selbst schon vermischt sind, von jeweils mindestens 85 %.

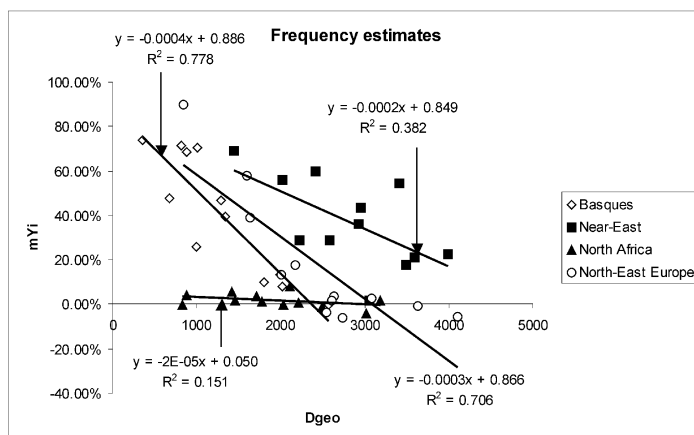


Abbildung 1: Anteile verschiedener Ursprungsbevölkerungen am heutigen Genpool in Abhängigkeit von der Entfernung zum jeweiligen Ursprungszentrum [Du04].

2 Die Ausbreitung des Neolithikums

Schon lange besteht Einigkeit darüber, daß sich das Neolithikum von einem Zentrum im nahen Osten aus in alle Richtungen verbreitet hat. Der genaue Verlauf und die Geschwindigkeit dieser Ausbreitung blieb lange unklar.

2.1 Ammerman und Cavalli-Sforza

[Am71, Am73, Am84] Nach dem Vorliegen hinreichend genauer absoluter Datierungen versuchten 1971 Albert Ammerman und L. Luca Cavalli-Sforza als erste die Geschwindigkeit des Vordringens zu messen. Für 53 und später 103 Fundplätze, an denen der Beginn des Neolithikums datiert werden konnte, errechneten sie die Entfernung in Luftlinie von verschiedenen möglichen Zentren im nahen Osten. Diese ergeben einen näherungsweise linearen Zusammenhang¹ zwischen Zeit und Entfernung.

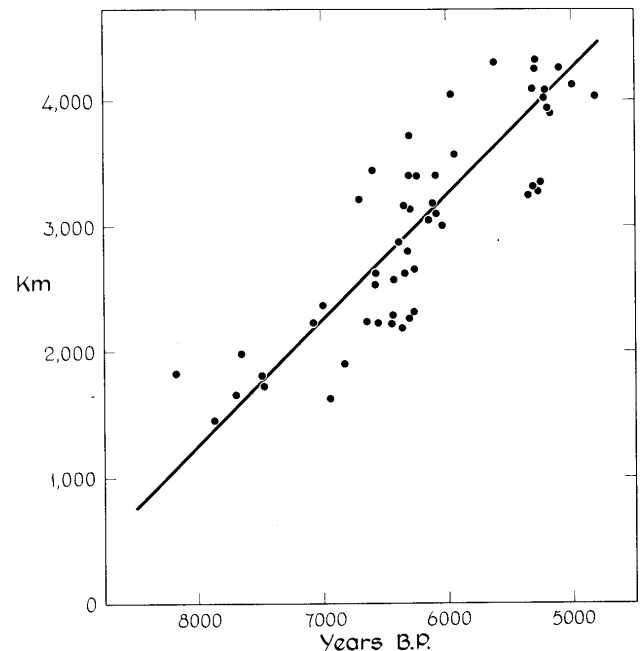


Abbildung 2: Verteilung der 103 Fundplätze von Ammerman 1973 nach Entfernung und Ankunftszeit [Am84].

¹ Ein solcher ist keineswegs a priori zu erwarten. Ein linearer Zuwachs der besiedelten Fläche läßt den Radius mit der Wurzel der Zeit ansteigen, ein ungebremstes Wachstum läßt Fläche und Radius exponentiell ansteigen. Das gefundene lineare Vordringen bedeutet einen quadratischen Anstieg des Siedlungsgebietes.

2.2 Pinhasi, Fort und Ammerman

[Pi05] Ron Pinhasi, Joaquim Fort und Albert Ammerman wiederholten 2005 diese Analyse auf der Basis eines erheblich größeren Datensatzes von 765 Fundplätzen. Sie berücksichtigten eine größere Zahl möglicher Ausbreitungszentren und bestimmten die Fehlergrenze der resultierenden Geschwindigkeit. In allen Fällen ergaben sich Geschwindigkeiten von 0.6–1.3 km/a. Sie stellen fest, daß bisher kein Modell für die kulturelle Beeinflussung eine Ausbreitung in diesem Geschwindigkeitsbereich erklären konnte [Pi05, 2222].

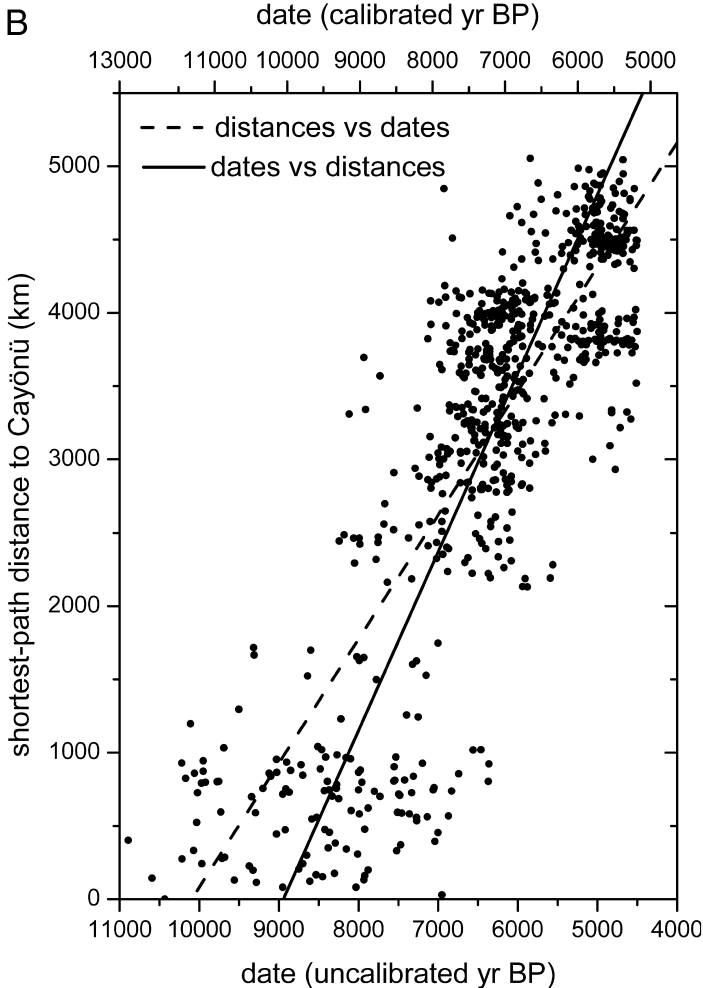


Abbildung 3: Verteilung der 765 Fundplätze von Pinhasi sowie die beiden Regressionsgeraden mit Entfernung und Zeit als unabhängiger Variablen [Pi05].

3 Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam

3.1 Die Fisher-Skellam-Formel für die lokale Bevölkerungsdichte

[Fi37, Sk51, Ke48, Fo02] Wenn wir die zeitliche Veränderung irgendeiner beweglichen Größe im Raum beschreiben, so bewegen wir uns im allgemeinen mit dem beobachteten Element mit. Uns interessiert hier die Entwicklung an einem Ort, also die partielle Ableitung nach der Zeit.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = ?$$

Anschaulich steht n für die Anzahl Menschen in einem Teilgebiet, z. B. einer Siedlung. Mathematisch steht n für eine Dichte in [Personen/km²].

3.1.1 Das autochthone Wachstum

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \alpha n \cdot \left(1 - \frac{n}{N}\right)$$

Dabei sind:

- n Bevölkerungsdichte [Personen/km²]
- α Anfangswachstum [%/a]
- N Tragfähigkeit² [Personen/km²]

3.1.2 Das Wachstum durch Zuwanderung

$$\vec{J} = -D \frac{dn}{d\vec{r}} = -D \vec{\nabla} n \quad (1)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (D \vec{\nabla} n) = D \vec{\nabla}^2 n \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \vec{\nabla}^2 &= \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} \\ &= \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} + \frac{1}{r^2} \frac{d^2}{d\varphi^2} \simeq \frac{d^2}{dr^2} \\ D &= \frac{m^2}{2d(1\alpha)} = \frac{\mu^2}{2d\tau} \\ \Rightarrow \frac{\partial n}{\partial t} &= \frac{\mu^2}{4\tau} \cdot \frac{d^2 n}{dr^2} \end{aligned} \quad (3)$$

Dabei sind:

- \vec{J} Nettostrom [1/km a]
- D Diffusionskoeffizient in [km²/a]
- d Zahl der Dimensionen [2]
- m Migration pro Jahr [km]
- μ Migration pro Generation [km]
- τ Dauer einer Generation [a]

3.1.3 Die Fisher-Skellam-Formel

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \alpha n \cdot \left(1 - \frac{n}{N}\right) + \frac{\mu^2}{4\tau} \cdot \frac{d^2 n}{dr^2} \quad (4)$$

Eine Voraussetzung für ihre Anwendbarkeit ist ein hinreichend großes Wachstum α . Im Grenzfall $\alpha = 0$ würde sich auch eine sehr kleine Bevölkerung gleichmäßig auf einer beliebig großen Fläche verteilen, wobei alle sozialen und Heiratsnetzwerke zusammenbrächen.

3.2 Die Ausbildung der Welle

$$v \geq 2\sqrt{D\alpha} = 2\sqrt{\frac{\mu^2 \alpha}{4\tau}} = \mu \sqrt{\frac{\alpha}{\tau}} \quad (5)$$

3.2.1 Die zeitverzögerte Lösung

$$\vec{J}(\vec{r}, t + \tau) = -D \vec{\nabla} n(\vec{r}, t) \quad (6)$$

$$v = \frac{2\sqrt{D\alpha}}{1 + 1/2 \alpha \tau} = \frac{\mu \sqrt{\alpha/\tau}}{1 + 1/2 \alpha \tau} \quad (7)$$

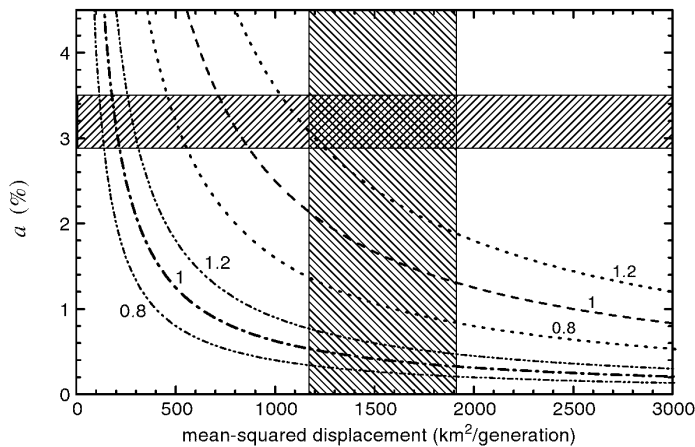
² In dieser Darstellung ist N eine Konstante. Notwendig ist nur, daß sich N z. B. infolge landwirtschaftlicher Fortschritte wesentlich langsamer ändert als n und wir diese Veränderung über die hier betrachteten kurzen Zeiträume vernachlässigen können.

Autor	α [%/a]	τ [a]	μ [km]	Proxy zur Bestimmung von μ
Pinhasi 2005	2.9–3.5	29–35	30–47	Entfernung vom Geburtsort zu dem eines Elternteils
Ammerman 1984	0.6–3.0	25	17–45	Geburtsorte von Mann und Frau oder Wohnort als Erwachsener und Geburtsort
Rendine 1986	1.6	25	31	wie Pinhasi 2005
Fort 2002	2.9–3.5	25–28	34–44	Mittel aus Ammerman 1984 und Pinhasi 2005

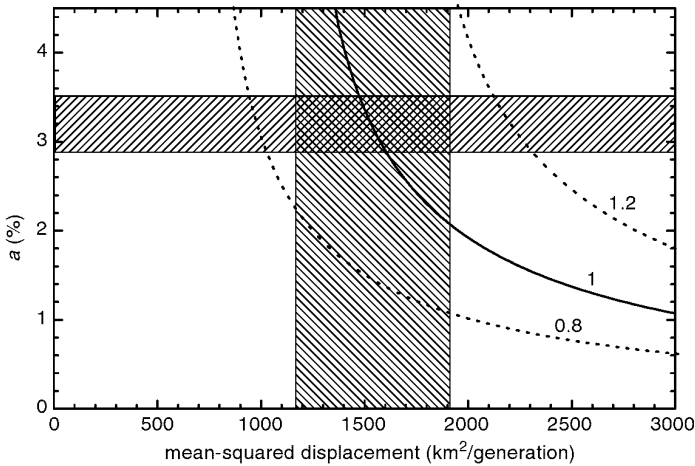
Tabelle 1: Spannweiten der ethnographisch erschließbaren Parameter.

3.3 Die quantitative Anwendung des Modells

Die Werte für α bei [Fo02] und [Pi05] sind von der Besiedlung von Pitcairn 1790–1856 und den Bass-Straßen-Inseln 1820–1945 durch Europäer abgeleitet. Nach Abbildung 4a könnte auch Gleichung (5) mit einem $\alpha \approx 2\%/a$ die beobachtete Geschwindigkeit erklären.



(a) Berechnung nach der unverzögerten Gleichung (5). Die untere Kurvenschar ist mit der falschen Gleichsetzung von $D = \mu^2/\tau$ in [Am84] berechnet.



(b) Berechnung mit der verzögerten Diffusion nach Gleichung (7)

Abbildung 4: Parametervariation der Ausbreitungsgeschwindigkeit für eine Generationsdauer von $\tau = 25a$. Hervorgehoben sind die ethnographisch wahrscheinlichsten Bereiche für α und μ^2 [Fo02].

4 Sonderfall der Linearbandkeramik

Das Erscheinen der Linearbandkeramik erfolgte mit mindestens 700 km/a .

4.1 Ammerman und Cavalli-Sforza, 1971 und 1984

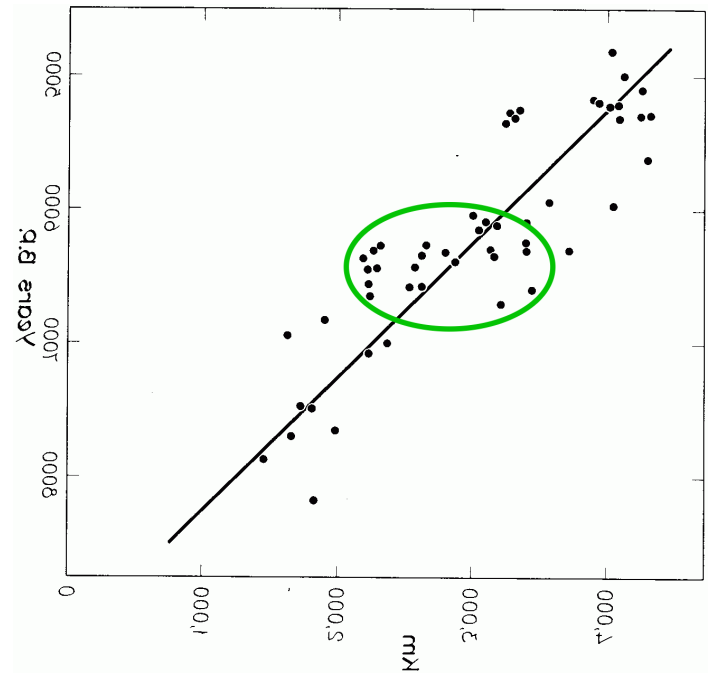


Abbildung 5: Gespiegelte Fassung der Abbildung 2 mit der Regressionsgeraden und Hervorhebung der Linearbandkeramik [Am84].

4.2 Pinhasi 2005

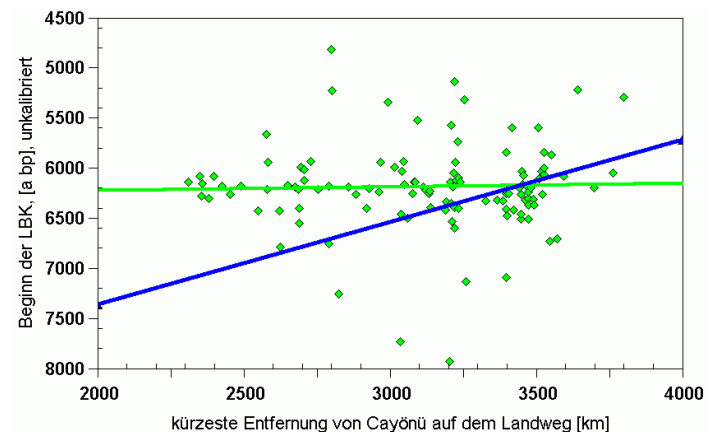


Abbildung 6: Verteilung der 118 Daten zur Linearbandkeramik aus [Pi05]. Die dunkle Gerade entspricht der Regression über alle Daten aus Abb. 3.

4.3 Stäuble 2005 und Lünig 2005

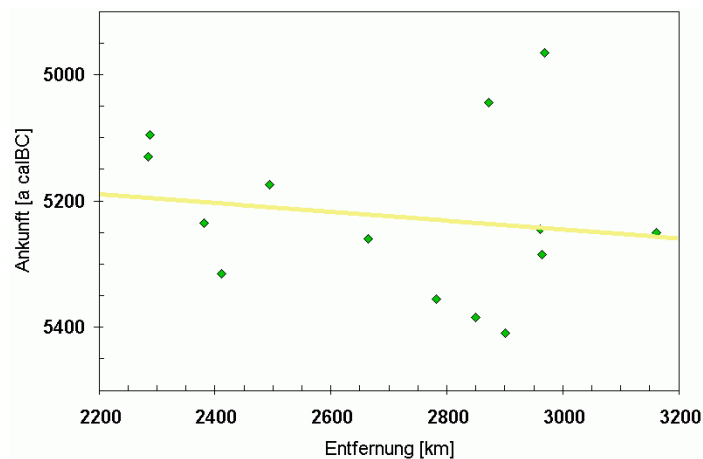


Abbildung 7: Verteilung der Daten zur Linearbandkeramik aus [St05] und [Lu05].

4.4 Résumé

Insgesamt scheint die Linearbandkeramik in den Fehlergrenzen der Datierungen in fast ihrem gesamten Verbreitungsgebiet genau gleichzeitig aufgetreten zu sein. Eine zeitliche Staffelung von Südosten nach Nordwesten ist nicht erkennbar. Eine Erklärung dieses Phänomens steht bisher aus, die bisher vorgelegten Modelle sind nicht dazu imstande.

Literatur

Am71 A. J. Ammerman & L. L. Cavalli-Sforza, *Measuring the Rate of Spread of Early Farming in Europe*. *Man* **6** (1971), 674–688.

Am73 A. J. Ammermann & L. L. Cavalli-Sforza, *A population model for the diffusion of early farming in Europe*. In: Colin Renfrew (Hrsg.), *The explanation of culture change: models in prehistory, Proceedings of a meeting of the Research Seminar in Archaeology and Related Subjects held at the University of Sheffield*. (Pittsburgh 1973), 343–357.

Am84 Albert J. Ammerman & L. L. Cavalli-Sforza, *The Neolithic Transition and the Genetics of Populations in Europe*. (Princeton 1984).

Ca96 L. Luca Cavalli-Sforza, *The spread of agriculture and nomadic pastoralism: insights from genetics, linguistics and archaeology*. In: David R. Harris (Hrsg.), *The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia*. (Washington 1996), 51–69.

Ca97 L. Luca Cavalli-Sforza, *Genes, peoples, and languages*. *PNAS* **094** (1997), 7719–7724.

Ch02 Lounès Chikhi, Richard A. Nichols, Guido Barbujani & Mark A. Beaumont, *Y genetic data support the Neolithic demic diffusion model*. *PNAS* **99** (2002), 11008–11013.

Du04 Isabelle Dupanloup, Giorgio Bertorelle, Lounès Chikhi & Guido Barbujani, *Estimating the Impact of Prehistoric Admixture on the Genome of Europeans*. *Molecular Biology and Evolution* **21** (2004), 1361–1372.

Fi37 R. A. Fisher, *The Wave of Advance of Advantageous Genes*. *Annal of Eugenics* **7** (1937), 355–369.

Fo02 Joaquim Fort & Vicenç Méndez, *Wavefronts in time-delayed reaction-diffusion systems. Theory and comparison to experiment*. *Reports on Progress in Physics* **65** (2002), 895–954.

Ke48 David G. Kendall, *A form of wave propagation associated with the equation of heat conduction*. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* **44** (1948), 591–594.

Lu05 Jens Lünig, *Bandkeramische Hofplätze und absolute Chronologie der Bandkeramik*. In: Jens Lünig, Christiane Frirdich & Andreas Zimmermann (Hrsg.), *Die Bandkeramik im 21. Jahrhundert, Symposium in der Abtei Brauweiler bei Köln vom 16. 9. – 19. 9. 2002*. Internationale Archäologie: Arbeitsgemeinschaft, Symposium, Tagung, Kongress 7 (Rahden / Westf. 2005), 49–74.

Pi05 Ron Pinhasi, Joaquim Fort & Albert J. Ammerman, *Tracing the Origin and Spread of Agriculture in Europe*. *PLoS Biology* **3** (2005) xii, e410, 2220–2228. <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0030410>> ().

Sk51 J. G. Skellam, *Random Dispersal in Theoretical Populations*. *Biometrika* **38** (1951), 196–218.

St05 Harald Stäuble, *Häuser und absolute Datierung der Ältesten Bandkeramik*. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 117 (Bonn 2005).

Die Hausarbeit und Literatur liegen auf:
www.axel.berger-odenthal.de/work/Referat/