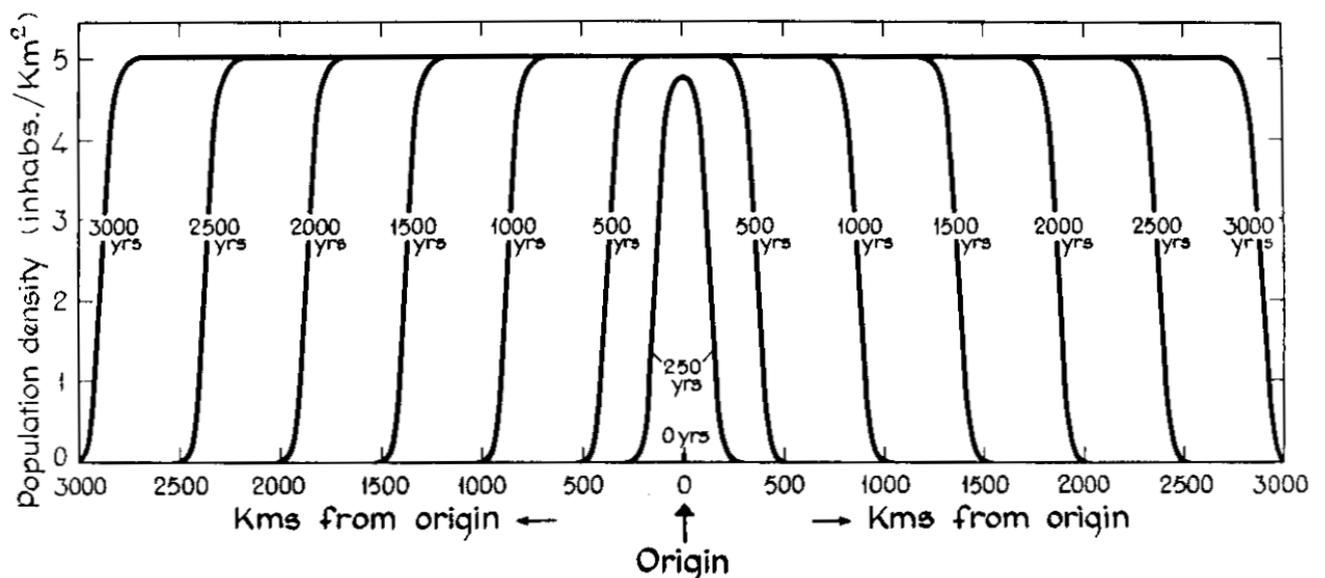


Das Fisher-Skellam-Modell für die Ausbreitung des Neolithikums und Vergleich mit Datierungen für die Linearbandkeramik



Titelbild: Darstellung der Bevölkerungsausbreitung nach dem Modell von Fisher und Skellam (Ammermann 1984, 110).



2008 – axel.berger-odenthal.de – Axel Berger

Dieser Inhalt ist unter einem Creative Commons Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert. Um die Lizenz anzusehen, gehen Sie bitte zu <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/> oder schicken Sie einen Brief an Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

Sie dürfen: den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich aufführen, sowie Abwandlungen bzw. Bearbeitungen des Inhaltes anfertigen.

Zu den folgenden Bedingungen:

Namensnennung. Sie müssen den Namen des Autors/Rechtsinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.

Weitergabe unter gleichen Bedingungen. Wenn Sie diesen Inhalt bearbeiten oder in anderer Weise umgestalten, verändern oder als Grundlage für einen anderen Inhalt verwenden, dann dürfen Sie den neu entstandenen Inhalt nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen die Lizenzbedingungen, unter die dieser Inhalt fällt, mitteilen. Jede dieser Bedingungen kann nach schriftlicher Einwilligung des Rechtsinhabers aufgehoben werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Menschen oder Ideen?	1
2	Die Ausbreitung des Neolithikums	5
2.1	Ammerman und Cavalli-Sforza	5
2.2	Pinhasi, Fort und Ammerman	6
3	Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam	9
3.1	Die Fisher-Skellam-Gleichung für die lokale Bevölkerungsdichte .	9
3.1.1	Das autochthone Wachstum	10
3.1.2	Das Wachstum durch Zuwanderung	11
3.1.3	Die Fisher-Skellam-Gleichung	13
3.2	Die Ausbildung der Welle	14
3.2.1	Die zeitverzögerte Lösung	15
3.3	Die quantitative Anwendung des Modells	15
3.3.1	Ein abschließender Hinweis	16
4	Sonderfall der Linearbandkeramik	19
4.1	Ammerman 1971 und Ammermann 1984	19
4.2	Pinhasi 2005	19
4.3	Stäuble 2005 und Lüning 2005	21
4.4	Résumé	22
	Literaturverzeichnis	23
A	Tafeln	29

Abbildungsverzeichnis

1	Verbreitung des Gens für den Rhesusfaktor Negativ	1
2	Verbreitungskarte der ersten Hauptkomponente der Genvariation	3
3	Anteile verschiedener Ursprungsbevölkerungen am Genpool . . .	3
4	Verteilung der Fundplätze nach Entfernung und Ankunftszeit . . .	5
5	Korrelation Ausbreitungsgerade für verschiedene Zentren	6
6	Verteilung der 765 Fundplätze von Pinhasi	7
7	Vergleich von exponentiellem und logistischem Wachstum	10
8	Zielpunkte und Entfernungen bei zufälliger Diffusion	11
9	Ausbreitung einer logistisch wachsenden Bevölkerung	14
10	Parametervariation der Ausbreitungsgeschwindigkeit	17
11	Ausbreitung nach Pinhasi 2005	20
12	Linearbandkeramik nach Pinhasi 2005	20
13	Linearbandkeramik nach Stäuble 2005	21

Tafeln im Anhang

1	Nahöstlicher Genanteil an europäischen Y-Chromosomen	29
2	Verbreitungskarten der dritten und fünften Hauptkomponente . .	30
3	Ausbreitungskarte des Neolithikums nach Ammerman 1971	31
4	Lagepläne der datierten Fundplätze von Ammerman und Pinhasi	34
5	Konstruktion der kürzesten Landwege	35
6	Wahrscheinliche Lage des Ausbreitungszentrums	35
7	Ausbreitung der Bisamratte	36
8	Parametervariation mit Termen höherer Ordnung	36
9	Linearbandkeramik nach Ammerman 1971, Ammermann 1984 . .	37
10	Lageplan linearbandkeramischen Siedlungen von Pinhasi	37
11	Altersverteilung der nach Stäuble zuverlässig datierten Siedlungen	38
12	Alterverteilung der weiteren von Stäuble aufgeführten Siedlungen	39
13	Lageplan der von Harald Stäuble besprochenen Siedlungen	39

Tabellenverzeichnis

1	Spannbreiten der ethnographisch erschließbaren Parameter	16
2	Korrelation und Geschwindigkeit für Teildatensätze	19
3	Die 106 Fundplätze von Ammerman, Teil 1	32
4	Die 106 Fundplätze von Ammerman, Teil 2	33

I Menschen oder Ideen?

Die Frage, ob sich das Neolithikum als Kultur oder über die Wanderung und Ausbreitung neolithischer Menschen verbreitet hat, ist seit jeher umstritten. Nachdem in der Zwischenkriegszeit unter dem dominierenden Einfluß von V. Gordon Childe vor allem Völkerwanderungen diskutiert wurden, setzte sich nach dem zweiten Weltkrieg in den angelsächsischen Ländern eine Meinung durch, die nur eine von Händlern vermittelte Bewegung von Artefakten und Ideen gelten lassen wollte (Cavalli-Sforza 1997b). Beginnend in den achtziger Jahren (Ammermann 1984) wird vermehrt in jüngster Zeit versucht, diese Frage genetisch zu beantworten.

Rhesusfaktor

(Ammermann 1984) Die rhesus-negative Blutgruppe ist weltweit sehr selten und fast ausschließlich auf Europa beschränkt. Ihre größte Häufigkeit hat sie bei den Basken in den Pyrenäen und im Norden Skandinaviens, also bei den Volksgruppen, für die auch aus linguistischen (Cavalli-Sforza 1997a) und anderen

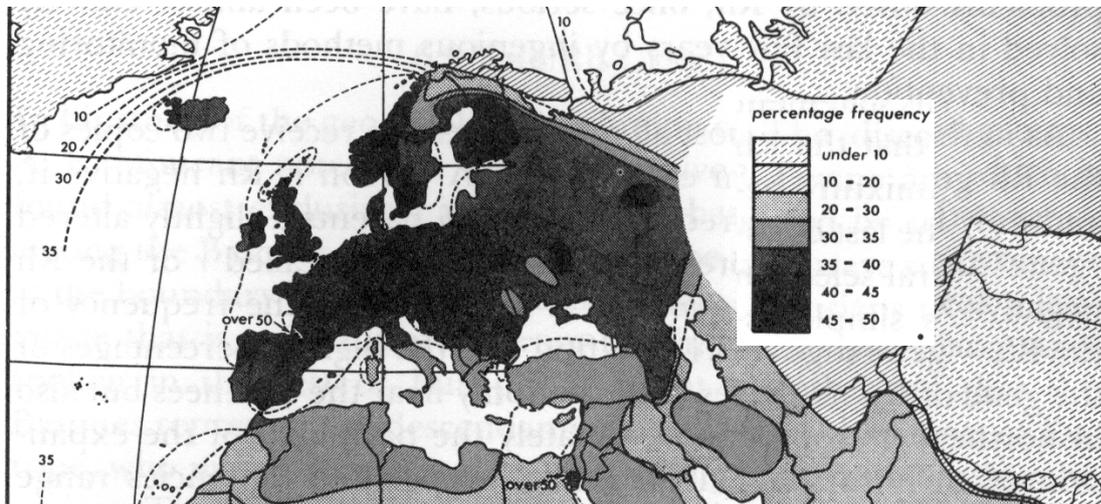


Abbildung 1: Verbreitung des Gens für den Rhesusfaktor Negativ (Mourant et al. nach Ammermann 1984).

1 *Menschen oder Ideen?*

Gründen am ehesten eine vorneolithische Abstammung angenommen wird. Da diese Blutgruppe rezessiv vererbt wird, ist die Prävalenz des entsprechenden Gens erheblich höher als die der Blutgruppe selbst.

Hauptkomponentenanalyse

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. (Ammermann 1984, Cavalli-Sforza 1996, Cavalli-Sforza 1997b). Diese Form der Auswertung wurde methodisch kritisiert (Sokal 1999), weil bei dem notwendigen Zwischenschritt eines synthetischen Rasters mit interpolierten Werten aller Gendaten an den Rasterpunkten auch an vollkommen stochastischen Daten künstliche Korrelationen entstehen. Diese Neigung wird verstärkt durch die halbinselförmige Gestalt des europäischen Kontinents. Angesichts der Menge und Qualität der verwendeten Daten sind die erzielten Ergebnisse aber dennoch valide (Rendine 1999).

Y-Chromosom

Von Ornella Semino und 16 Koautoren wurden 1007 Y-Chromosomen aus 25 Regionen in Europa und dem Mittleren Osten untersucht und von Lounès Chikhi und drei Koautoren kritisch neu ausgewertet (Semino 2000, Chikhi 2002). Rund 50 % der Gene heutiger Europäer stammen danach aus der Ursprungsregion des Ackerbaus im nahen Osten. Lokal bedeutet dies bei z. B. zehn Zwischenschritten jeweils einen Anteil der Zuwanderer, die weiter im Westen ja selbst schon vermischt sind, von mindestens 85 % (Tafel 1). Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt eine neuere Arbeit auch für die Han Kultur in Ostasien (Wen 2004).

Mehrere Zentren

Eine Zusammenschau und methodische Bewertung der bisherigen Arbeit verbunden mit der Berücksichtigung anderer Herkunftszentren von Isabelle Dupanloup und drei Koautoren betätigte das Ergebnis der stufenweisen Vermischung und eines Anteils der Zuwanderer, der erheblich über dem der nahöstlichen Gene liegt.

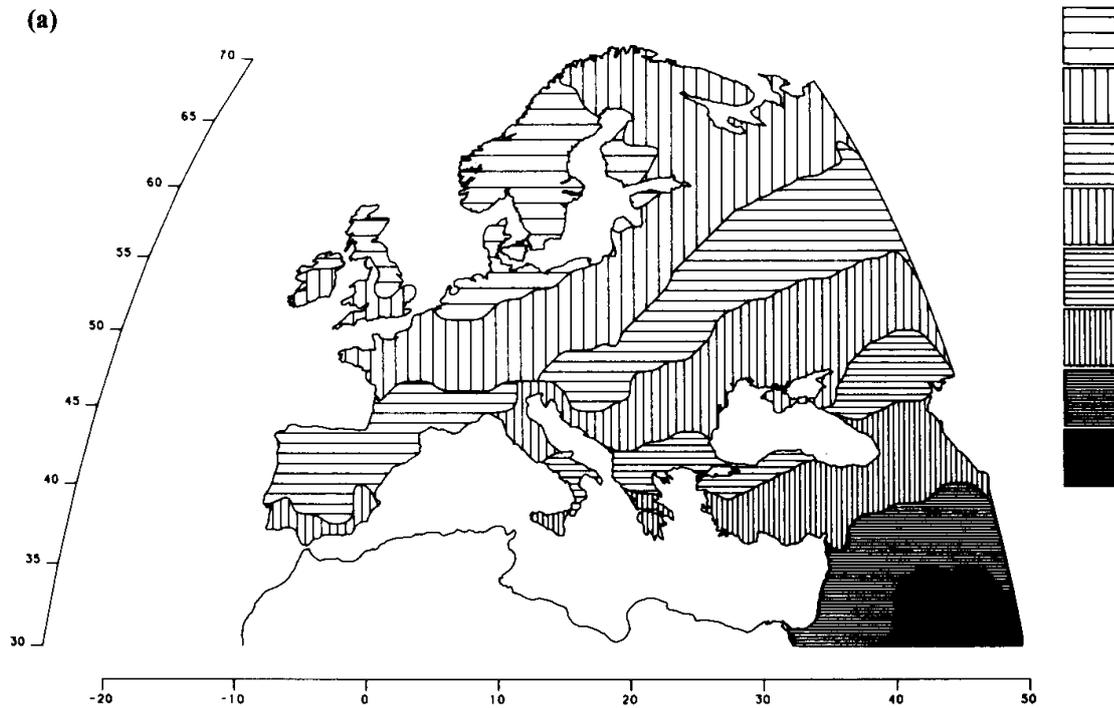
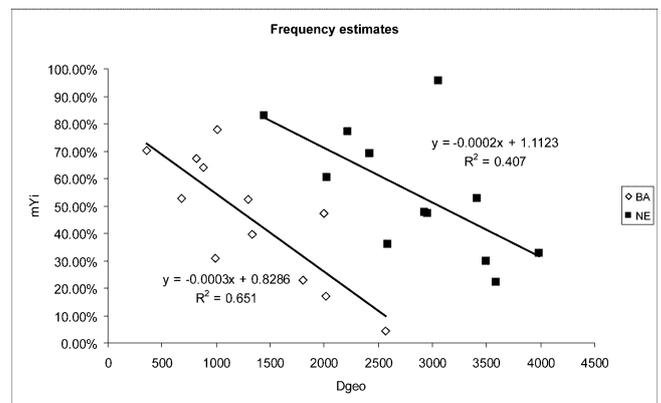
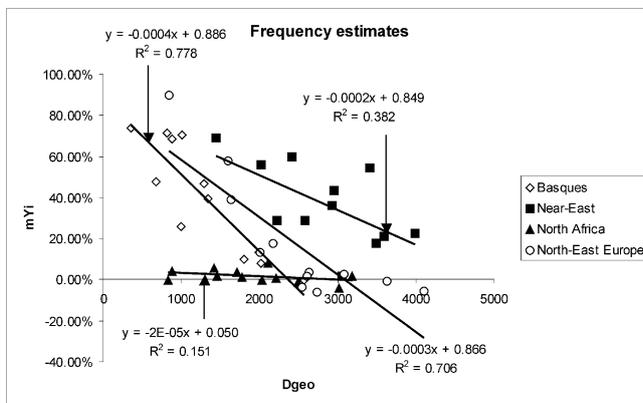


Abbildung 2: Verbreitungskarte der ersten Hauptkomponente der Genvariation, siehe auch Tafel 2 (Cavalli-Sforza 1996).



(a) Basken, naher Osten, Nordafrika und Nordosteuro-
pa **(b)** Basken und naher Osten

Abbildung 3: Anteile verschiedener Ursprungsbevölkerungen am heutigen Genpool in Abhängigkeit von der Entfernung zum jeweiligen Ursprungszentrum (Dupanloup 2004).

Résumé

Zusammenfassend wurde das Neolithikum offenbar von sich ausbreitenden

1 Menschen oder Ideen?

neolithischen Menschen verbreitet, von denen die neolithische Bevölkerung Europas größtenteils abstammt. Angesichts ihrer erheblich niedrigeren Bevölkerungsdichte bedeutet dabei die Verdrängung oder Assimilation der vorhandenen mesolithischen Bevölkerung allenfalls einen graduellen Unterschied.

2 Die Ausbreitung des Neolithikums

2.1 Ammerman und Cavalli-Sforza

(Ammerman 1971, Ammermann 1973, Ammermann 1984) 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. Nach dem Vorliegen hinreichend genauer absoluter Datierungen versuchten 1971 Albert Ammerman und L. Luca Cavalli-Sforza als erste¹ die Geschwindigkeit des Vordringens zu messen. Für

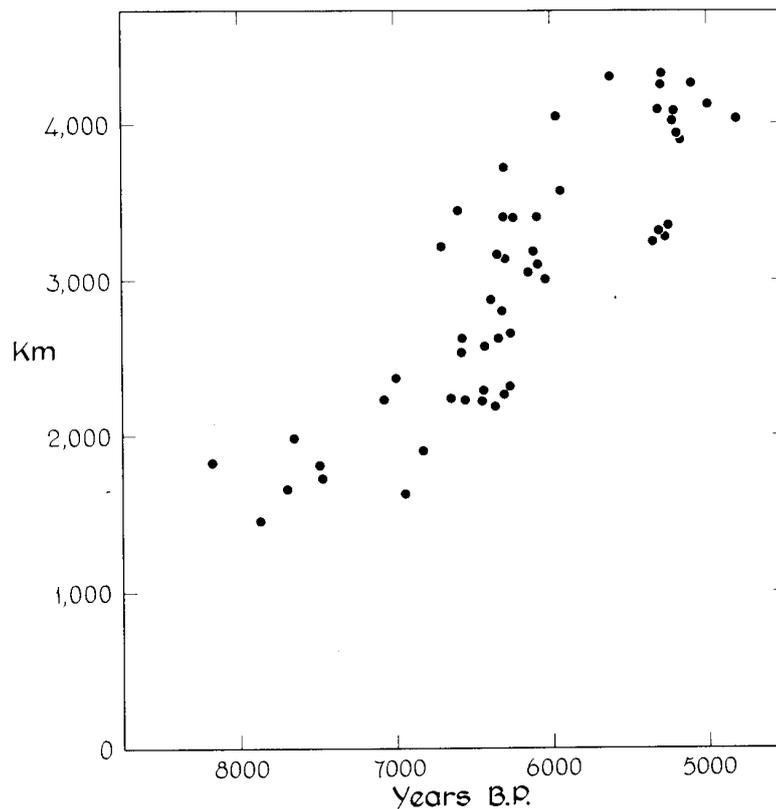


Abbildung 4: Verteilung der 103 Fundplätze von Ammerman 1973 nach Entfernung und Ankunftszeit (Ammermann 1984).

¹ Für einzelne Elemente wie Keramik und Kupfer gab es 1961 einen ersten Versuch von Munro Edmonson (Edmonson 1961).

2 Die Ausbreitung des Neolithikums

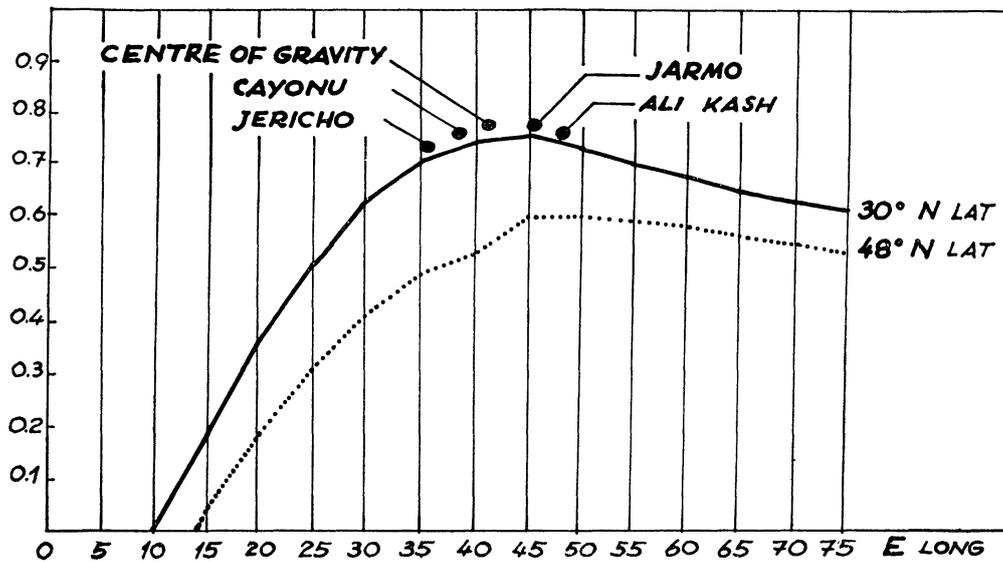


Abbildung 5: Korrelationskoeffizienten der Ausbreitungsgeraden für verschiedene Zentren (Ammerman 1971).

53 Fundplätze (Tafel 3), an denen der Beginn des Neolithikums datiert werden konnte, errechneten sie die Entfernung in Luftlinie von verschiedenen möglichen Zentren im nahen Osten. In ihren folgenden Arbeiten erhöhten sie die Anzahl auf 103, siehe Tabelle 3 & 4 und Tafel 4a. Sie ergeben einen näherungsweise linearen Zusammenhang² zwischen Zeit und Entfernung. Ihre Auswahl der Plätze und Datierungen wurde zwar kritisiert und teilweise in Frage gestellt (Evet 1973), durch spätere umfangreichere Arbeiten im wesentlichen aber bestätigt. Mittels Regressionsrechnung bestimmten sie zunächst das optimale Zentrum mit dem höchsten Korrelationskoeffizienten.³ Die Regressionsgerade ergab eine Geschwindigkeit der Vordringens von etwa 1 km/a.

2.2 Pinhasi, Fort und Ammerman

(Pinhasi 2005) Ron Pinhasi, Joaquim Fort und Albert Ammerman wiederholten 2005 diese Analyse auf der Basis eines erheblich größeren Datensatzes von 765

² 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.

³ Aus nicht nachvollziehbaren Gründen rechnen sie in allen folgenden Auswertungen trotzdem stets mit dem Zentrum Jericho.

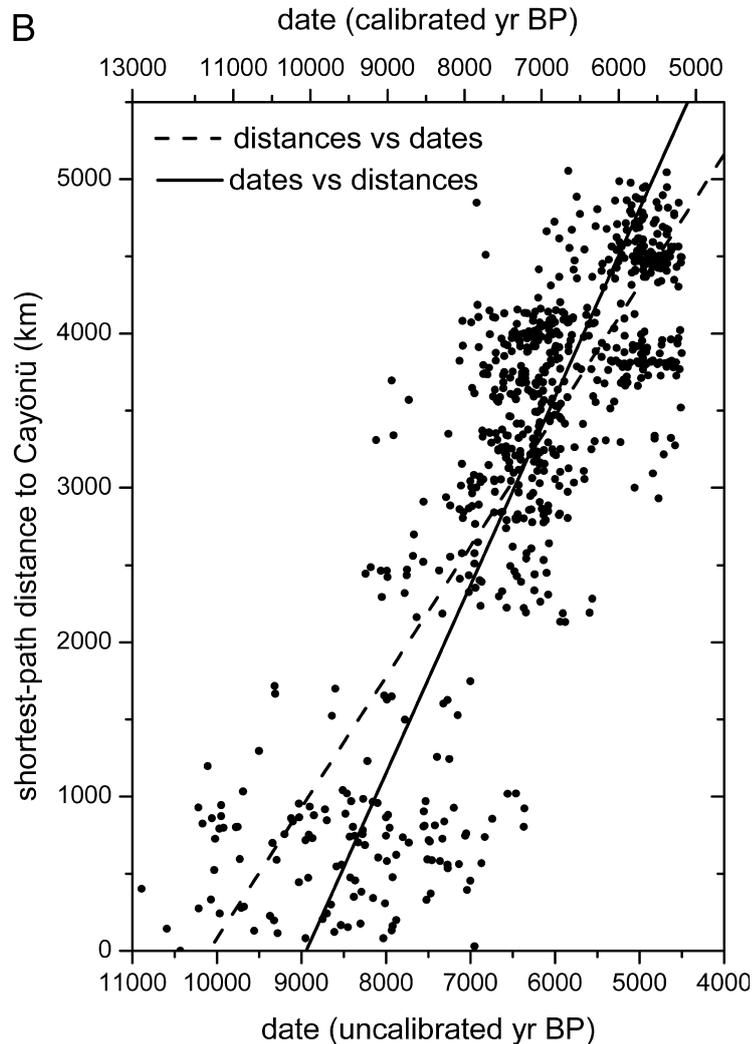


Abbildung 6: Verteilung der 765 Fundplätze von Pinhasi nach Ankunftszeit und Entfernung auf dem kürzesten Landweg sowie die beiden Regressionsgeraden mit Entfernung und Zeit als unabhängiger Variablen (Pinhasi 2005).

Fundplätzen (Tafel 4b).⁴ Neben der direkten Entfernung in Luftlinie rechnen sie auch mit Entfernungen entlang des kürzesten Landweges (Tafel 5) sowie mit kalibrierten und unkalibrierten Daten. Sie berücksichtigen eine größere Zahl möglicher Ausbreitungszentren (Tafel 6) und bestimmen die Fehlergrenze der resultierenden Geschwindigkeit. In allen Fällen ergeben 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 (Pinhasi 2005, 2222).

⁴ Die Tabelle liegt online als Supplementary Material zu (Pinhasi 2005) vor.

3 Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam

3.1 Die Fisher-Skellam-Gleichung für die lokale Bevölkerungsdichte

(Fisher 1937, Skellam 1951, Kendall 1948, Steele 2009) Wenn wir die zeitliche Veränderung irgendeiner beweglichen Größe im Raum betrachten, so bewegen wir uns im allgemeinen mit dem beobachteten Element mit. Zum Beispiel ist es offensichtlich, daß sich der Gasdruck beim Durchströmen eines Vergaserventuris ändert.

$$\frac{dp}{dt} \neq 0$$

Ebenso offensichtlich herrscht bei einer stationären Durchströmung an einer gegebenen Stelle der Venturidüse ein konstanter Druck. Diese Veränderung des Druckes nur mit der Zeit beim Festhalten der anderen Variablen nennt man die partielle Ableitung. Den Zusammenhang zwischen beiden stellt die Formel für das totale Differential dar. In diesem Beispiel wird es dargestellt für eine Funktion nur zweier Variablen, Ort und Zeit, $p = p(\vec{r}, t)$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} &= 0 \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial \vec{r}} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} \end{aligned}$$

Wir betrachten jetzt die Bevölkerungsentwicklung an einem Ort, nicht die weitere Entwicklung der dort zu einem Zeitpunkt vorhandenen. Das Schicksal der Abgewanderten ist uns egal, aber wir zählen alle Zuwanderer. Wir fragen also nach der partiellen Ableitung nach der Zeit.

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

3 Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam

Anschaulich steht n dabei für die Anzahl Menschen in einem Teilgebiet, z. B. einer Siedlung, mathematisch für eine Dichte in [Personen/km²].⁵

3.1.1 Das autochthone Wachstum

Die erste Änderung erfolgt durch die Geburten und Todesfälle. Offensichtlich ist die Zahl der Geburten pro Jahr proportional zu der der gebärfähigen Frauen und diese zur Gesamtbevölkerung. Mit α als Wachstumsrate, üblicherweise angegeben in Prozent pro Jahr [%/a], heißt das

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

Dies ist die bekannte Formel für das exponentielle Wachstum. In der Wirklichkeit gibt es natürlich für jedes Gebiet und jede Wirtschaftsweise eine Tragfähigkeit, eine maximale Bevölkerungsdichte N , über die n nicht hinauswachsen kann.⁶ Die einfachste Erweiterung, die das Wachstum bei Annäherung an die Tragfähigkeit

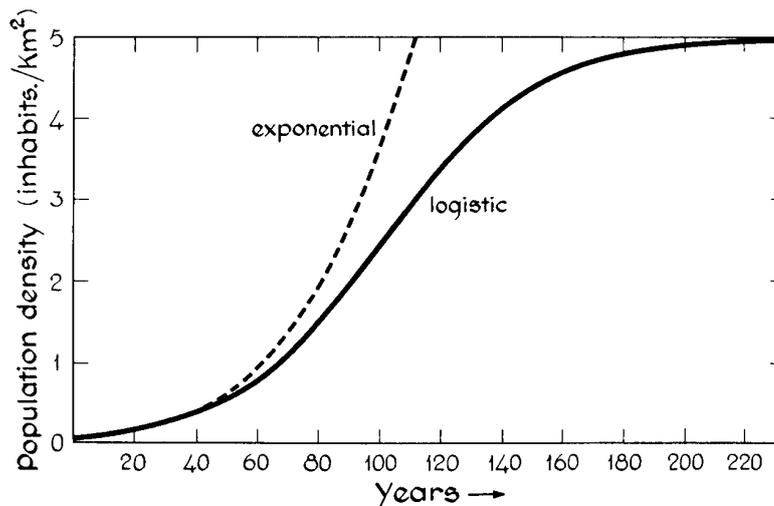


Abbildung 7: Vergleich von exponentiellem und logistischem Wachstum bei einer Anfangssteigung von 3.9%/a (Ammermann 1984).

⁵ Für die mathematische Behandlung müssen wir diese Verteilung mindestens über mehrere Siedlungen hinweg glätten, uns interessiert nicht das Auf und Ab von Siedlungen und ihren Zwischenräumen sondern der große Verlauf vom Zentrum eines Siedlungsgebietes zu seinen Rändern.

⁶ In unserer hier betrachteten Darstellung ist N eine Konstante. Diese Forderung ist aber nicht notwendig. Alles was wir voraussetzen müssen ist, 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.

auf null sinken läßt, führt uns zur bekannten logistischen Wachstumskurve.

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

3.1.2 Das Wachstum durch Zuwanderung

Die Wanderungsbewegungen lassen sich im einfachsten Fall als reine Diffusion modellieren. Das heißt die Bewegung jedes Teilchens, hier jeder Person, erfolgt in rein zufälliger Richtung und mit einer bestimmten Zufallsverteilung für die Geschwindigkeit oder hier die Migration pro Jahr oder pro Generation. Der in einem Zeitschritt zurückgelegte Weg entlang einer Achse ist dabei in der Regel normalverteilt.

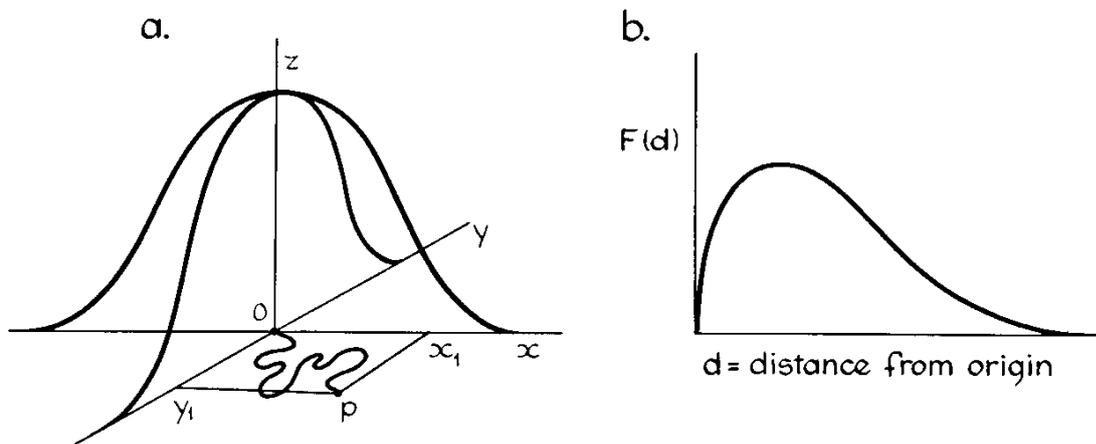


Abbildung 8: Verteilung der Zielpunkte und Entfernungen der Migration nach einem Zeitschritt bei rein zufälliger Diffusionsbewegung (Ammermann 1984).

Auf den ersten Blick liegt hier eine Diskrepanz vor. Der wahrscheinlichste aller Endpunkte liegt genau im Ursprung aber die wahrscheinlichste Entfernung ist nicht null. Der Grund sind die zwei Dimensionen der Fläche. Alle Punkte mit Entfernungen im Intervall $[0, dr]$ liegen in einem Kreis mit der Fläche πdr^2 , diejenigen im Intervall $[r, r+dr]$ aber in einem Kreisring mit der erheblich größeren Fläche $2\pi r dr$. Die Wahrscheinlichkeit im linken Diagramm bleibt in der Nähe des Maximums zunächst näherungsweise konstant, die Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Entfernung steigt also anfangs proportional zu dieser steil an, bis im Maximum Wahrscheinlichkeitsabfall und Flächenzuwachs einander kompensieren.

Die wahrscheinliche Entfernung wächst dabei nicht proportional mit der Zeit, denn der jeweils nächste Teilschritt kann ebensogut zurück zum Anfang führen

3 Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam

wie weiter weg von ihm. Andererseits ist die Menge der Richtungen, die mit gegebener Schrittweite weiter vom Zentrum weg führen, größer als ein Halbkreis. Im Ergebnis steigt das Quadrat der mittleren Entfernung proportional zur Zeit oder umgekehrt die Entfernung mit der Wurzel aus dieser.

$$\bar{r}^2 \sim t, \quad \bar{r} \sim \sqrt{t}$$

Es ist bei einem Konzentrationsgefälle zwischen benachbarten Orten also gleich wahrscheinlich, daß ein Teilchen von der niedrigen zu hohen und ein anderes von der hohen zur niedrigen Konzentration wechselt. In der höheren Konzentration sind jedoch anfangs mehr Teilchen vorhanden, bei gleicher Wahrscheinlichkeit für das einzelne kommt also dennoch ein Nettostrom hin zur niedrigeren Konzentration zustande. Die Größe dieses Nettostroms beträgt

$$\vec{j} = -D \frac{dn}{d\vec{r}} = -D \vec{\nabla} n \quad (2)$$

In unserem zweidimensionalen Fall mit den Basiseinheiten [km] und [a] ist \vec{j} in [1/km a] die Zahl der Menschen die pro Jahr einen 1 km langen Grenzabschnitt durchqueren. Der Gradient $\vec{\nabla} = d/d\vec{r}$ ist die Ableitung einer skalaren Größe nach dem Ort und D der Diffusionskoeffizient in [km²/a].

Bei einem konstanten Gradienten halten sich der Zustrom von oben und der Abstrom nach unten genau die Waage, der Nettozufluß ist null. Entscheidend für den Bevölkerungszuwachs durch Zuwanderung ist also die Krümmung oder Wölbung des Dichteprofils. Diese Erkenntnis führt uns direkt zur bekannten Diffusionsgleichung

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (D \vec{\nabla} n) = D \vec{\nabla}^2 n \quad (3)$$

Die zweite Gleichheit gilt dabei nur für den Fall eines räumlich konstanten Diffusionskoeffizienten. $\vec{\nabla}^2$ wird auch als der Laplaceoperator bezeichnet und häufig als Δ geschrieben.

Unsere Aufgabe, die Ausbreitung von einem Zentrum aus, läßt sich am besten in Polarkoordinaten beschreiben. Statt mit der x- und y-Koordinate $\vec{r} = (x, y)$ benennen wir einen Ort mit der Entfernung r vom Ursprung und der Richtung als Winkel $\varphi \in [0^\circ, 360^\circ]$, $\vec{r} = (r, \varphi)$. Wir haben es in unserer Aufgabenstellung nur mit der eindimensionalen Diffusion zu tun. Das ist nicht dasselbe wie eine eindimensionale Geometrie sondern bedeutet lediglich, daß sich die von uns

betrachteten Größen in nur einer Raumrichtung ändern. Unter dieser Voraussetzung gilt für $\vec{\nabla}^2$:

$$\begin{aligned}\vec{\nabla}^2 &= \frac{d^2}{dx^2} + \cancel{\frac{d^2}{dy^2}} \\ &= \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} + \cancel{\frac{1}{r^2} \frac{d^2}{d\phi^2}} \\ &\simeq \frac{d^2}{dr^2}\end{aligned}$$

Die letzte Näherung gilt weit ab vom Zentrum, wo ein großes r den zweiten Summanden klein gegen den ersten und damit vernachlässigbar werden läßt.

Die Größe des Diffusionsquotienten bei beobachtbarer Migrationsentfernung wurde von J. G. Skellam hergeleitet (Skellam 1951, Steele 2009) und ergibt sich zu⁷

$$D = \frac{m^2}{2d(1a)} = \frac{\mu^2}{2d\tau}$$

mit:

- 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-Gleichung

Führen wir alle Komponenten zusammen, so erhält die Gleichung von Fisher und Skellam ihre endgültige Form:

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

Eine bisher nicht genannte Voraussetzung für ihre Anwendbarkeit ist ein hinreichend großes Wachstum α . Mathematisch lösbar ist sie immer, aber im Grenzfall $\alpha = 0$ reduziert sie sich auf die reine Diffusionsgleichung (3). In der Konsequenz würde sich auch eine sehr kleine Gesamtbevölkerung gleichmäßig auf einer beliebig großen Fläche verteilen, wobei alle sozialen und Heiratsnetzwerke zusammenbrächen.

⁷ In den Arbeiten von Ammerman und Cavalli-Sforza fehlt der Faktor $2d = 4$. In der Folge sind die von ihnen errechneten Geschwindigkeiten um einen Faktor 2 zu groß (Fort 2002).

3 Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam

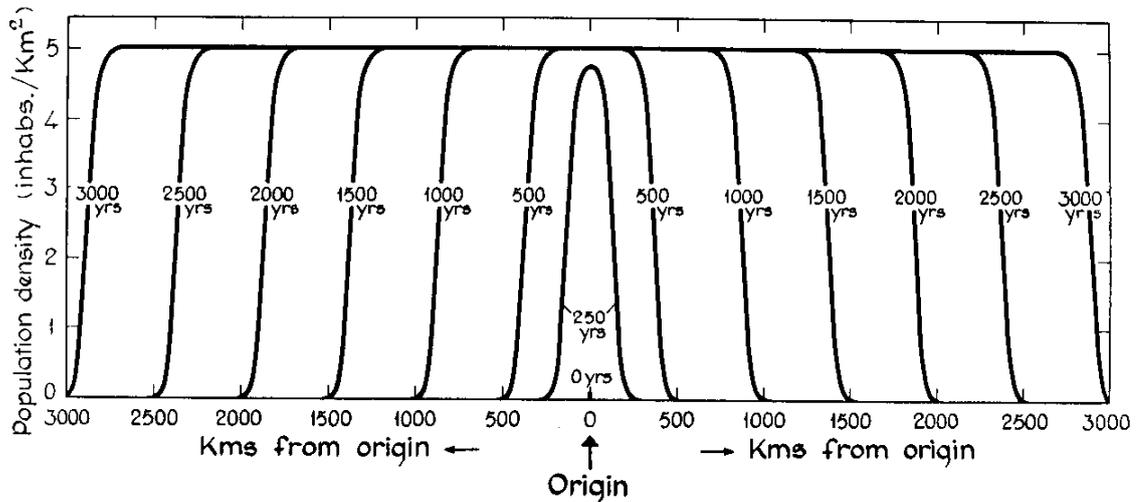


Abbildung 9: Ausbreitung einer logistisch wachsenden Bevölkerung von einem Zentrum aus (Ammermann 1984).

3.2 Die Ausbildung der Welle

(Fisher 1937, Kendall 1948, Fort 2002) Offensichtlich enthält Gleichung (4) die Ausbreitung einer lokal begrenzten Anfangsbevölkerung. Wie Skellam und Kendall zeigen konnten und von Fort und Mendez ausführlich diskutiert wird gilt für deren Geschwindigkeit

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

und sie nähert sich asymptotisch diesem Wert an.⁸

Ein wichtiges qualitatives Ergebnis dieser Lösung und ein erster Test für ihre Brauchbarkeit ist die Ausbreitung mit konstanter Geschwindigkeit. Sie beschreibt also das in Kapitel 2 beobachtete Verhalten qualitativ richtig. Ein anderer Testfall ist die 1905 bei Stará Huť in Böhmen ausgesetzte Bisamratte, deren Ausbreitung 1930 von J. Ulbrich beschrieben wurde. (Tafel 7 im Anhang) Als Mittelung über alle Richtungen hat J.G. Skellam die Grenzen der jeweiligen Verbreitung in flächengleiche Kreise umgesetzt und deren Radius als Abstand interpretiert. Die resultierenden Punkte liegen fast exakt auf einer Geraden.

⁸ Abhängig von den Anfangsbedingungen sind höhere Geschwindigkeiten möglich und können in idealen störungsfreien Systemen auch stabil sein. Für einen Spezialfall existiert eine exakte Lösung mit $v = 5/\sqrt{6}\sqrt{D\alpha} = 2.04\sqrt{D\alpha}$ (Ablowitz 1979).

3.2.1 Die zeitverzögerte Lösung

In der Lösung von Gleichung (5) löst jeder Gradient der Dichte sofort eine ausgleichende Diffusion aus. In den Modellvorstellungen des Neolithikums erschließen aber erst kinderlose Erwachsene neue Gebiete. Deshalb fügten Joaquim Fort und Vicenç Méndez eine Verzögerung von einer Generation in die Gleichung für den Diffusionsstrom ein (Fort 2002). Gleichung (2) erhält bei Ihnen die mathematisch schwer behandelbare Form (6) und die Geschwindigkeit den niedrigeren Wert (7). Anschaulich bedeutet Gleichung (6), daß ein Ungleichgewicht in der Bevölkerung erst mit einer Generation Verzögerung eine Wanderung auslöst, und zwar auch dann, wenn zu diesem Zeitpunkt z. B. durch Hungerjahre oder Krankheiten das Ungleichgewicht gar nicht mehr besteht. Ich bin nicht sicher, daß diese Ergänzung das Verhalten von Menschen, die ihre Umwelt bewußt wahrnehmen und planmäßig entscheiden können, korrekt beschreibt, und bevorzuge die einfache Form.

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

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

3.3 Die quantitative Anwendung des Modells

Beide Formeln für die Geschwindigkeit der Ausbreitung, (5) und (7), hängen ausschließlich von den drei Parametern α , τ und μ ab,⁹ die der archäologischen Beobachtung entzogen sind. Es gibt jedoch zahlreiche Versuche, sie aus ethnographischen Beobachtungen abzuleiten. Tabelle 1 zeigt die von verschiedenen Autoren gewählten Werte.

Die Ergebnisse der Rechnung sind in Abbildung 10 dargestellt. Mit den gemachten Annahmen gibt nur die verzögerte Diffusion die Beobachtung richtig wieder. In Abbildung 10a sind auch die mit $D = \mu^2/\tau$ falsch berechneten Kurven von Ammermann 1984 enthalten. Den Sollwert von 1 km/a konnte er nur mit unrealistisch kleinen Annahmen für α und μ^2 erreichen. Die Werte für α bei Fort 2002 und Pinhasi 2005 sind dagegen von der Besiedlung von Pitcairn 1790–1856 und den Bass-Straßen-Inseln 1820–1945 durch Europäer abgeleitet und meines Erachtens für neolithische Verhältnisse zu hoch. Einen ähnlichen

⁹ Die Mittelwertbildung erfolgt bei allen Autoren über μ^2 , nicht μ , und in den meisten Fällen wird auch μ^2 angegeben und tabelliert. Mir erscheint die Angabe von μ anschaulicher und zweckmäßiger.

3 Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam

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
Ammermann 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 Ammermann 1984 und Pinhasi 2005

Tabelle 1: Spannbreiten der von verschiedenen Autoren verwendeten Werte der ethnographisch erschließbaren Parameter.

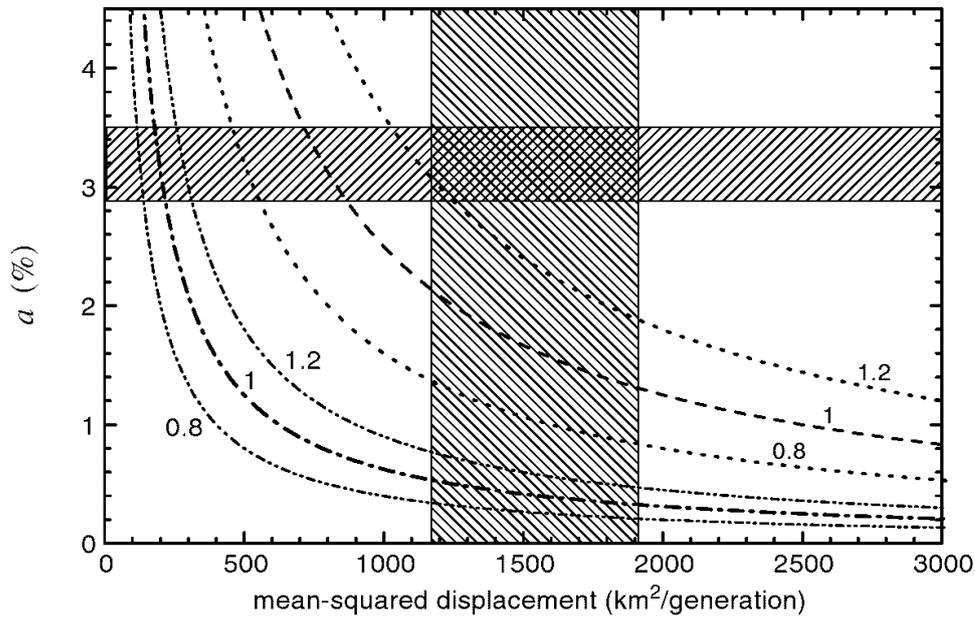
Wert von $\alpha = 3.13\%/a$, in dem allerdings auch die Zuwanderung enthalten ist, zeigt auch die Besiedlung der Vereinigten Staaten von Amerika 1790–1910. Nach Abbildung 10a könnte auch Gleichung (5) mit einem $\alpha \simeq 2\%/a$ die beobachtete Geschwindigkeit erklären.

Tafel 8 im Anhang gibt zusätzlich das Ergebnis einer genaueren Rechnung wieder, die im Vergleich zur Näherung (7) noch die Terme höherer Ordnung berücksichtigt. Der Unterschied ist gering.

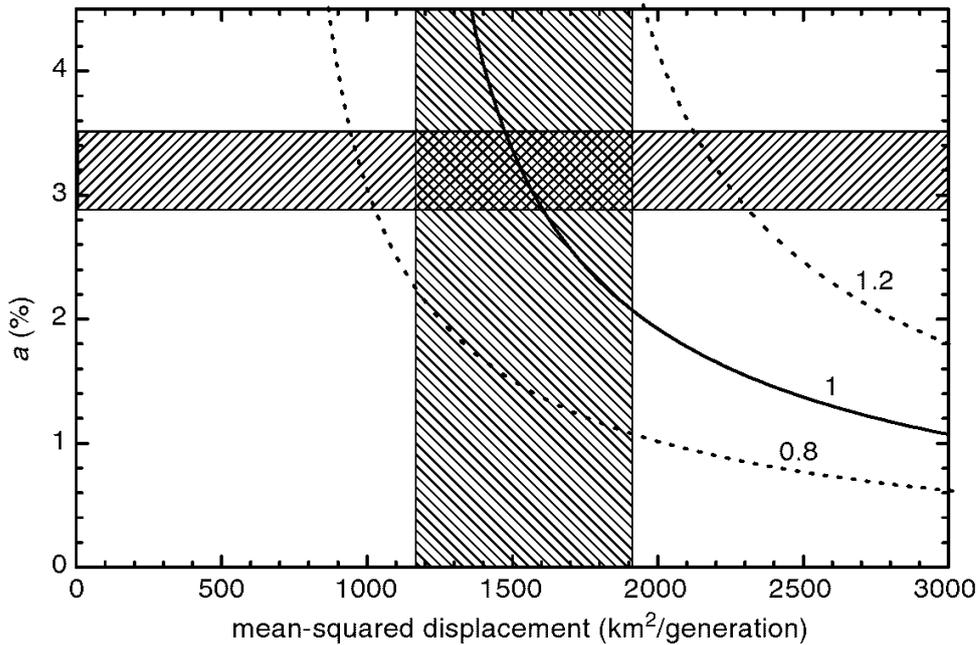
3.3.1 Ein abschließender Hinweis

Alle Variablen und Parameter in der Gleichung 4 und 5 sind lokale Größen und Ableitungen an jeweils einem Ort. Sie beschreiben demnach ausschließlich Prozesse innerhalb der Wellenfront und kennen keine Einflüsse aus größerer zeitlicher oder räumlicher Entfernung. Dieses Modell beschreibt demnach die Wirklichkeit lokal oder gar nicht. Wenn also die Daten Prozesse nahelegen, die vorübergehende Verzögerungen und Beschleunigungen ausgleichen und großräumig gemittelt zu einer konstanten Geschwindigkeit führen, dann sind diese im Fisher-Skellam-Modell nicht enthalten und es muß eine andere Erklärung gesucht werden.

3 Die Ausbreitungswelle nach Fisher und Skellam



(a) Berechnung nach der unverzögerten Gleichung (5). Die untere Kurvenschar ist mit der falschen Gleichsetzung von $D = \mu^2/\tau$ in Ammermann 1984 berechnet.



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

Abbildung 10: Parametervariation der Ausbreitungsgeschwindigkeit für eine Generationsdauer von $\tau = 25$ a. Hervorgehoben sind die ethnographisch wahrscheinlichsten Bereiche für a und μ^2 (Fort 2002).

4 Sonderfall der Linearbandkeramik

4.1 Ammerman 1971 und Ammermann 1984

Schon in der ersten Arbeit von Ammerman 1971 ergab die separate Auswertung des Teildatensatzes der Linearbandkeramik eine Geschwindigkeit von 5.59 km/a mit der sehr schlechten Korrelation von nur 0.49. Unter den 106 Daten in Ammermann 1973 fällt dieser Bereich als deutliche Anomalie sofort ins Auge (Tafel 9 im Anhang).

<i>Sites</i>	<i>Correlation coefficient</i>	<i>Diffusion rate</i>
Mediterranean	0.975	1.52 km per year
Western Mediterranean	0.915	2.08
Balkans	0.458	0.70
Bandkeramik	0.494	5.59
All of Europe	0.892	1.08

Regional diffusion rates based on partial analyses, taking Jericho as the centre of diffusion. The slope of the principal axis is used to measure the diffusion rate.

Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten und Ausbreitungsgeschwindigkeiten für Teildatensätze aus den 53 Fundplätzen in Ammerman 1971.

4.2 Pinhasi 2005

Auch in den 765 Daten bei Pinhasi 2005 ist in Abbildung 11 das ungewöhnliche Verhalten im Zeitfenster um 5500 a calBC deutlich erkennbar. Abbildung 12 zeigt nur die 118 Daten, die von Pinhasi der Linearbandkeramik zugeordnet werden. (Lageplan Tafel 10) Die mit dargestellte Regressionsgerade, soweit eine solche bei einer so großen Streuung mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.03 überhaupt sinnvoll ist, entspräche einer Geschwindigkeit von 28 km/a oder 700 km in einer Generation.

4 Sonderfall der Linearbandkeramik

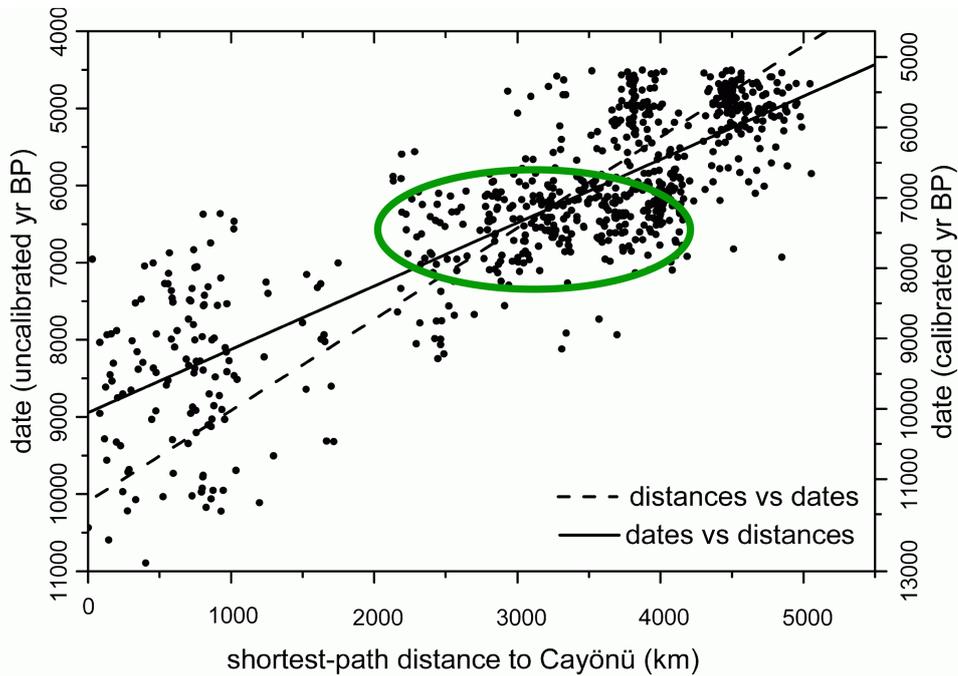


Abbildung 11: Gedrehte Version von Abbildung 6 (Kapitel 2) mit Hervorhebung des Zeitfensters der älteren Linearbandkeramik (Pinhasi 2005).

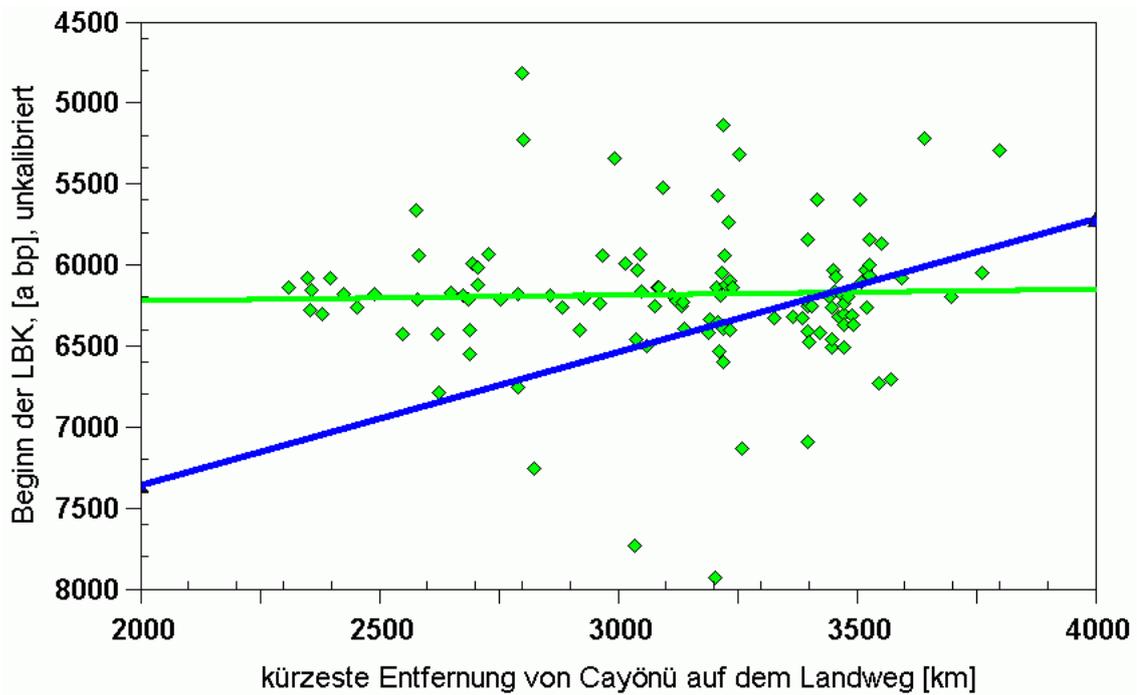


Abbildung 12: Verteilung der 118 Daten zur Linearbandkeramik aus Pinhasi 2005. Die blaue Gerade entspricht der Regression über alle Daten aus Abb. 11 und 6.

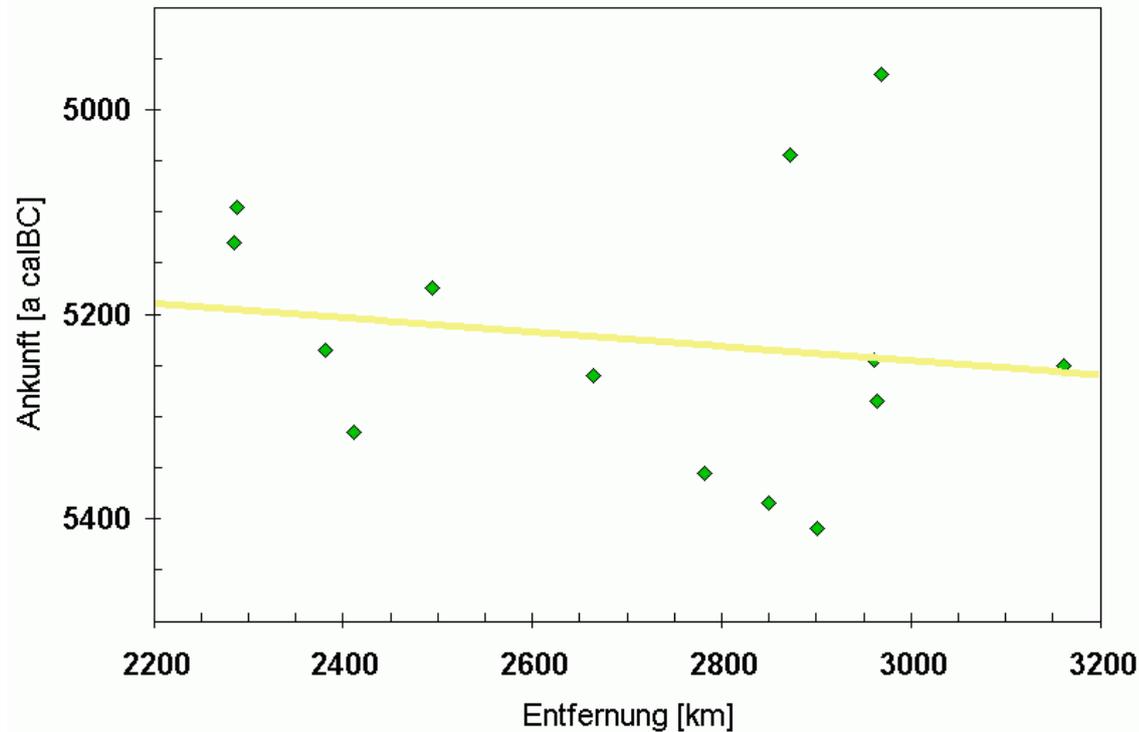


Abbildung 13: Verteilung der Daten zur Linearbandkeramik aus Stäuble 2005 und (Lüning 2005).

4.3 Stäuble 2005 und Lüning 2005

In seiner Dissertation über Häuser und absolute Datierung der Ältesten Bandkeramik geht Harald Stäuble detailliert auf die einzelnen für die von ihm diskutierten Fundplätze vorliegenden Radiokarbonaten ein. Wenn man sich ausschließlich auf die von ihm für zuverlässig gehaltenen Messungen beschränkt, ergibt die Kalibration die neun in Tafel 11 dargestellten Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Zusätzlich wurden von Jens Lüning über ein Wiggle-Matching von Daten aus verschiedenen Hausgenerationen die Anfänge der Siedlungen Schwanfeld und Langweiler 8 hochgenau datiert.

Zusammen mit vier weiteren Plätzen aus (Stäuble 2005) (Tafel 12 und 13) ergibt sich die Verteilung in Abbildung 13. Die versuchsweise eingezeichnete Regressionsgerade weist sogar eine negative Steigung auf.

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 aus, die bisher vorgelegten Modelle sind nicht dazu imstande.

Literaturverzeichnis

ABLowitz 1979

Mark J. Ablowitz & Anthony Zeppetella, *Explicit Solutions of Fisher's Equation for a Special Wave Speed*. *Bulletin of Mathematical Biology* **41**, 1979, 835–840.

ACKLAND 2007

Graeme J. Ackland, Markus Signitzer, Kevin Stratford, & Morrel H. Cohen, *Cultural hitchhiking on the wave of advance of beneficial technologies*. *PNAS* **104**, 2007, 8714–8719.

AMMERMAN 1971

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

AMMERMANN 1973

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.

AMMERMANN 1984

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

AMMERMANN 2006

Albert J. Ammerman, Ron Pinhasi & Eszter Bánffy, *Comment on „Ancient DNA from the First European Farmers in 7500-Year-Old Neolithic Sites“*. *science* **312**, 2006, 1875a.

AOKI 1996

Kenichi Aoki, Mitsuo Shida & Nanako Shigesada, *Travelling Wave Solutions for the Spread of Farmers into a Region Occupied by Hunter-Gatherers*. *Theoretical Population Biology* **50**, 1996, 1–.

Literaturverzeichnis

BENTLEY 2009

R. Alexander Bentley, Robert H. Layton & Jamshid Tehrani, *Kinship, Marriage, and the Genetics of Past Human Dispersals*. *Human Biology* **81**, 2009, 159–179.

BURGER 2006

Joachim Burger, Detlef Gronenborn, Peter Forster, Shuichi Matsumura, Barbara Bramanti & Wolfgang Haak, *Response to Comment on „Ancient DNA from the First European Farmers in 7500-Year-Old Neolithic Sites“*. *science* **312**, 2006, 1875b.

BURMEISTER 1996

Stefan Burmeister, *Migrationen und ihre archäologische Nachweisbarkeit*. *Archäologische Informationen* **19**, 1996, 13–21.

CAVALLI-SFORZA 1993

Luigi L. Cavalli-Sforza, Paolo Menozzi & Alberto Piazza, *Demic Expansions and Human Evolution*. *science* **259**, 1993, 639–646.

CAVALLI-SFORZA 1996

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.

CAVALLI-SFORZA 1997A

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

CAVALLI-SFORZA 1997B

L. Luca Cavalli-Sforza, *Genetic and Cultural Diversity in Europe*. *Journal of Anthropological Research* **53**, 1997, 383–404.

CAVALLI-SFORZA 1998

L. Luca Cavalli-Sforza, *Prehistory of the Europeans: Response to Otte's Comments*. *Journal of Anthropological Research* **54**, 1998, 405–406.

CHIKHI 2002

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

CLARK 1998

G. A. Clark, *Multivariate Pattern Searches, the Logic of Inference, and European Prehistory: A Comment on Cavalli-Sforza*. *Journal of Anthropological Research* 54, 1998, 406–411.

COWARD 2008

Fiona Coward, Stephen Shennan, Sue Colledge, James Conolly & Mark Collard, *The spread of Neolithic plant economies from the Near East to northwest Europe: a phylogenetic analysis*. *Journal of Archaeological Science* 35, 2008, 42–56.

DAVISON 2006

Kate Davison, Pavel Dolukhanov, Graeme R. Sarson & Anvar Shukurov, *The role of waterways in the spread of the Neolithic*. *Journal of Archaeological Science* 33, 2006, 641–652.

DOLUKHANOV 2005

Pavel Dolukhanov, Anvar Shukurov, Detlef Gronenborn, Dmitry Sokoloff, Vladimir Timofeev & Ganna Zaitseva, *The chronology of Neolithic dispersal in Central and Eastern Europe*. *Journal of Archaeological Science* 32, 2005, 1441–1458.

DUPANLOUP 2004

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.

EDMONSON 1961

Munro S. Edmonson, *Neolithic Diffusion Rates*. *Current Anthropology* 2, 1961, 71–102.

EVETT 1973

Daniel Evett, *Early Farming in Europe*. *Man* 8, 1973, 475–476.

FISHER 1937

R. A. Fisher, *The Wave of Advance of Advantageous Genes*. *Annals of Eugenics* 7, 1937, 355–369.

FORT 2002

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.

Literaturverzeichnis

FORT 2008

J. Fort, J. Pérez-Losada, J.J. Suñol, L. Escoda & J.M. Massaneda, *Integro-difference equations for interacting species and the Neolithic transition*. *New Journal of Physics* **10**, 2008, 043045, 1–18.

HAAK 2005

Wolfgang Haak et al., *Ancient DNA from the First European Farmers in 7500-Year-Old Neolithic Sites*. *science* **310**, 2005, 1016–1018.

HALLATSCHEK 2007

Oskar Hallatschek, Pascal Hersen, Sharad Ramanathan & David R. Nelson, *Genetic drift at expanding frontiers promotes gene segregation*. *PNAS* **104**, 2007, 19926–19930.

KENDALL 1948

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.

KENDALL 1965

D.G. Kendall, *Mathematical models of the spread of infection*. In: *Mathematics and computer science in biology and medicine, Proceedings of conference held by Medical Research Council in association with the Health Departments: Oxford, July 1964*. (London 1965), 213–225.

LÜNING 2005

Jens Lüning, *Bandkeramische Hofplätze und absolute Chronologie der Bandkeramik*. In: Jens Lüning, 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.

MAIDANA 2008

Norberto Anibal Maidana & Hyun Mo Yang, *Describing the geographic spread of dengue disease by traveling waves*. *Mathematical Biosciences* **215**, 2008, 64–77.

OTTE 1998

Marcel Otte, R. Miller, P. Noiret & L. Straus, *Prehistory of the Europeans: A Comment on Cavalli-Sforza*. *Journal of Anthropological Research* **54**, 1998, 401–405.

PINHASI 2005

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>> ().

PRICE 1995

T. Douglas Price, Anne Brigitte Gebauer & Lawrence H. Keeley, *The Spread of Farming into Europe North of the Alps*. In: T. Douglas Price & Anne Brigitte Gebauer (Hrsg.), *Last Hunters–First Farmers, New Perspectives on the Prehistoric Transition to Agriculture*. (Santa Fe 1995), 95–126.

RENDINE 1986

S. Rendine, A. Piazza & L. L. Cavalli-Sforza, *Simulation and Separation by Principal Components of Multiple Demic Expansions in Europe*. The American Naturalist 128, 1986, 681–706.

RENDINE 1999

Sabina Rendine, Alberto Piazza, Paolo Menozzi & L. Luca Cavalli-Sforza, *A Problem with Synthetic Maps: Reply to Sokal et al.* Human Biology 71, 1999, 15–25.

RENFREW 1996

Colin Renfrew, *Language families and the spread of farming*. In: David R. Harris (Hrsg.), *The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia*. (Washington 1996), 70–92.

RENFREW 1998

Colin Renfrew, *Comments on Cavalli-Sforza and Otte*. Journal of Anthropological Research 54, 1998, 417–419.

SEIELSTAD 1998

Mark T. Seielstad, Eric Minch & L. Luca Cavalli-Sforza, *Genetic evidence for a higher female migration rate in humans*. nature genetics 20, 1998, 278–280.

SEMINO 2000

Ornella Semino et al., *The Genetic Legacy of Paleolithic Homo sapiens sapiens in Extant Europeans: A Y Chromosome Perspective*. science 290, 2000, 1155–1159.

SEMINO 2004

Ornella Semino et al., *Origin, Diffusion, and Differentiation of Y-Chromosome Haplogroups E and J: Inferences on the Neolithization of Europe and Later Migratory Events in the Mediterranean Area*. Am. J. Hum. Genet. 74, 2004, 1023–1034.

Literaturverzeichnis

SKELLAM 1951

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

SOKAL 1991

Robert R. Sokal, Neal L. Oden & Chester Wilson, *Genetic evidence for the spread of agriculture in Europe by demic diffusion*. *nature* **351**, 1991, 143–145.

SOKAL 1999

Robert R. Sokal, Neal L. Oden & Barbara A. Thomson, *A Problem with Synthetic Maps*. *Human Biology* **71**, 1999, 1–13.

STÄUBLE 2005

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

STEELE 2009

James Steele, *Human Dispersals: Mathematical Models and the Archaeological Record*. *Human Biology* **81**, 2009, 121–140.

STRAUS 1998

Lawrence G. Straus, L. Luca Cavalli-Sforza, G. A. Clark, R. Miller, P. Noiret, Marcel Otte, Colin Renfrew & Marek Zvelebil, *The Peoplings of Europe: A J.A.R. Debate*. *Journal of Anthropological Research* **54**, 1998, 399–419.

VLAD 2004

Marcel Ovidiu Vlad, L. Luca Cavalli-Sforza & John Ross, *Enhanced (hydrodynamic) transport induced by population growth in reaction-diffusion systems, with application to population genetics*. *PNAS* **101**, 2004, 10249–10253.

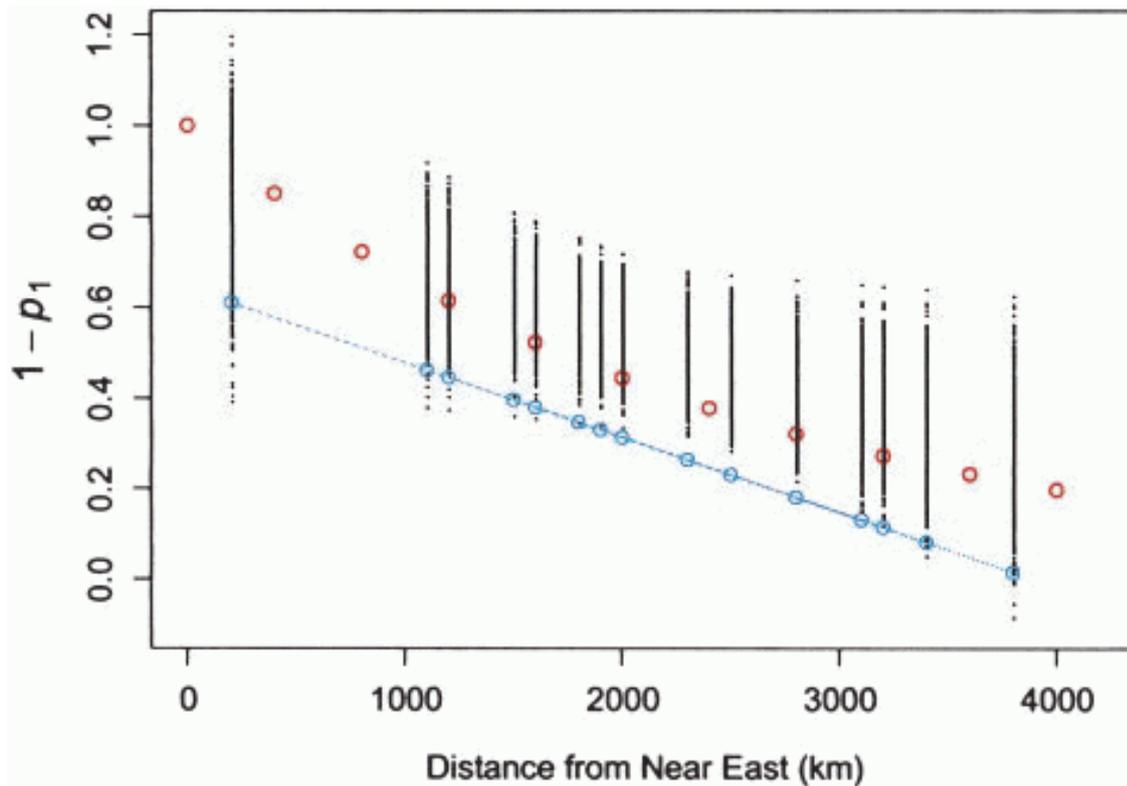
WEN 2004

Bo Wen et al., *Genetic evidence supports demic diffusion of Han culture*. *nature* **431**, 2004, 302–305.

ZVELEBIL 1998

Marek Zvelebil, *Genetic and Cultural Diversity of Europe: A Comment on Cavalli-Sforza*. *Journal of Anthropological Research* **54**, 1998, 411–417.

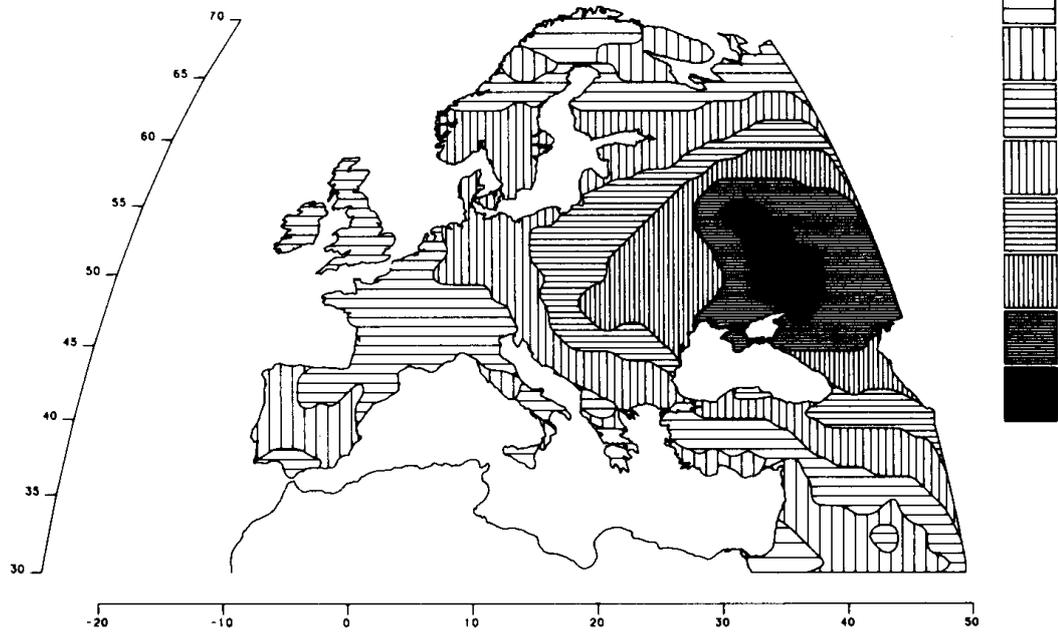
A Tafeln



Tafel I: Nähöstlicher Genanteil an europäischen Y-Chromosomen in Abhängigkeit der Entfernung vom Ursprungsgebiet des Neolithikums. Rot: Erwartungswerte für zehn Zwischenschritte mit jeweils 85 % Zuwanderern; Blau: Ergebnis der Analyse von Semino 2000, (Chikhi 2002).

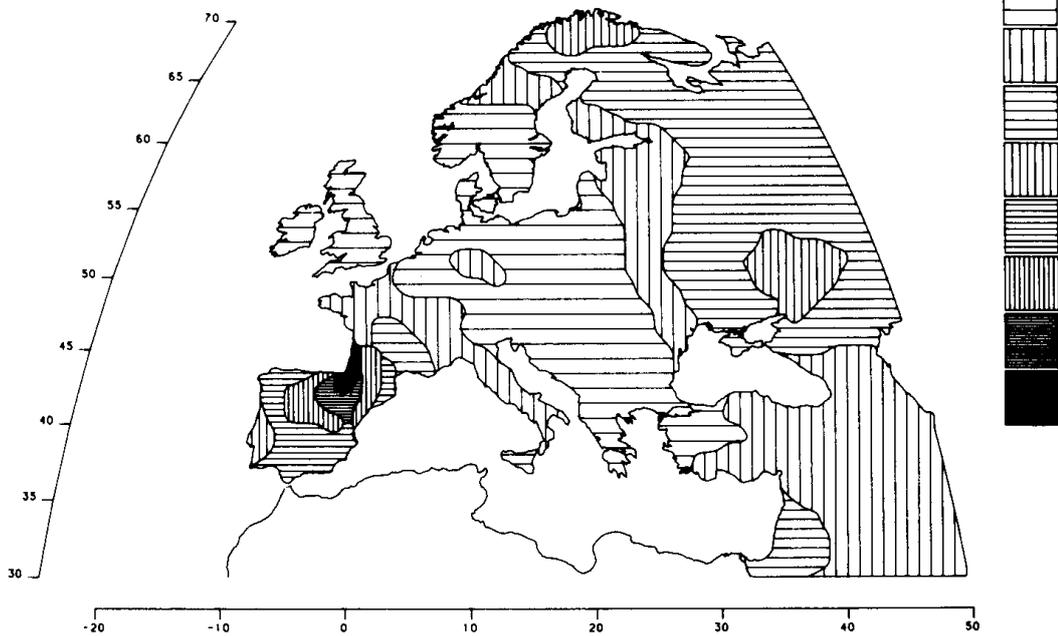
A Tafeln

(c)



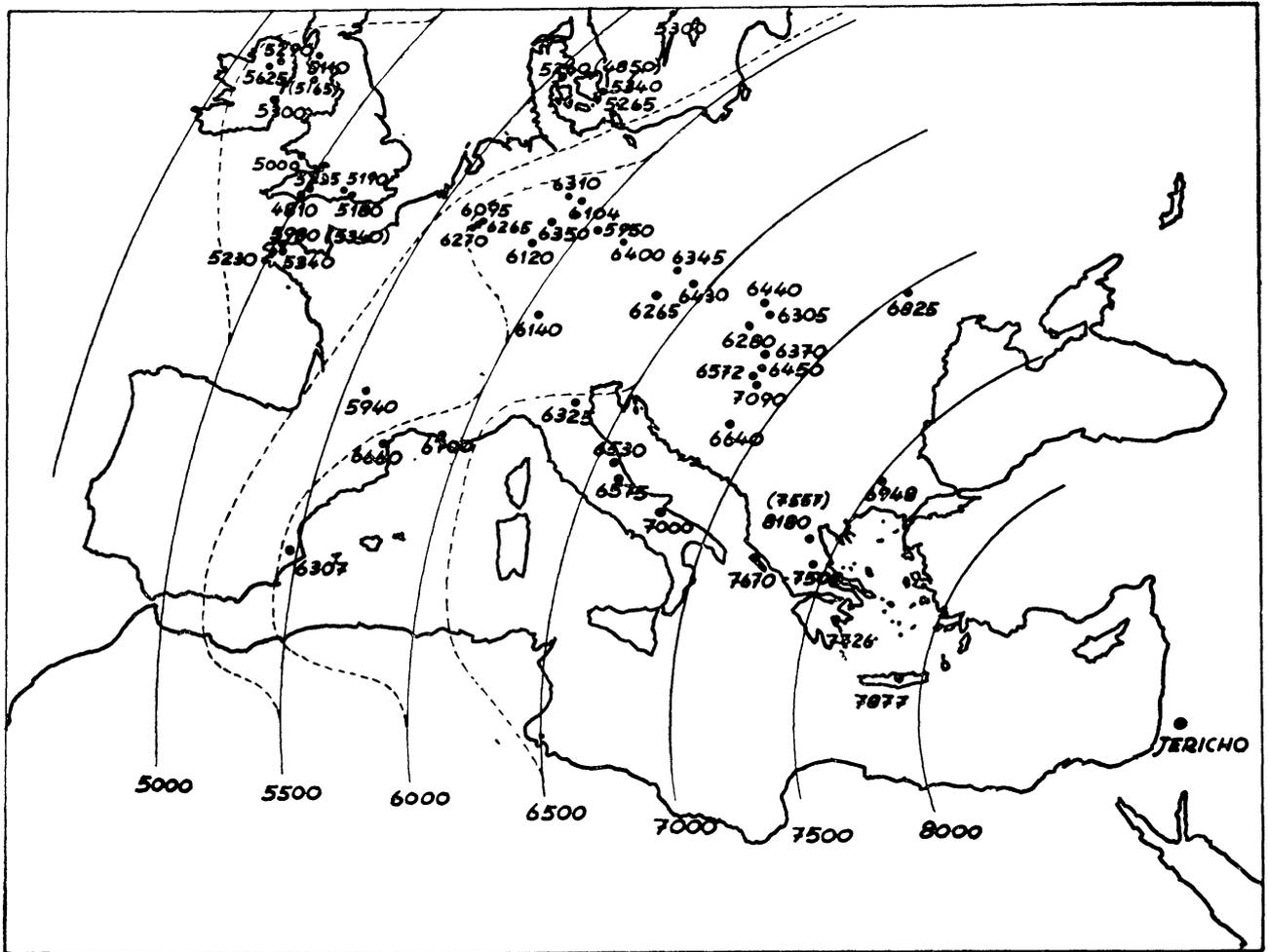
(a) Dritte Hauptkomponente – Kurgannomaden?

(e)



(b) Fünfte Hauptkomponente – Rückzug der Basken

Tafel 2: Verbreitungskarten der dritten und fünften Hauptkomponente der Genvariation (Cavalli-Sforza 1996).



Tafel 3: Ausbreitungskarte des Neolithikums nach Ammerman 1971. Die Zeitangaben der Fundplätze sind unkalibrierte Jahre bp.

A Tafeln

SITE LIST 4.1. The neolithic sites with C-14 dates used to make the isochron map in figure 4.5 and with geographic coordinates and laboratory numbers

<i>Site</i>	<i>Date B.P.</i>	<i>Lat</i>	<i>Long</i>	<i>Sample Number</i>
1. Aswad	9690*	33.36*	36.30*	GIF-2372, 2633
2. Jericho	9370*	31.85	35.45	BM-1321, 1322, 1323, 1324, 1326, 1327
3. Beidha	8630*	30.37	35.43	GRN-5063; P-1379; K-1082
4. Ali Kosh	8840	32.42	47.25	SHELL-1174 (see also UCLA-750D)
5. Ganj Dareh	9030*	34.33	47.50	P-1484, 1485, 1486
6. Çayönü	9360*	38.23	39.05	GRN-4458, 4459
7. Aşikli Hüyük	8790*	38.37	34.25	P-1238, 1239, 1240, 1241, 1245
8. Haçilar	8700	37.58	30.08	BM-127
9. Shomu Tepe	7510	41.12	45.45	LE-631
10. Togolok Depe	7320	38.12	57.95	BLN-719
11. Ghar-I-Mar	7125*	36.08	66.75	HR-428, 429
12. Tutkaul	7100	38.33	69.22	LE-690
13. Dhali-Agridhi	7990	35.03	33.43	P-2548; bone
14. Khirokitia	7595*	34.80	33.35	ST-414, 415, 416 (see also BM-854)
15. Kalavassos-Tenta	8350	34.75	33.30	P-2548
16. Knossos	7875*	35.52	25.33	BM-124, 278, 436
17. Franchthi	7795	37.42	23.08	P-1392 (see also P-1525)
18. Elateia	7480	38.62	22.73	GRN-2973
19. Sesklo	7755	39.38	22.82	P-1681 (see also P-1680, 1682)
20. Achilleion	7430*	39.30*	22.40*	LJ-3329, 4449; P-2118; UCLA-1896A
21. Argissa	7500	39.63	22.47	GRN-4145 (see also dates on bone: UCLA-1657A, 1657D)
22. Nea Nikomedia	8180	40.65	22.30	Q-655 (see also P-1212)
23. Sidari	7670	39.75*	19.75*	GX-771
24. Veluska	6950	40.90	20.35	TX-1785
25. Soroki	7515	48.18	28.32	BLN-588 (see also BLN-587)
26. Azmak	7030*	42.45	25.77	BLN-291, 292, 293, 294
27. Anza	7190*	41.70	20.00	LJ-2181, 2330, 3033, 3183, 3186
28. Grivac	7250	43.98	20.70	BLN-869
29. Banja	7050	44.18	20.57	BLN-730
30. Divostin	6940*	44.03	20.83	BM-573; BLN-896 (see also BLN-823, 824, 826)
31. Gornja Tuzla	6640	44.45	18.77	GRN-2059
32. Desyk-Olajkut	6570*	46.22	20.25	BLN-581, 584
33. Gyálarét	7090	46.22	20.08	BLN-75
34. Katalzeg	6370	46.67	21.10	BLN-86
35. Kotacpart	6450	46.42	20.32	BLN-115
36. Scaramella	7000	41.50	15.68	R-350 (see also R-351)
37. Redina	7110	41.25	16.00	LJ-4548 (see also LJ-4549)
38. Piana di Curinga	6930	38.82	16.25	P-2946
39. Grotta dell'Uzzo	6750	38.12*	12.50*	P-2733
40. Penne	6580	42.47	13.93	PI-101
41. Maddalena	6580	43.07	13.07	R-643
42. Romagnano	6060	46.07	11.13	R-781 (see also R-780)
43. Arene Candide	6680*	44.50	8.50	LJ-4143, 4144
44. Le Capitaine	6050	43.75	6.17	GIF-1111
45. St. Mitre	6550*	43.83	5.58	MC-263, 264 (see also MC-265)
46. Châteauneuf	6430	43.38	5.17	LY-446 (KN-182 is unreliable; see Guilaine 1976)
47. Montclus	6300	44.27	4.43	LY-303 (see also KN-181)
48. Baratin	6600	44.25	4.88	GIF-1855
49. Combe Obscure	6400	44.48	4.13	LY-423
50. Le Suc	5980	44.85	3.92	LY-1057
51. Camprafaud	6300	43.43	2.90	GIF-1491
52. Gazel	6905	43.25	2.75	GRN-6702 (see also GRN 6705, 6706, 6707)
53. Jean Cros	6600	43.08	2.47	GIF-3575 (see also GSY-218)
54. Roucadour	5940	44.83	1.50	GSY-36A
55. Coveta de l'Or	6445*	38.70	0.47 W	KN-51; H-1754
56. Murciélagos	6275*	37.80*	4.85*W	GRN-6638, 6926 (see also CISC-53, 54, 55)

Note: These sites provided the estimates of time of arrival of early farming in various parts of Europe that were used in generating the isochron map shown in figure 4.5. The C-14 dates are conventional radiocarbon ages in years B.P. An asterisk indicates a case in which two or more C-14 dates are available for a site; these dates have been averaged.

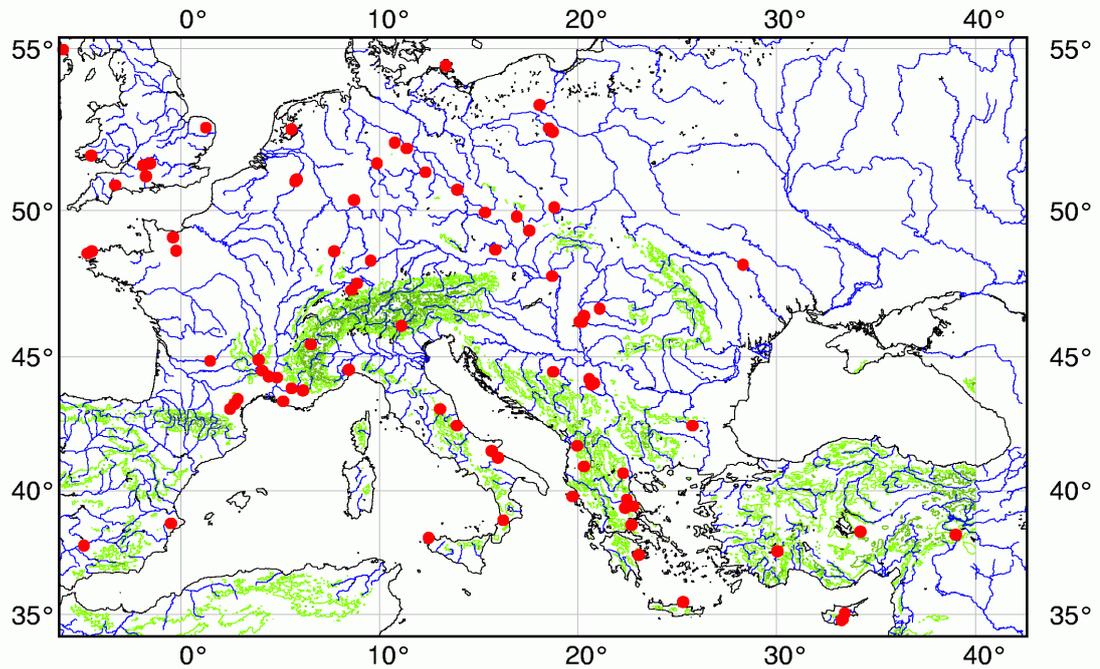
Tabelle 3: Die 106 datierten Fundplätze aus Ammermann 1973 und Ammermann 1984, Teil 1.

SITE LIST 4.1, *cont'd*

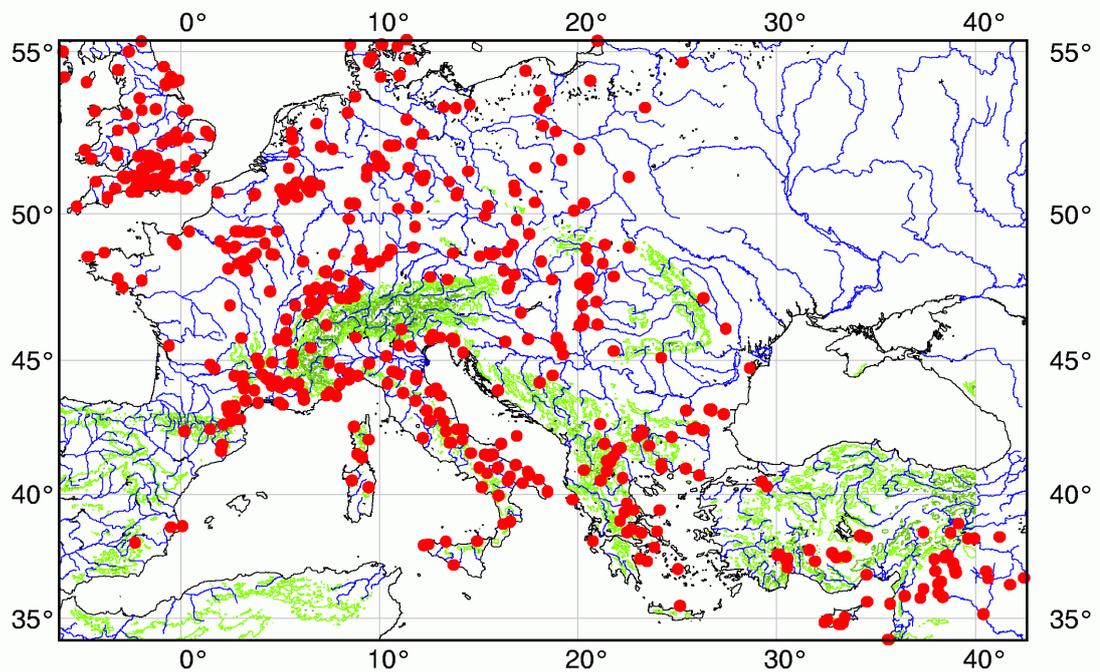
<i>Site</i>	<i>Date B.P.</i>	<i>Lat</i>	<i>Long</i>	<i>Sample Number</i>
57. Sturovo	6215*	47.80	18.73	BLN-558, 559
58. Zopy	6430	49.33	17.58	BLN-57
59. Mohelnice	6345*	49.78	16.92	BLN-102, 102A
60. Pulkau	6265	48.70	15.87	BLN-83
61. Bylany	6185	49.92	15.33	BM-562 (see other dates by BLN, GRN, and LJ)
62. Chabarovice	6400	50.67	13.95	BLN-438
63. Olszanica	6430	50.10	18.83	GRN-5384
64. Breść Kujawski	6180	52.60	18.58	GRN-9255 (see also LOD-172)
65. Strezelce	6260	53.32	18.12	GRN-5087
66. Zwenkau-Harth	6030*	51.23	12.35	GRN-1581; BLN-66; K-555
67. Westereghn	6105*	51.97	11.40	GRN-223; BLN-43, 92
68. Eitzum	6310	52.15	10.80	BLN-51
69. Rosdorf	6350	51.50	9.90	HR-586
70. Friedburg	6120	50.33	8.75	BLN-56
71. Lautereck	6140	48.33	9.57	GRN-4750
72. Evendorf	6050	45.42	6.57	LY-1181
73. Reichtett	5940	48.63	7.75	LY-865
74. Elsloo	6270	50.93	5.77	GRN-2164
75. Geleen	6265*	50.97	5.83	GRN-995, 996
76. Sittard	6095	51.00	5.87	GRN-320
77. Swifterbant	5300*	52.57	5.58	GRN-6899, 7042, 7043, 7044
78. La Hoguette	5560	49.10	0.37 W	LY-131
79. Les Longrais	5290	48.65	0.22 W	LY-150
80. Ile Carn 1	5230	48.58	4.68 W	GRN-1968
81. Ile Carn 2	5390	48.57	4.68 W	GIF-1362
82. Curnic	5340	48.63	4.47 W	GRN-1966
83. Feldmeilen	5415	47.32	8.62	UCLA-1691F (see other dates by UCLA)
84. Niederwil	4990	47.57	8.90	GRN-4203 (see also GRN-4202, 4204)
85. Eaton Heath	5095	52.62	1.27	BM-770
86. Fussell's Lodge	5180	51.08	1.73 W	BM-134
87. Windmill Hill	5190	51.43	1.87 W	BM-180
88. Hembury	5235*	50.82	3.27 W	BM-136, 138
89. Lambourn	5365	51.50*	1.50*W	GX-1178
90. Coygan Camp	5000	51.75	4.50 W	NPL-132
91. Monamore	5110	55.52	5.13 W	Q-675
92. Mad Man's Window	5095	54.97	5.92 W	UB-205
93. Ballynagily	5625*	54.70	6.85 W	UB-197, 305, 307, 559
94. Olby Lyng	5265*	55.50	12.22	K-1230, 1231
95. Christianholm	5340*	55.75	12.57	K-729, 750
96. Lietzow Buddelin 1	5190	54.48	13.38	BLN-560
97. Ringkloster	5320	56.02	9.95	K-1654
98. Konens Hoj	5260	55.98	10.67	K-923
99. Lindebjerb	5010	55.70	11.18	K-1659
100. Solager	4650	55.93	11.90	K-1724
101. Hagestad	4700	55.40	14.18	LU-1349
102. Hjulberga	4830	59.35	15.12	LU-1319
103. Sarnowo	5570	52.48	18.75	GRN-5035
104. Sventoji	4160*	55.95	21.25	LE-833, 904
105. Sarnate	4500*	57.13	21.43	LE-814; TA-24 (see also BLN-769)
106. Piestinė	4595*	56.92	27.00	LE-748, 750

Tabelle 4: Die 106 datierten Fundplätze aus Ammermann 1973 und Ammermann 1984, Teil 2.

A Tafeln

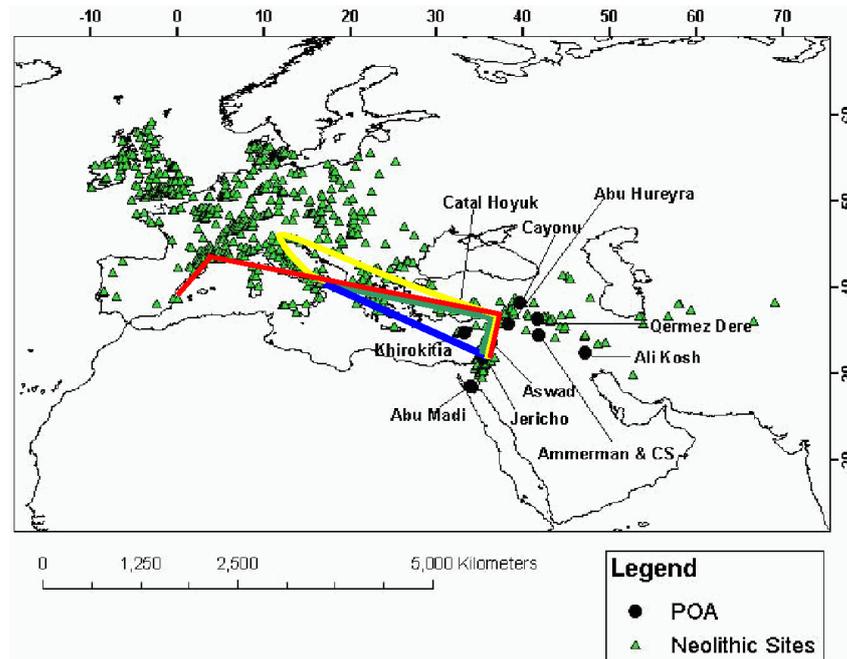


(a) Ammerman und Cavalli-Sforza (Ammermann 1984)

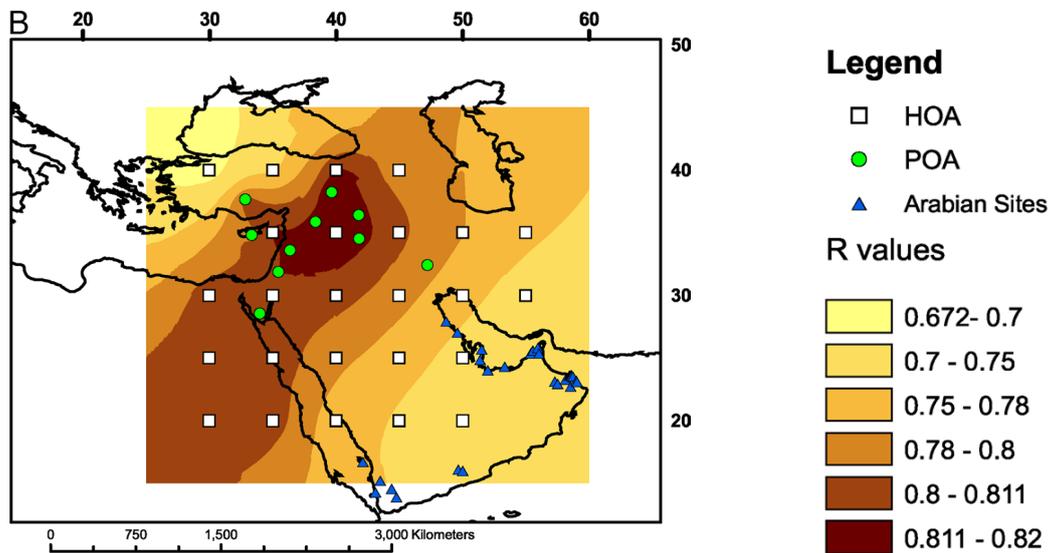


(b) Pinhasi, Fort und Ammerman (Pinhasi 2005)

Tafel 4: Lagepläne der datierten Fundplätze für die Bestimmungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit.



Tafel 5: Konstruktion der kürzesten Landwege. Die Luftlinie, blau, führt mitten durchs Meer; der reine Landweg, gelb, stellt einen großen Umweg dar; gewählt wurde die grüne Route, die auch kurze Seewege zulässt, die durch neolithische Plätze auf Inseln belegt sind. POA: Probable centres of Origin of Agriculture (Pinhasi 2005, supplementary data).



Tafel 6: Wahrscheinliche Lage des Ausbreitungszentrums aus der Regressionsanalyse mit Entfernungen auf kürzesten Landwegen. POA: Probable centres of Origin of Agriculture, HOA: Hypothetical centres of Origin of Agriculture (Pinhasi 2005).

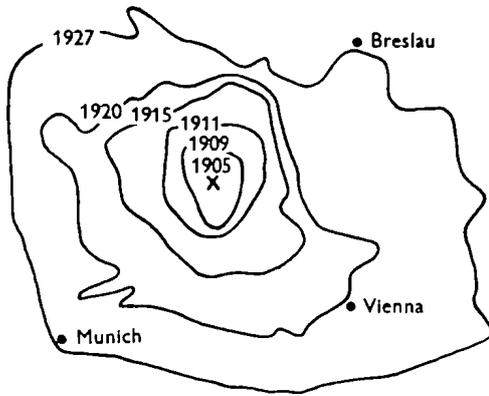


Fig. 1

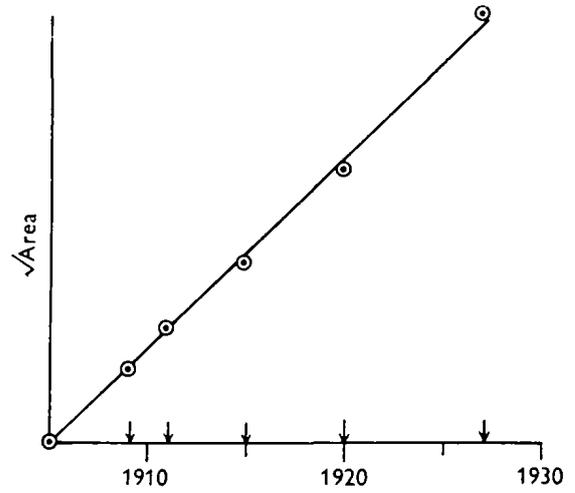
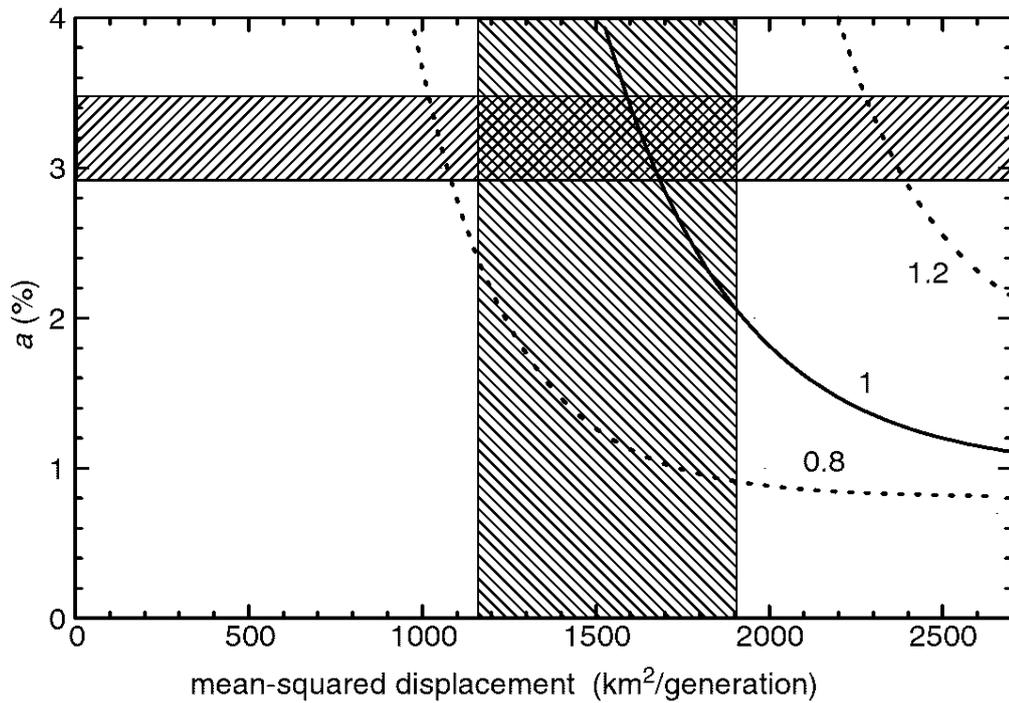


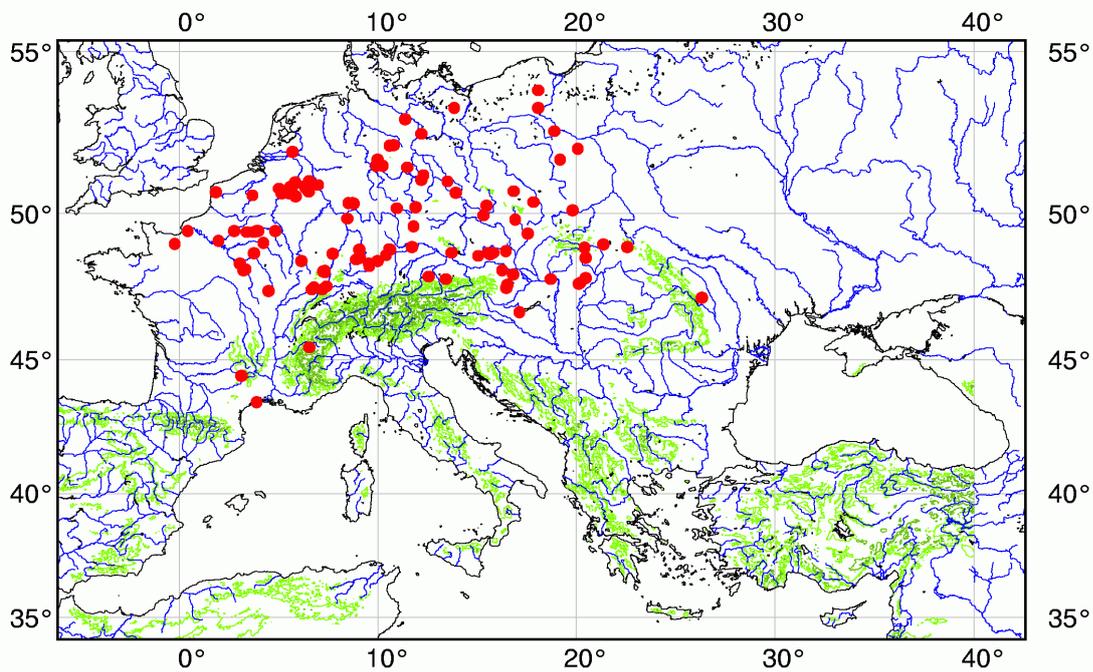
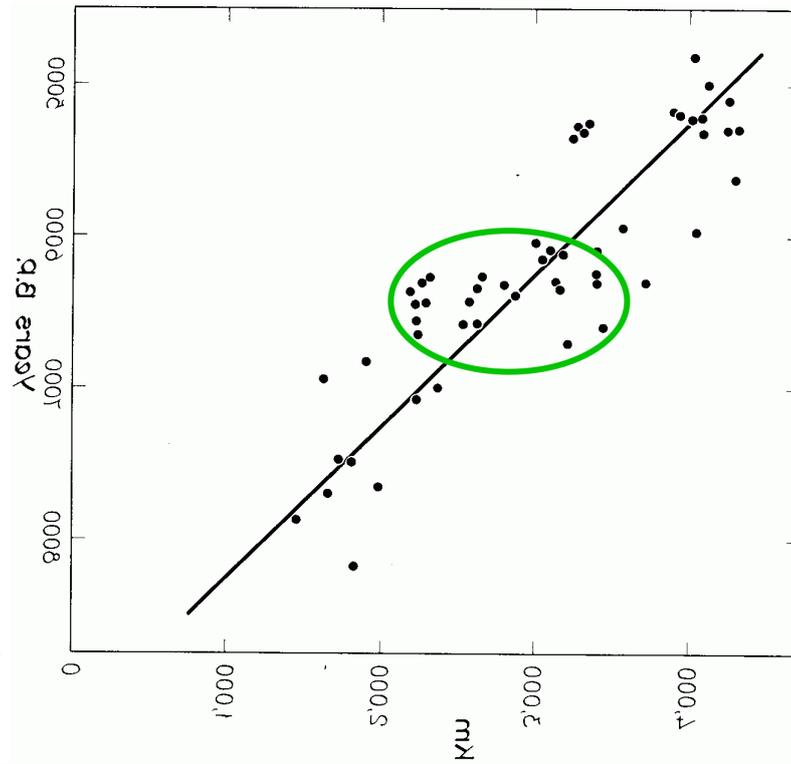
Fig. 2

Tafel 7: Ausbreitung der Bismarckratte von einem Zentrum in Böhmen (Skellam 1951).



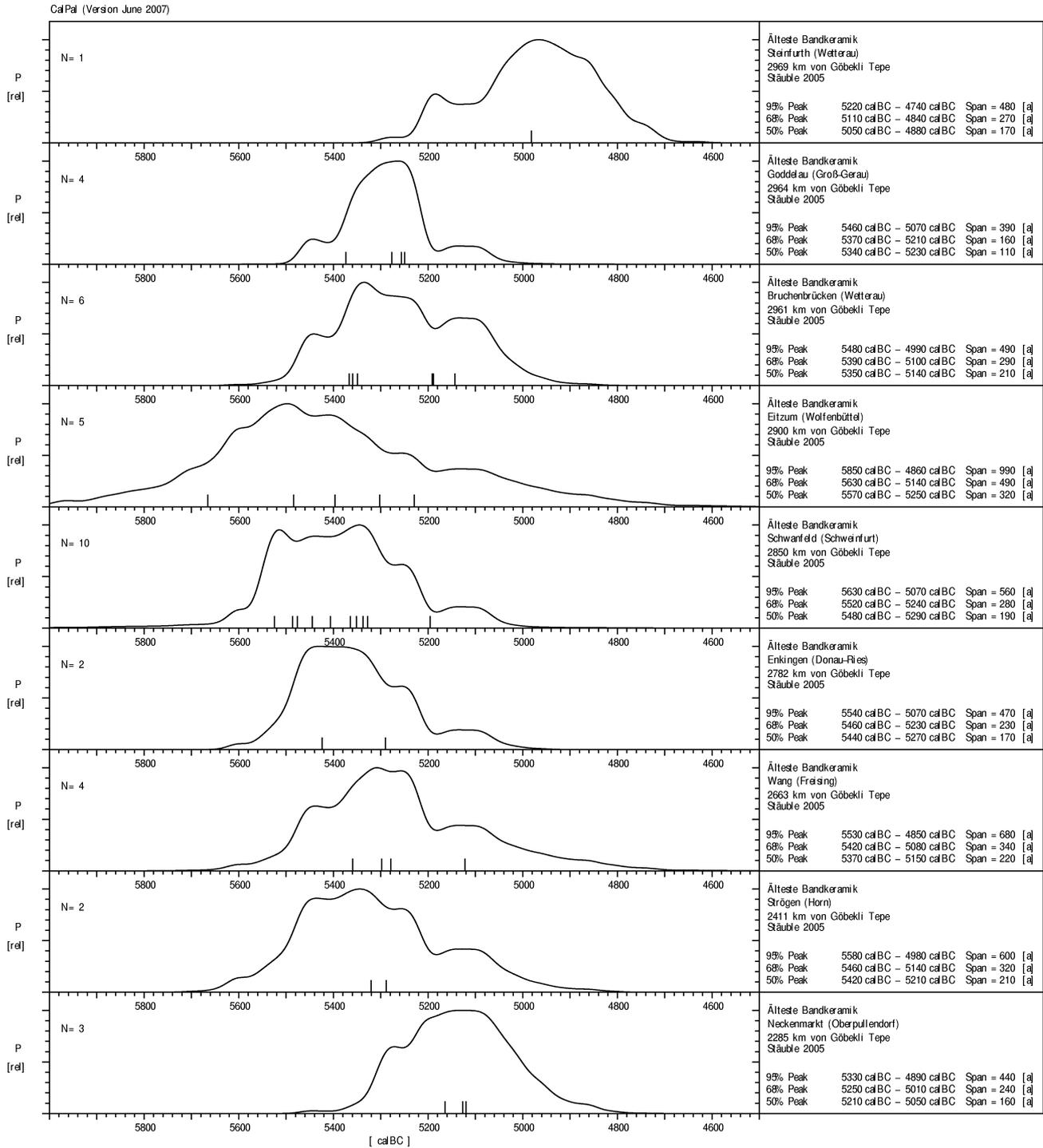
Tafel 8: Parametervariation für die Ausbreitungsgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung aller Terme höherer Ordnung (Fort 2002).

Tafel 9: Gespiegelte Fassung der Abbildung 4 aus Kapitel 2 mit der Regressionsgeraden. Der Teildatensatz für die Linearbandkeramik ist hervorgehoben (Ammermann 1984).

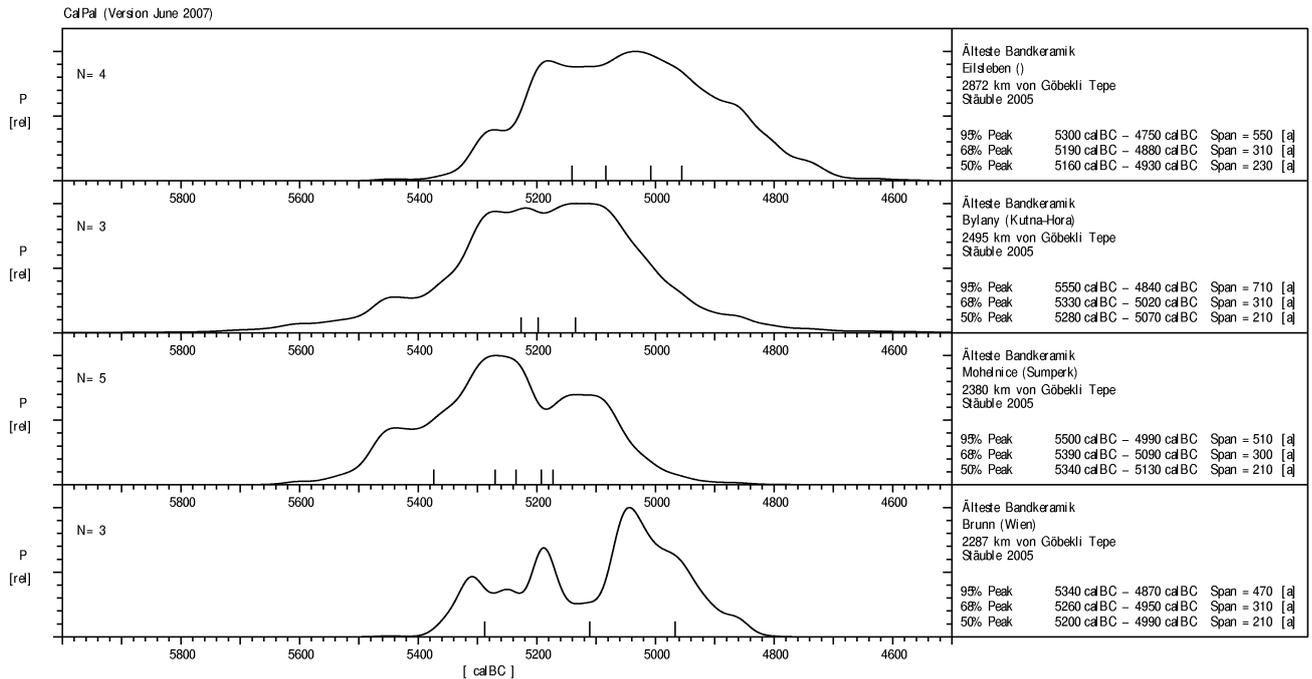


Tafel 10: Lageplan der 118 von Ron Pinhasi der Linearbandkeramik zugeordneten Siedlungen (Pinhasi 2005).

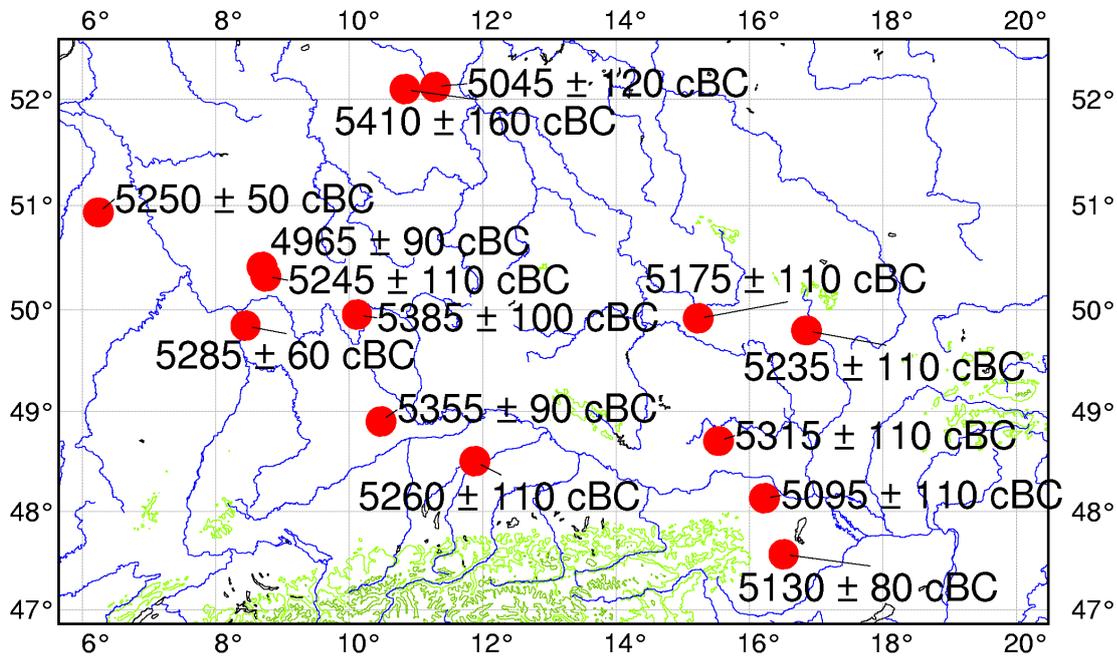
A Tafeln



Tafel II: Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Alters der von Harald Stäuble für zuverlässig datiert gehaltenen Siedlungen der ältesten Linearbandkeramik (Stäuble 2005).



Tafel 12: Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Alters der von Harald Stäuble zusätzlich aufgeführten Siedlungen der ältesten Linearbandkeramik (Stäuble 2005).



Tafel 13: Lageplan und kalibrierte Alter in Jahren BC der von Harald Stäuble und Jens Lüning besprochenen Siedlungen (Stäuble 2005, Lüning 2005).