Institut für Raumplanung

Fakultät Raumplanung · Universität Dortmund

Arbeitspapier

117

Klaus Spiekermann und Michael Wegener

Zeitkarten für die Raumplanung

Dortmund, März 1993

Institut für Raumplanung
Fakultät Raumplanung, Universität Dortmund

D-44221 Dortmund
Tel. 0231-7552291, Fax 0231-7554788

IRPUD

Inhalt

1 Einleitung: Geschwindigkeit und Raum 3

2 Visualisierung von Raum und Zeit 3

3 Bisherige Methoden zur Erzeugung von Zeitkarten 9

3.1 Muldimensionale Skalierung (MDS) 10

3.2 Interpolation durch Mittelwertbildung 12

3.3 Topologische Transformationen 13

4 Der eigene Ansatz 17

4.1 Schrittweise multidimensionale Skalierung (SMDS) 17

4.2 Interpolation mit Triangilation 21

5 Ergebnisse 26

5.1 Westeuropa 26

5.2 Frankreich 30

5.3 Deutschland 33

6 Fazit 37

7 Danksagung 38

8 Literatur 38

9 Anhang: Das Programm TIMESPACE 40

9.1 Programmstruktur 40

9.2 Dateien 43

9.3 Technische Angaben 44

1 Einleitung: Geschwindigkeit und Raum

Zu Beginn des Eisenbahnzeitalters schrieb Heinrich Heine 1843 in Paris: "Durch die Eisenbahnen wird der Raum getötet, und es bleibt uns nur noch die Zeit übrig. Hätten wir nur Geld genug, um auch letztere anständig zu töten! In viereinhalb Stunden reist man jetzt nach Orléans, in ebenso viel Stunden nach Rouen. Was wird das erst geben, wenn die Linien nach Belgien und Deutschland ausgeführt und mit den dortigen Bahnen verbunden sein werden! Mir ist als kämen die Berge und Wälder aller Länder auf Paris angerückt. Ich rieche schon den Duft der deutschen Linden; vor meiner Türe brandet die Nordsee" (Heine, 1854, S. 65) Dieses Zitat umreißt das Thema dieses Arbeitspapiers, das Verhältnis von Geschwindigkeit und Raum bzw. das Verhältnis von Raumüberwindung und Zeit.

Dem aktionsräumlichen Ansatz der Raum-Zeit-Geographie (Hägerstrand, 1970) folgend kann höhere Geschwindigkeit entweder in mehr disponible Zeit oder in erweiterte Aktionsräume umgesetzt werden. Empirische Untersuchungen zur Mobilität zeigen, daß das individuelle Zeitbudget für Raumüberwindung relativ konstant bleibt (Zahavi, 1979). So wird durch höhere Geschwindigkeit gewonnene Zeit überwiegend dazu genutzt, weiter oder häufiger zu fahren, das heißt, bei gleichbleibendem Zeitbudget schrumpft, subjektiv gesehen, der Raum. Orte, Regionen und Länder rücken näher zusammen.

Die gesteigerte Bewegungsfähigkeit gehört zu den konstituierenden Merkmalen der Modernität: "Die Geschichte moderner Gesellschaften läßt sich auch als die Geschichte ihrer Beschleunigung lesen" (Steiner, 1991, S. 24). Die moderne Gesellschaft gleicht einer Gesellschaft von Kentauren, Zwischenwesen mit menschengestaltiger Vorderseite und automobilem Unterleib (Sloterdijk, 1992). In Europa steht sie vor einem neuen Beschleunigungsschub: Das geplante Hochgeschwindigkeitsnetz der Eisenbahnen (Gemeinschaft der europäischen Bahnen, 1989) wird eine neue Dimension der Reisegeschwindigkeit und damit des Verhältnisses von Raum und Zeit eröffnen.

Gegenstand dieses Arbeitspapiers ist die Visualisierung dieser neuen Beziehung von Raum und Zeit in Form neuartiger Karten, in denen nicht die räumlichen, sondern die zeitlichen Distanzen zwischen Städten und Ländern abgebildet werden. Dazu wird eine Methode zur Erzeugung von Zeitkarten weiterentwickelt, welche die Nachteile bisheriger Methoden überwindet. Zur Demonstration des neuen Verfahrens werden mit ihm erzeugte Zeitkarten für Westeuropa, Frankreich und Deutschland vorgestellt und diskutiert.

2 Visualisierung von Raum und Zeit

Es existieren verschiedene Methoden, die Wechselwirkung von Raum und Zeit kartographisch darzustellen. Drei Kartentypen können unterschieden werden:

- *Isochronenkarten* stellen zeitliche Beziehungen im Raum unter Beibehaltung der räumlichen Distanzen zwischen den Kartenelementen dar.

- *Kognitive Karten* visualisieren in kartographisch nicht exakten, assoziativen Darstellungen den zeitlichen Aufwand zur Raumüberwindung.
- *Zeitkarten* bilden die Elemente einer Karte aufgrund ihrer zeitlichen Distanz voneinander ab.

Isochronenkarten

Isochronenkarten zeigen Zonen gleicher Reisedauer zu einem spezifischen Ort der Karte. Mittels Linien gleicher zeitlicher Entfernung von dem gewählten Punkt wird der Zeitaufwand von jedem Punkt der Karte zu diesem Punkt entsprechend dem vorhandenen Wegenetz oder den zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln ablesbar. Weit auseinander liegende Isochronen zeigen schnelle Verkehrsmittel an, während eng beieinander liegende Linien auf relativ hohen zeitlichen Aufwand zur Raumüberwindung hinweisen. So können mit Isochronenkarten Rückschlüsse auf die Qualität der Verkehrsmittel bzw. der Verkehrsinfrastruktur gezogen werden. Ein Nachteil der Isochronenkarten ist, daß die zeitlichen Entfernungen von nur einem Ort gezeigt werden können. Die zeitlichen Entfernungen zwischen anderen Punkten der Karte können nicht abgelesen werden.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für eine Isochronenkarte. Dargestellt wird die Auswirkung des Ärmelkanaltunnels auf die Eisenbahnreisezeiten in Westeuropa. Gezeigt werden Isochronen für das Jahr 1991, d.h. die Reisezeiten vor Inbetriebnahme des Kanaltunnels, überlagert von Isochronen für das Jahr 2001, d.h. den zukünftigen Reisezeiten nach Inbetriebnahme des Kanaltunnels. Dabei wird ein weitgehender Ausbau des europäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes der Eisenbahnen bis zum Beginn des nächsten Jahrzehnts angenommen. Dargestellt ist die Reisedauer für Fahrten von Großbritannien und Irland nach Paris sowie vom europäischen Festland nach London. Die ersten Effekte des Hochgeschwindigkeitsnetzes sind heute schon ablesbar: der TGV zwischen Paris und Lyon schiebt die Linie gleicher Reisedauer deutlich nach außen. In Zukunft wird die Integration des Kanaltunnels in das europäische Hochgeschwindigkeitseisenbahnnetz die Dauer der meisten Bahnreisen über den Ärmelkanal halbieren. Die Eisenbahn wird zum schnellsten europäischen Verkehrsmittel am Boden (Spiekermann und Wegener, 1992).

Häufig werden Reisezeiten und Erreichbarkeiten auch in Flächenkartogrammen wiedergegeben, in denen einzelne Reisezeitklassen als gefüllte Flächen dargestellt werden. Die flächenhafte Darstellung ist bei bestimmten Sachverhalten einfacher zu lesen als Isolinien. Flächenkartogramme werden insbesondere dann verwendet, wenn der genaue Verlauf der Zeitgrenzen nicht bekannt ist. Dann wird die Erreichbarkeit zentraler Punkte einer Raumeinheit durch eine einheitliche Flächenfüllung der gesamten Raumeinheit angezeigt. Abbildung 2 illustriert dies anhand der durchschnittlichen Reisezeitverbesserungen im Schienenverkehr zu zwölf deutschen Großstädten durch die 'Verkehrsprojekte Deutsche Einheit' (BfLR, 1992). Von den Investitionen in die Eisenbahninfrastruktur profitieren erwartungsgemäß die neuen Bundesländer, allerdings mit der Ausnahme Mecklenburg-Vorpommerns. Die Verringerung der durchschnittlichen Reisezeiten mit der Eisenbahn in Bayern und Baden-Württemberg wären in einer reinen Isochronenkarte weniger deutlich geworden.

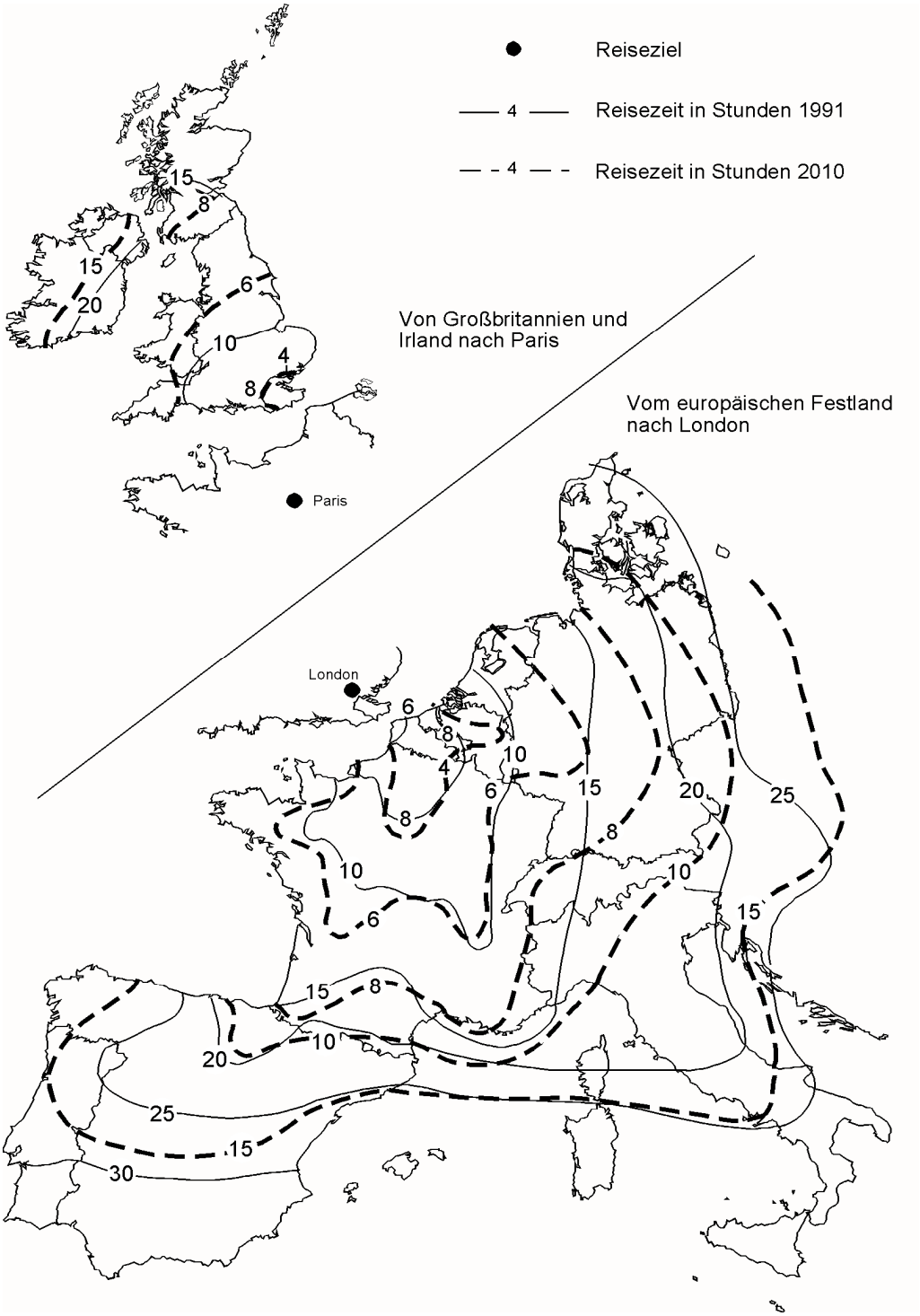


Abbildung 1. Eisenbahnreisezeiten in Westeuropa 1991 und 2010. Die Integration des Kanaltunnels in das zukünftige europäische Hochgeschwindigkeitsnetz der Eisenbahnen wird die Dauer der meisten Eisenbahnreisen über den Ärmelkanal halbieren.

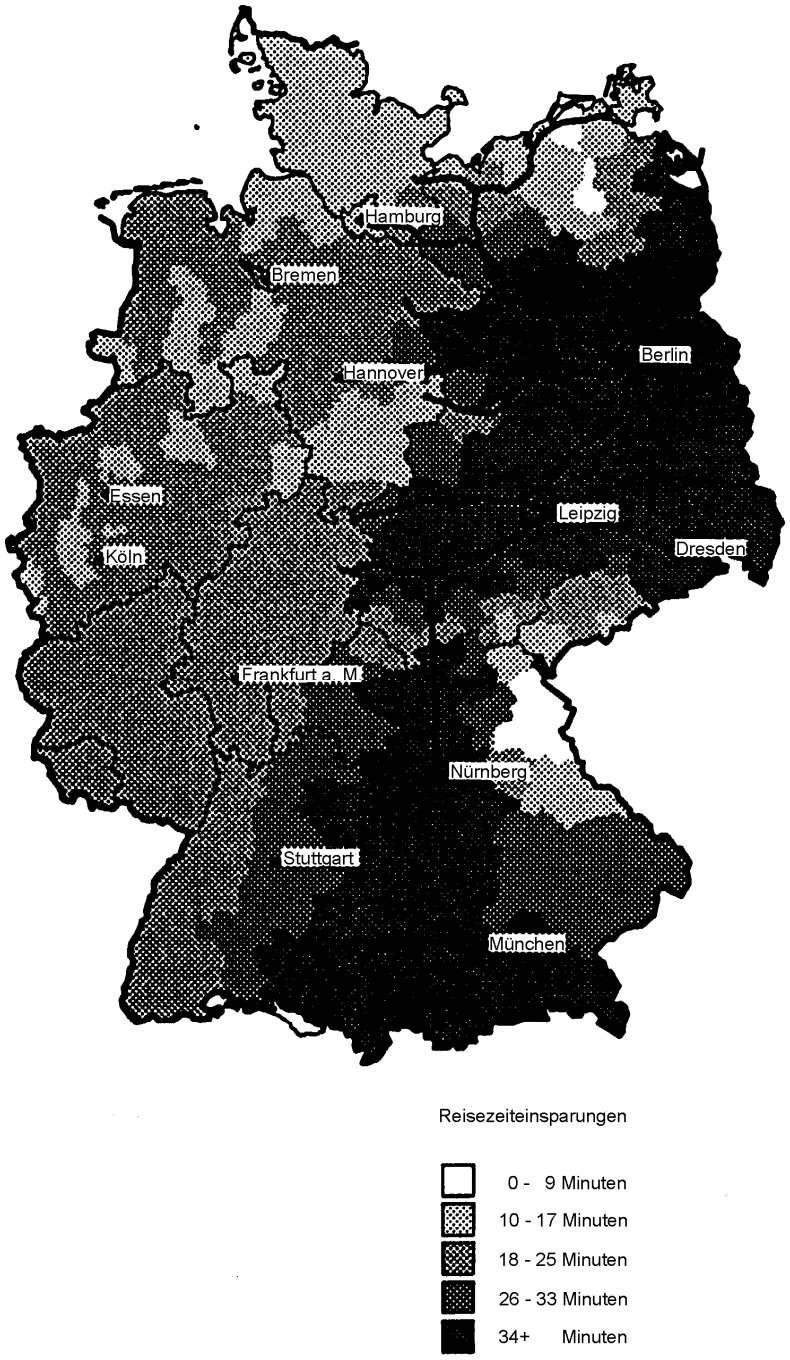


Abbildung 2. Die 'Verkehrsprojekte Deutsche Einheit' führen zu Reisezeitverbesserungen im Schienenverkehr der neuen Bundesländer mit der Ausnahme Mecklenburg-Vorpommerns (Quelle: BfLR, 1992).

Kognitive Karten

Kognitive Karten

Ein anderer Weg der Visualisierung von Raum und Zeit wird mit kognitiven Karten beschritten. Kognitive Karten können als subjektive Interpretationen der Wirklichkeit aufgefaßt werden. Eine kognitive Karte spiegelt die Welt so wider, "wie ein Mensch glaubt, daß sie ist, sie muß nicht korrekt sein" (Downs und Stea, 1982, S. 24). Verzerrungen sind sehr wahrscheinlich: der Verlauf von Küstenlinien und Grenzen ändert sich, Proportionen zwischen einzelnen Flächen stimmen nicht, die räumliche Zuordnung von Orten entspricht nicht der Topographie.

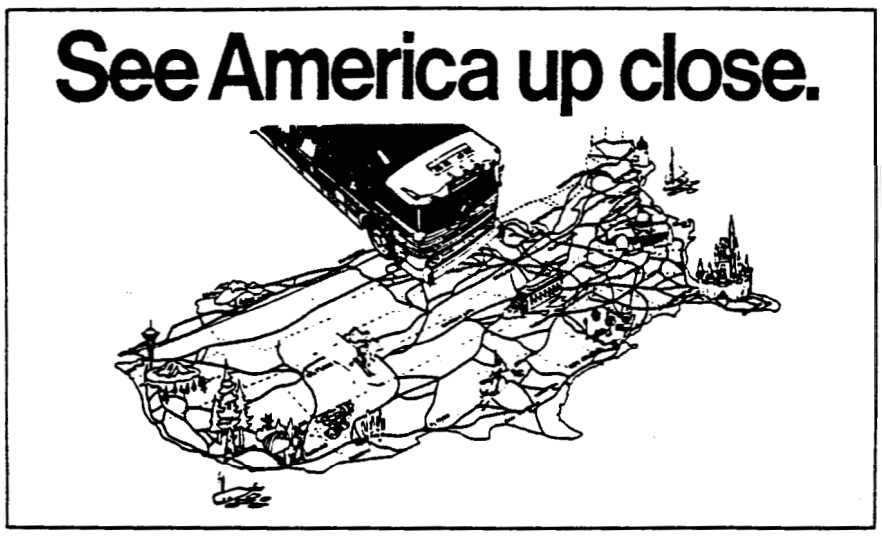
Da in kognitiven Karten das subjektive Verständnis der Welt wiedergegeben wird, wird diese Darstellungsform häufig in der Werbung verwendet. Durch Überzeichnungen einzelner Elemente soll beim Betrachter ein bestimmter Effekt erzielt werden. Abbildung 3 enthält Beispiele für kognitive Karten raum-zeitlicher Beziehungen aus der Werbung. Die Abbildung zeigt das Schrumpfen eines Landes durch die Nutzung eines bestimmten Verkehrsmittels (oben) und die räumliche Verschiebung einer Großstadtregion in das Zentrum des Landes durch Angabe ihrer Flugreisezeiten zu anderen Metropolen (unten).

Zeitkarten

Zeitkarten bilden den 'Zeit-Raum' (engl. 'time space') ab. In Zeitkarten werden die Elemente der Karte in einem zweidimensionalen Raum so dargestellt, daß die Abstände zwischen zwei Punkten auf der Karte nicht mehr proportional zur räumlichen Distanz zwischen ihnen ist wie bei topographischen Karten, sondern proportional zu den Reisezeiten zwischen ihnen. Das heißt, bei kurzen Reisezeiten zwischen zwei Orten werden diese auf der Karte nahe zusammenliegend abgebildet und umgekehrt. Der Kartenmaßstab wird also nicht durch Raumeinheiten, sondern durch Zeiteinheiten gebildet. Die Änderung des Kartenmaßstabs führt zu Verzerrungen der Karte gegenüber der 'gewohnten' Abbildung der räumlichen Topographie, da die Reisegeschwindigkeit in den einzelnen Teilen des Netzes unterschiedlich ist.

Zeitkarten können alle Elemente enthalten, aus denen sich 'normale' Karten zusammensetzen. Hierzu gehören beispielsweise Grenzen und Küstenlinien, die Verkehrsinfrastruktur oder andere räumliche Elemente bis hin zu einzelnen Gebäuden. In der Praxis werden meist nur diejenigen Elemente dargestellt, die für das Verständnis der Karte unbedingt notwendig sind. Die Visualisierung zielt vor allem auf die Darstellung der zeiträumlich bedingten Verschiebungen und Verzerrungen der Kartenelemente.

Wird bei der Erzeugung einer Zeitkarte überall eine einheitliche Geschwindigkeit unterstellt, entsteht das gewohnte Kartenbild. Eine solche Karte ist sowohl Raum- als auch Zeitkarte und kann bei der Interpretation von Zeitkarten zum Vergleich herangezogen werden. Hier werden solche Raum- und Zeitkarten *Basiskarten* genannt. Alle in diesem Arbeitspapier gezeigten Basiskarten wurden mit einer angenommenen homogenen Geschwindigkeit von 60 km/h erzeugt und haben denselben Zeitmaßstab wie die zu ihnen gehörenden Zeitkarten.



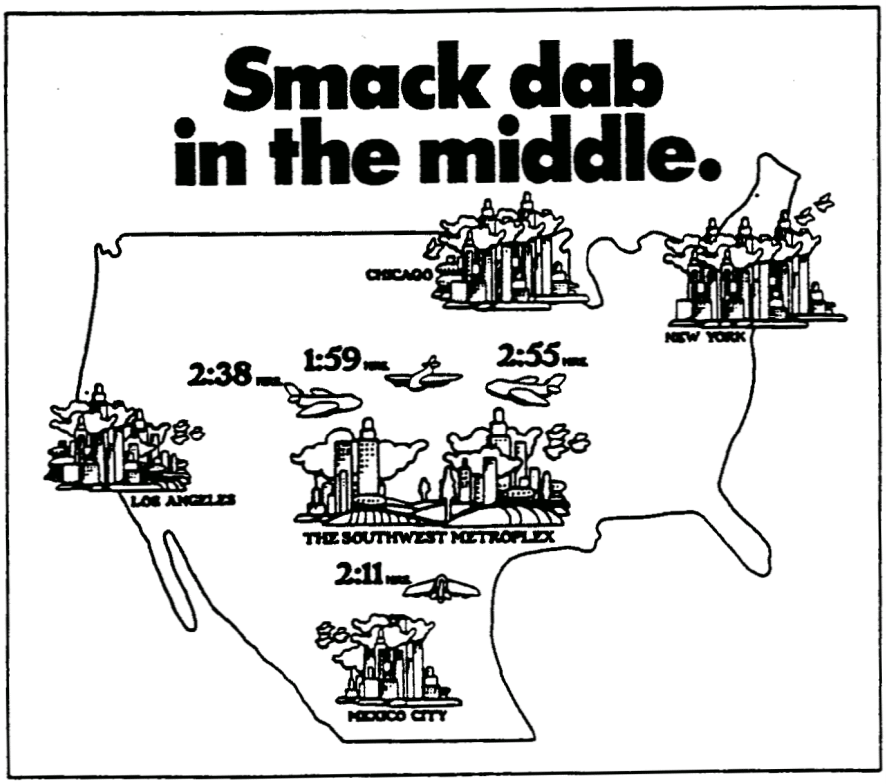


Abbildung 3. Kognitive Karten in der Werbung überzeichnen die Raumüberwindungsfähigkeit von Verkehrsmitteln (oben) oder verändern räumliche Beziehungen zugunsten bestimmter Orte (unten) (Quelle: Downs und Stea, 1982).

3 Bisherige Methoden zur Erzeugung von Zeitkarten

Zeitkarten werden durch Transformation der Raumkoordinaten einer bestehenden Karte in Zeitkoordinaten erzeugt. Dies läßt sich in allgemeiner Form wie folgt umschreiben:

$$u = \mathrm{f}(x, y) \qquad v = \mathrm{g}(x, y) \tag{1}$$

Hierbei sind (x,y) die Koordinaten eines Punktes in der Raumkarte, (u,v) die Koordinaten dieses Punktes auf der Zeitkarte und f und g sind die Transformationsfunktionen von der Raum- zur Zeitkarte. Die Funktionen werden so kalibriert, daß der Abstand zwischen den Punkten *i* und *j* in der Zeitkarte,

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_j - v_j)^2} \tag{2}$$

mit der gegebenen Zeitentfernung t_{ij} so gut wie möglich übereinstimmt. In Abbildung 4 ist dieses Prinzip der Raum-Zeit-Kartographie an einem einfachen Beispiel erläutert.

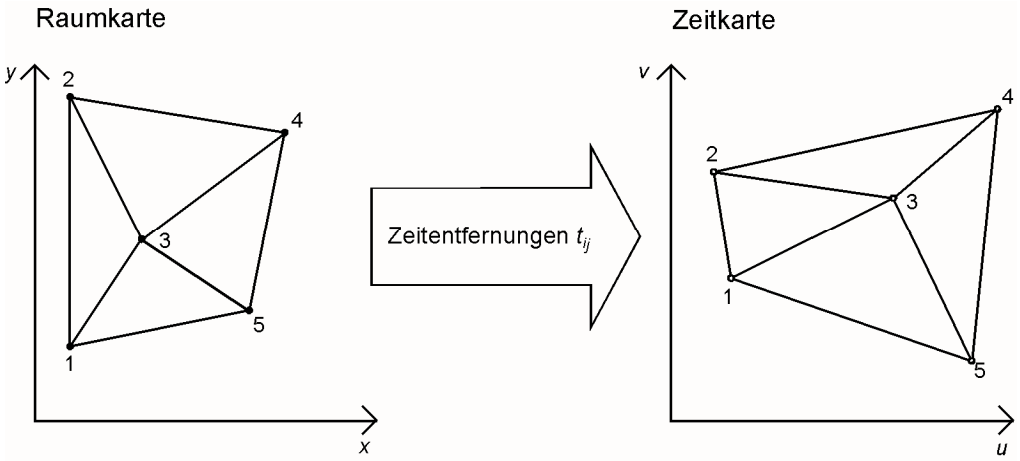


Abbildung 4. Zeitkarten werden durch Transformation von Raumkoordinaten in Zeitkoordinaten erzeugt.

In einer zweidimensionalen Darstellung ist es nicht möglich, die Zeitdistanzen zwischen allen Punkten exakt wiederzugeben. Dies würde einen höherdimensionalen Koordinatenraum erfordern. Es existiert daher auch keine Methode zur Erzeugung von Zeitkarten, in denen jede Kartenentfernung exakt proportional zu der entsprechenden Zeitentfernung ist. Zeitkarten können daher nur als Näherungslösungen mit Optimierungsalgorithmen erzeugt werden.

3.1 Multidimensionale Skalierung (MDS)

Zur Erzeugung von Zeitkarten wird zumeist die Technik der Multidimensionalen Skalierung (MDS) angewandt. Das MDS-Verfahren erzeugt bei bekannten Unterschieden zwischen mehreren Phänomenen in einer Dimension (in metrischen oder nicht-metrischen Einheiten) diejenige räumliche Konfiguration dieser Merkmale in einem mehrdimensionalen Koordinatenraum weiterer Attribute der Phänomene, welche sich durch eine möglichst hohe Übereinstimmung der Abstände zwischen den Merkmalen mit den vorgegebenen Abständen auszeichnet. Das MDS-Verfahren wurde in der Psychometrie entwikelt, um beispielsweise gleichartige oder unterschiedliche Reaktionen von Untersuchungspersonen auf verschiedene Reize durch Visualisierung in einem mehrdimensionalen Raum zu analysieren.

Die Raum-Zeit-Kartographie ist ein typisches Anwendungsproblem der metrischen MDS. Mit der Zeit t_{ij} als Abstandsmaß zwischen zwei Punkten i und j sollen alle Punkte im zweidimensionalen Raum, so konfiguriert werden, daß

$$\min_{u,v} \sum_{i<j} (t_{ij} - d_{ij})^2 \tag{3}$$

Das Prinzip der MDS zur Erstellung von Zeitkarten ist in Abbildung 5 anhand eines manuell ausführbaren iterativen Verfahrens illustriert (Haggett, 1983; Gatrell, 1983). Zu Beginn der Iteration werden die Raumkoordinaten der zu kalibrierenden Punkte als Anfangswerte der Zeitkoordinaten genommen $\{(u,v) = (x,y)\}$. Die vorliegenden Zeitentfernungen, die aus praktischen Gründen auf die Größendimension der Raumkoordinaten skaliert werden, werden als Linien eingezeichnet, deren Mittelpunkt auf der Mitte zwischen den entsprechenden Punkten liegt (oben links). Es ist nicht notwendig, daß für jedes Punktepaar eine Zeit vorliegt. Über die Punkte hinausreichende Linien zeigen an, daß der aktuelle Abstand der Punkte zu gering ist und verlängert werden muß. Bei kürzeren Linien muß der Abstand verringert werden. So ergeben sich für jeden Punkt Verschiebevektoren (Offsets in X- und Y-Richtung), deren Durchschnitt die Lage des Punktes nach der ersten Iteration angibt (oben rechts). Die neuen Koordinaten werden zu Ausgangspunkten einer weiteren Iteration. Der mittlere Teil der Abbildung zeigt die jeweilige Lage der Kalibrationspunkte nach den ersten drei Iterationen (links) bzw. zusammen mit den Verschiebevektoren nach fünfzig Iterationen (rechts). Aus den resultierenden Verschiebevektoren der Kalibrationspunkte (unten links) werden die Zeitkoordinaten bestimmt. Das Verfahren wird so lange fortgesetzt, bis sich keine Verbesserung mehr ergibt, so daß eine möglichst große Übereinstimmung zwischen den Zeitentfernungen und den Entfernungen auf der Karte erreicht ist (unten rechts).

Es existieren verschiedene MDS-Algorithmen, deren Optimierungsverfahren sich unterscheiden. Die Transformationsfunktionen der Gleichung (1) nehmen aber in allen Fällen für jeden Kalibrationspunkt i die folgende Form an:

$$u_i = x_i + a_i \qquad v_i = y_i + b_i \tag{4}$$

das heißt, die Zeitkoordinaten werden durch Addieren punktspezifischer Offsets zu den Raumkoordinaten gewonnen.

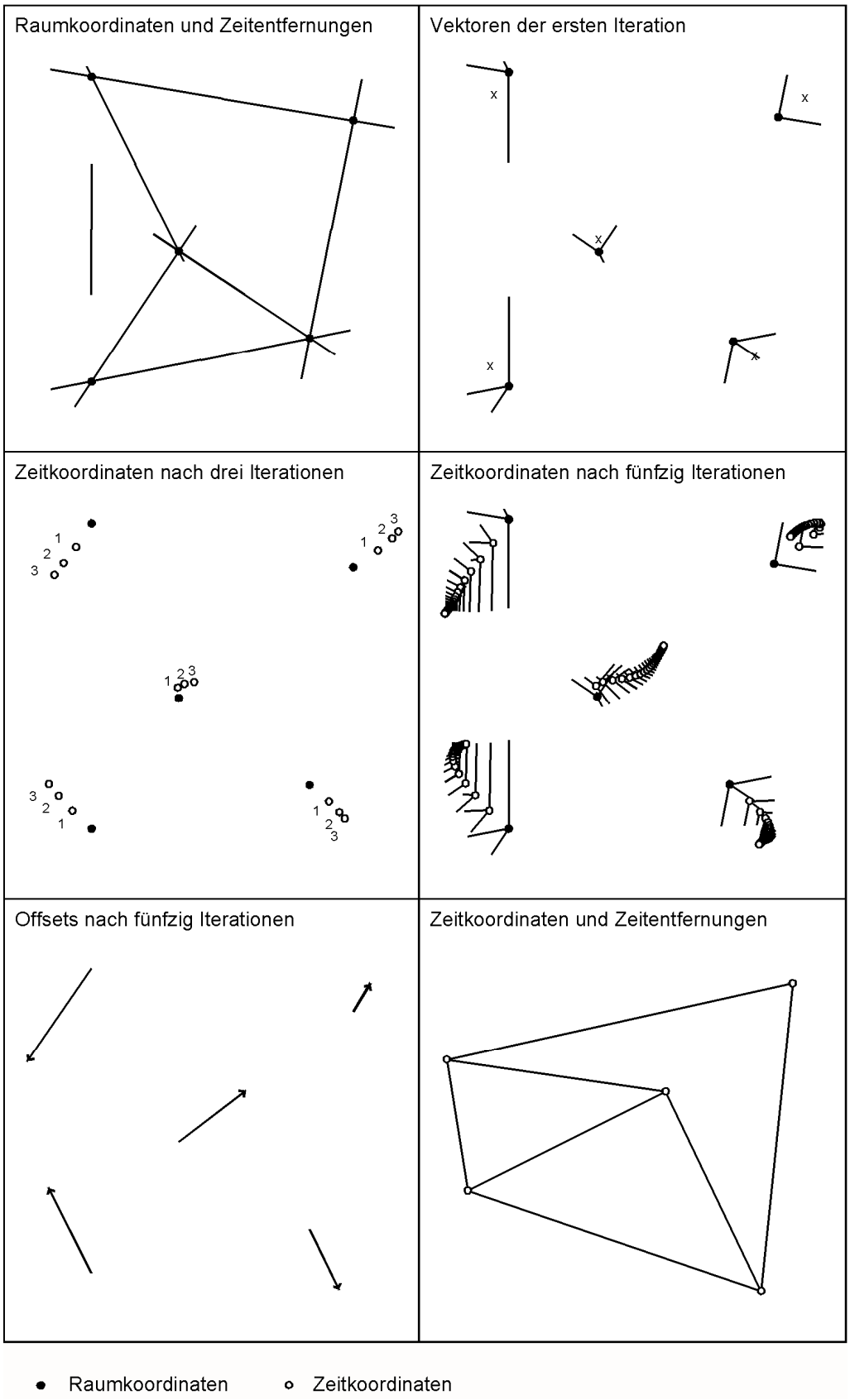


Abbildung 5. Beim metrischen MDS-Verfahren wird die Konfiguration der Kalibrationspunkte im Zeit-Raum iterativ den Zeitenfernungen angepaßt

3.2 Interpolation durch Mittelwertbildung

Das Ergebnis des MDS-Verfahrens ist eine den Zeitentfernungen möglichst gut entsprechende Konfiguration von Kalibrationspunkten auf einer Ebene. Diese in Zeitkoordinaten vorliegenden Punkte können beispielsweise Städte repräsentieren, stellen jedoch noch keine vollständige Karte dar. Weitere Kartenelemente müssen hinzugefügt werden. Allerdings sind die Zeitkoordinaten dieser Elemente unbekannt, da sie nicht durch das MDS-Verfahren bestimmt worden sind. Die fehlenden Koordinaten werden durch Interpolation zwischen den Kalibrationspunkten ermittelt.

Wie in Abbildung 5 (unten links) gezeigt, kann die Transformation der Koordinaten der Kalibrationspunkte von Raumkoordinaten zu Zeitkoordinaten durch Verschiebevektoren (Offsets in X- und Y-Richtung) dargestellt werden. Diese Vektoren geben für jeden Bereich des Kartenausschnitts die Verzerrung der Karte beim Übergang von Raum- zu Zeitkoordinaten an. Die Offsets weiterer Kartenelemente können durch Interpolation zwischen den Offsets der nächstliegenden Kalibrationspunkte ermittelt werden. Die Verschiebevektoren für die Koordinaten der weiteren Kartenelemente werden in der Regel als mit der Entfernung zu den Kalibrationspunkten gewichtete Mittelwerte der Offsets der Kalibrationspunkte berechnet (vgl. z.B. Ewing und Wolfe, 1977).

Eine so erzeugte Zeitkarte basiert also immer auf einer Anzahl von Kalibrationspunkten, deren Offsets durch MDS gefunden wurde, und weiteren Kartenelementen, deren Koordinaten mittels Interpolation bestimmt wurden. Abbildung 6 zeigt eine auf diese Weise entstandene Zeitkarte für Toronto. Die Auswirkung der Reisezeiten zwischen einzelnen Stadtteilen wird in der Zeitkarte durch die Veränderungen des im geographischen Raum regelmäßigen rechtwinkligen Rasters sichtbar; in den überlasteten Innenstadtbereichen dehnt sich der Zeit-Raum aus, während er an den Randbereichen stark zusammenschrumpft.

Das Beispiel der Zeitkarte von Toronto verbirgt jedoch zwei grundsätzliche Probleme des dargestellten Verfahrens, die mit wenigen Ausnahmen (z.B. Tobler, 1978; Shimizu, 1992) in der vorliegenden Literatur nicht diskutiert werden:

- Das MDS-Verfahren konfiguriert die Kalibrationspunkte nur aufgrund der Zeitentfernungen und berücksichtigt nicht die topologischen Eigenschaften der Karte. Das MDS-Verfahren kann daher zu einer Störung der Topologie führen, das heißt, die Verschiebevektoren einzelner Kalibrationspunkte können derart ausfallen, daß neue räumliche Relationen entstehen. So ist es zum Beispiel möglich, daß zwei in der Realität voneinander getrennte Straßen sich in der Zeitkarte kreuzen, oder daß einzelne Raumeinheiten gespiegelt oder auf andere Gebiete 'geklappt' werden. Trotz dieser Topologiestörung können derartige Zeitkarten gemessen an der Zielfunktion gute oder sehr gute Lösungen sein.

- Das zweite Problem ergibt sich aus dem angewandten Interpolationsverfahren, bei dem aus einer bestimmten Anzahl von benachbarten Kalibrationspunkten ein gewichtetes Mittel der Offsets berechnet wird. Dies kann zu Unstetigkeiten bei der Transformation der Raum- in Zeitkoordinaten führen: Wenn beispielsweise bei der Transformation der Koordinaten einer Küstenlinie ein Kalibrati-

onspunkt durch einen anderen ersetzt wird, und dieser stark unterschiedliche Offsets besitzt, führt dies zu Sprüngen in der Linie. Solche Sprünge können zu starken Verwerfungen des Kartenbildes führen, welche dann fälschlicherweise als große Zeitentfernungen zwischen nahe beieinander liegenden Punkten interpretiert werden.

Abbildung 7 zeigt eine Serie von mit der beschriebenen Methode erzeugten Zeitkarten für Westeuropa zur Illustration der genannten Probleme. Das MDS-Verfahren wurde mit 33 Kalibrationspunkten durchgeführt. Für die Interpolation der Koordinaten der Kartenlinien wurde die Anzahl der einbezogenen Kalibrationspunkte stufenweise von drei (oben) auf neun (unten) erhöht.

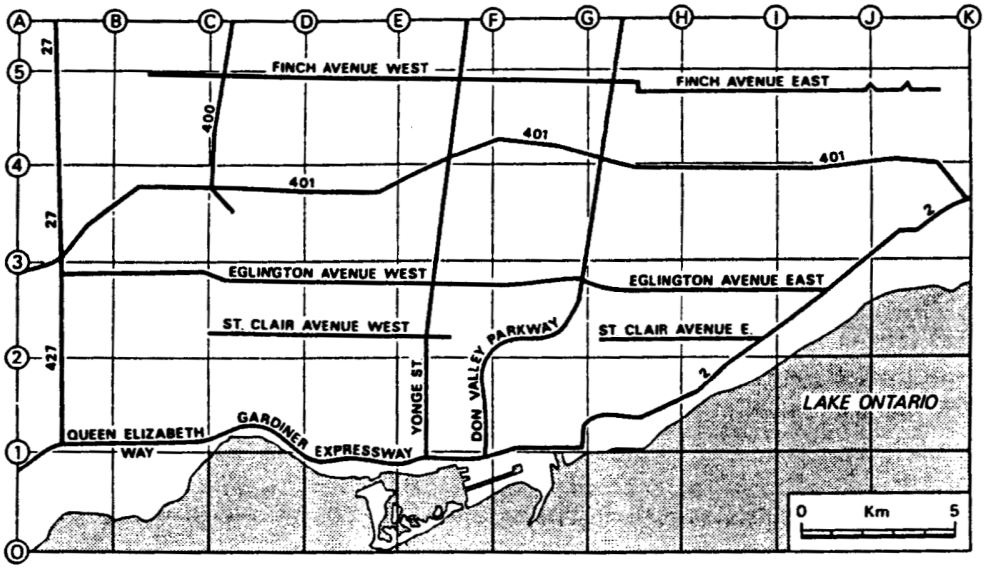
In allen drei Karten ist die Topologie gestört. Selbst in dem stabileren unteren Kartenbild wird beispielsweise noch eine 'neue Insel' im westlichen Ärmelkanal gezeichnet, die durch große Offsets einzelner Kalibrationspunkte entsteht. Es wird deutlich, daß die Topologiestörungen durch die Probleme des Interpolationsverfahrens in den oberen Karten noch verstärkt werden. Die nur durch das Interpolationsverfahren bewirkten Sprünge lassen sich an der Nordostecke Portugals beobachten, deren Zeitkoordinaten mittels eines anderen Kalibrationspunktes als die der anderen Bereiche des Landes interpoliert wurden. Mit Hinzunahme weiterer Kalibrationspunkte in die Mittelwertbildung reduziert sich der Effekt einzelner Kalibrationspunkte. Damit werden aber auch regionale Besonderheiten ausgelöscht und das Kartenbild ähnelt immer mehr der Raumkarte. So ergibt sich ein weiteres Problem: die Auswahl einer geeigneten Anzahl von Kalibrationspunkten zur Interpolation.

3.3 Topologische Transformationen

Wie schon in Abschnitt 3.1 festgestellt, gibt es nicht nur eine optimale Lösung für die Konfiguration der Kalibrationspunkte im zweidimensionalen Zeit-Raum. Es besteht eine unbegrenzte Zahl an mathematisch gleich guten Möglichkeiten. Aber wie läßt sich eine aus kartographischer Perspektive annehmbare Lösung herausfiltern? Shimizu (1992) schlägt hierzu eine Erweiterung des MDS-Verfahrens vor, welche nicht nur das Problem der Topologieerhaltung löst, sondern auch das Interpolationsverfahren überflüssig macht.

Das Verfahren besteht aus der Integration einer topologischen Transformation in das MDS-Verfahren. Es wird das gleiche Optimierungskriterium wie in Gleichung (3) benutzt. Während jedoch im herkömmlichen MDS-Verfahren die Zeitkoordinaten (u,v) direkt ermittelt werden, werden hier zunächst die Parameter einer Transformationsfunktion kalibriert und dann mittels dieser Funktion die Zeitkoordinaten der Kalibrationsfunktion berechnet. Eine Interpolation der Koordinaten weiterer Kartenelemente erübrigt sich, da eine direkte Transformation aller Kartenelemente mittels der kalibrierten Funktion möglich ist.

Nachfolgend sind fünf von Shimizu untersuchte Transformationsfunktionen für Gleichung (1) aufgeführt. Mit Ausnahme der Polynom-Transformation (9) sind alle Transformationen topologieerhaltend. Hierbei sind $a,b,c,...$ die zu kalibrierenden Parameter.



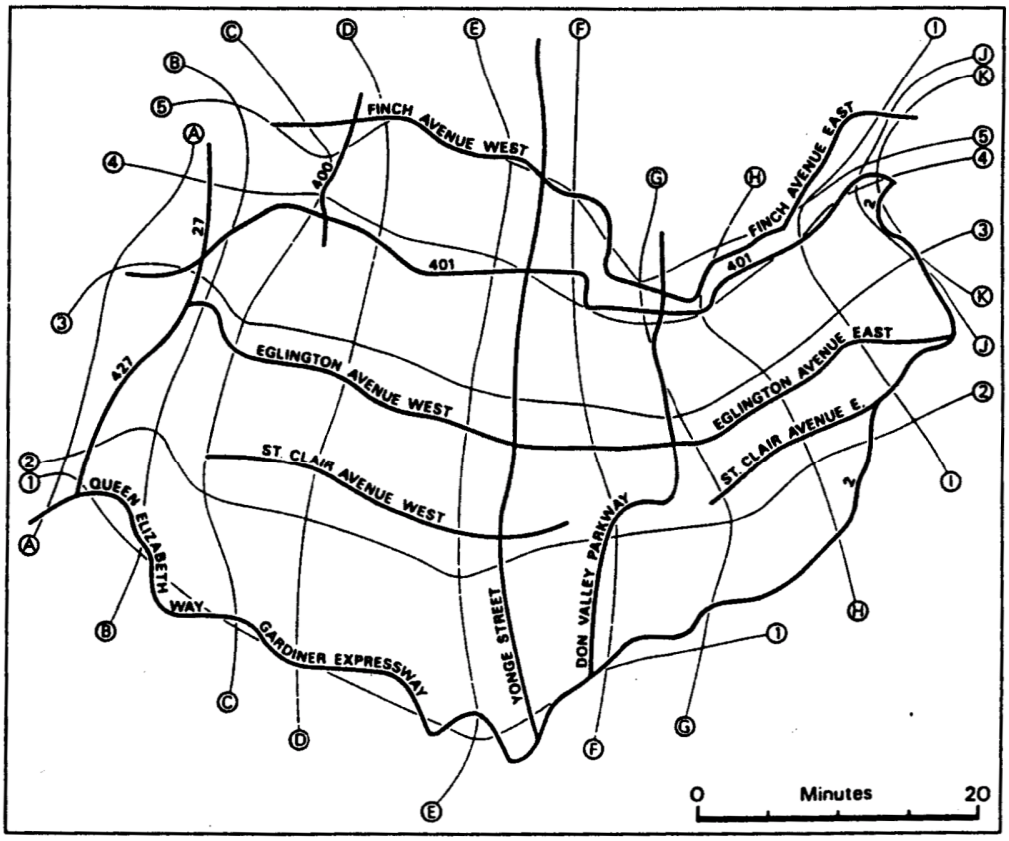


Abbildung 6. Eine Zeitkarte Torontos (unten) zeigt durch die Verzerrungen des in der Raumkarte (oben) regelmäßigen rechteckigen Gitternetzes schnelle und langsame Bereiche des Straßennetzes (Quelle: Ewing und Wolfe, 1977).

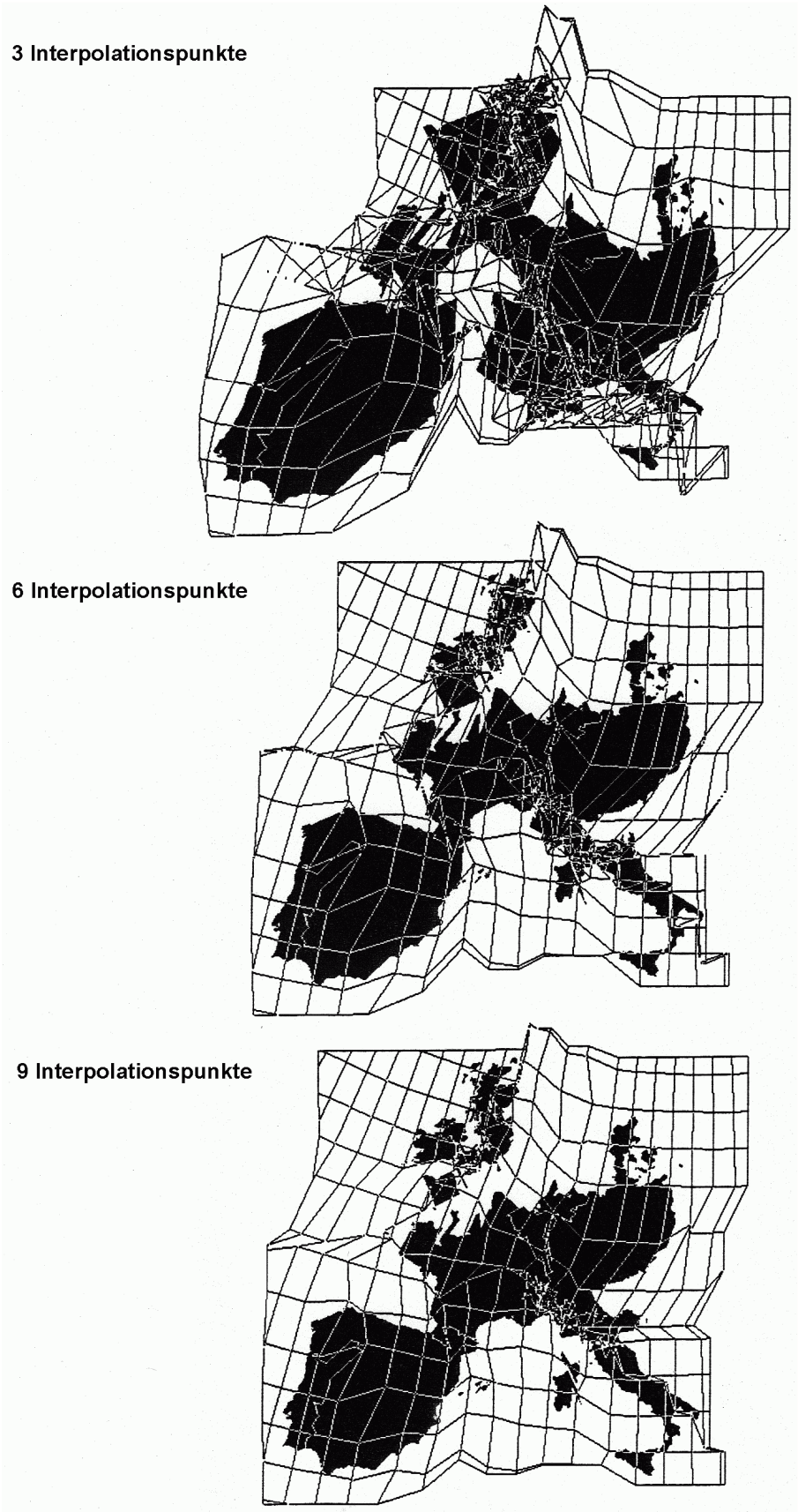


Abbildung 7. Das herkömmliche MDS-Verfahren und die Interpolation der Kartenelemente durch gewichtete Mittelwertbildung führem zur Zerstörung der Topologie und starken Sprüngen im Kartenbild.

a) Affine Transformation:

$$u = ax + by + c \qquad v = dx + ey + f \qquad \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \end{vmatrix} = 0 \tag{5}$$

b) Quadratische Transformation:

$$u = a(x-b)^2 + c(y-d)^2 \qquad y = e(x-f)^2 + g(y-h)^2 \tag{6}$$

c) Kubische Transformation:

$$u = a(x-b)^3 + c(y-d)^3 \qquad v = e(x-f)^3 + g(y-h)^3 \tag{7}$$

d) Projektive Transformation:

$$u = \frac{ax+by+c}{px+qy+r} \quad y = \frac{dx-ey+f}{px+qy+r} \qquad \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ p & q & r \end{vmatrix} \tag{8}$$

e) Polynom-Transformation:

$$u = ax + by + cxy + dx^2y + exy^2 \qquad v = fc + gy + hxy + ix^2y + jxy^2 \tag{9}$$

Tabelle 1 zeigt die von Shimizu anhand einer Beispielkarte mit 5 Kalibrationspunkten ermittelte Genauigkeit der verschiedenen Verfahren zur Erzeugung von Zeitkarten in Form des Korrelationskoeffizienten zwischen der Zeitentfernung (t_{ij}) und der Raumentfernung (d_{ij}) sowie ihre Auswirkungen auf die Topologie. Hohe Korrelationskoeffizienten sind danach nur bei Verfahren zu erzielen, welche nicht topologieerhaltend sind. Das heißt, topologische Transformationen gehen zu Lasten der Genauigkeit der Abbildungstreue der Zeitentfernungen.

Tabelle 1. Genauigkeit der Methoden zur Erzeugung von Zeitkarten

Verfahren	Korrelations-koeffizient	Topologie
Metrische MDS	0.942	gestört
Affine Transformation	0,771	erhalten
Quadratische Transformation	0,873	erhalten
Kubische Transformation	0,866	erhalten
Projektive Transformation	0,806	erhalten
Polynom-Transformation	0,041	gestört

Quelle: Shimizu, 1992

Ein Anwendungsbeispiel Shimizus zeigt, daß das Verfahren der topologischen Transformation zu eindrucksvollen Ergebnissen führen kann (Abbildung 8). Benutzt wurde für diese Zeitkarten eine kubische Transformationsfunktion.

Die Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Abbildungen liegen zwischen 0,956 und 0,971, d.h. sie sind wesentlich höher als die Werte der Experimentalstudie aus Tabelle 1. Der Ausbau des japanischen Hochgeschwindigkeitsbahnnetzes Shinkansen führt zu einem kontinuierlichen Schrumpfen des gesamten Landes mit der Ausnahme der Insel Hokkaido, welche nicht vollständig vom Shinkansen erschlossen wird.

Eigene Experimente mit den topologischen Transformationsfunktionen (Abbildung 9) zeigen allerdings, daß die topologieerhaltenden Funktionen (oben und Mitte) in manchen Fällen zu stetig sind, das heißt keine signifikanten Verzerrungen gegenüber der Raumkarte zulassen. Die Einbeziehung des Gradnetzes der Erde in die kartographische Darstellung verdeutlicht, daß regionale Verzerrungen durch topologieerhaltende Transformationsfunktionen ausgeblendet werden. Man vergleiche die beiden Darstellungen des französischen Eisenbahnnetzes etwa mit der auf denselben Daten beruhenden Zeitkarte in der Abbildung 16 (unten). Das untere Beispiel zeigt ein extremes Beispiel der Anwendung der nicht topologieerhaltenden Polynom-Transformation.

4 Der eigene Ansatz

Die Ursachen der dargelegten Schwächen der auf der multidimensionalen Skalierung beruhenden Methoden zur Erzeugung von Zeitkarten liegen einerseits in der mangelnden Kontrolle über den Ablauf des MDS-Verfahrens, andererseits in der Unstetigkeit des angewendeten Interpolationsverfahrens. Das von Shimizu vorgeschlagene Verfahren mit topologischen Transformationen vermeidet diese Probleme, führt aber zu einer unerwünschten Unterdrückung lokaler Verzerrungen der Zeit- gegenüber der Raumkarte. Um diese Schwächen zu überwinden, mußten die vorhandenen Methoden deshalb in zweierlei Hinsicht verbessert werden.

4.1 Schrittweise multidimensionale Skalierung (SMDS)

Das in Abschnitt 3.1 beschriebene MDS-Verfahren führt zu einer im Sinne der Zielfunktion optimalen Anordnung der Kalibrationspunkte im zweidimensionalen Zeit-Raum, das heißt zu einer Anordnung, bei der die Abstände der Kalibrationspunkte in der Ergebniskarte möglichst proportional zu den Reisezeiten zwischen ihnen sind. Allerdings ist das Ergebnis nicht immer eindeutig; selbst wenn man Transformationen wie Rotation oder Spiegelung außer acht läßt, gibt es in der Regel zahlreiche Anordnungen der Kalibrationspunkte, welche die Zielfunktion ebenso gut oder nur geringfügig schlechter erfüllen als die vom MDS-Verfahren gefundene Lösung.

Die nahezu gleich guten Lösungen unterscheiden sich jedoch häufig gravierend im resultierenden Kartenbild. Wie im Abschnitt 3.2 gezeigt wurde, ergeben sich zum Teil erhebliche Störungen der Topologie in Form von Verwerfungen oder Faltungen der Kartenoberfläche. Bei derartigen Verwerfungen ist zwischen zwei Arten von Topologieveränderungen zu unterscheiden:

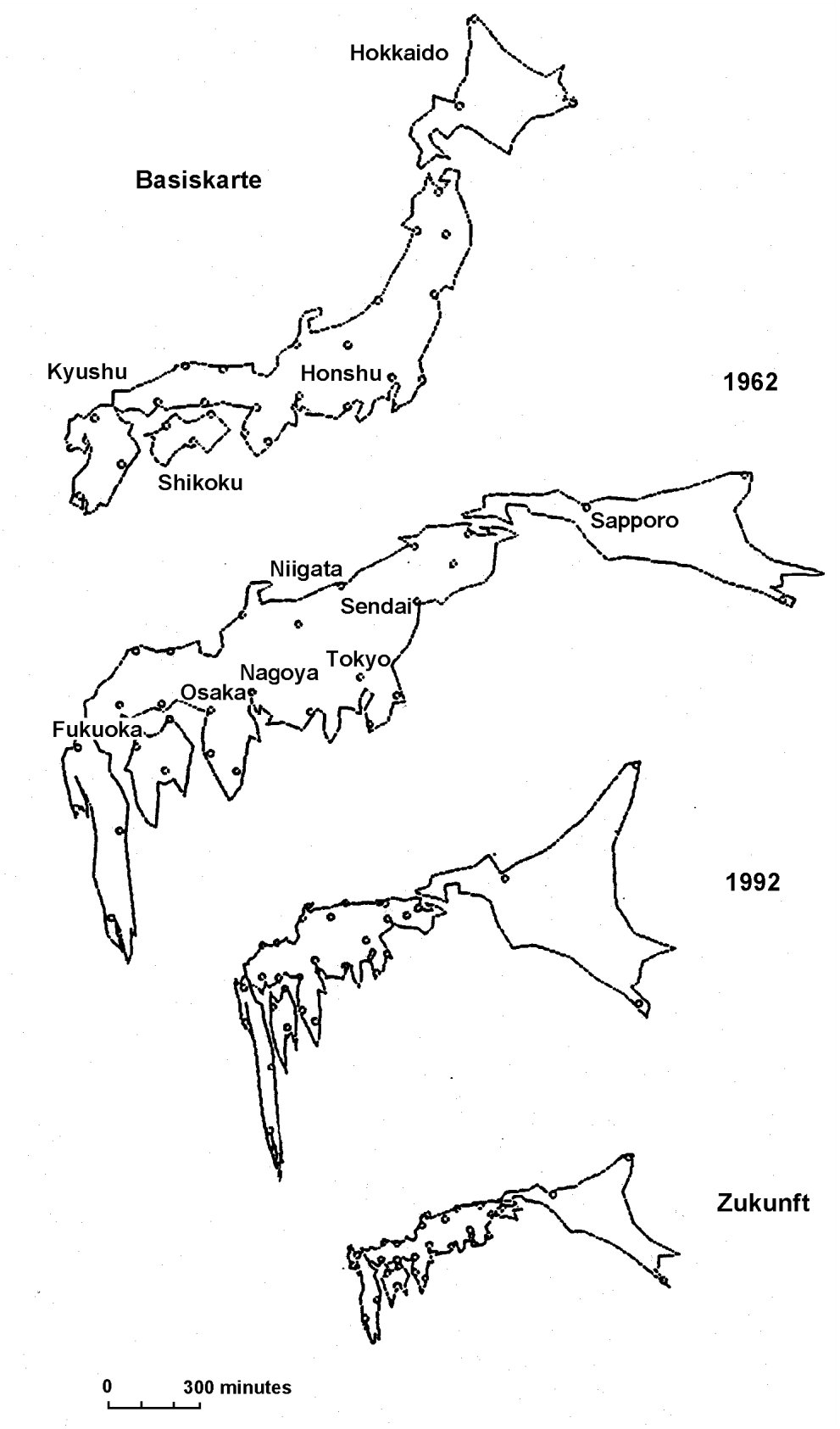


Abbildung 8. Der Ausbau des japanischen Hochgeschwindigkeitsbahnnetzes Shinkansen führt zu einem enormen Schrumpfen des Landes in den durch topologische Transformation erzeugten Zeitkarten (Quelle: Shimizu, 1992).

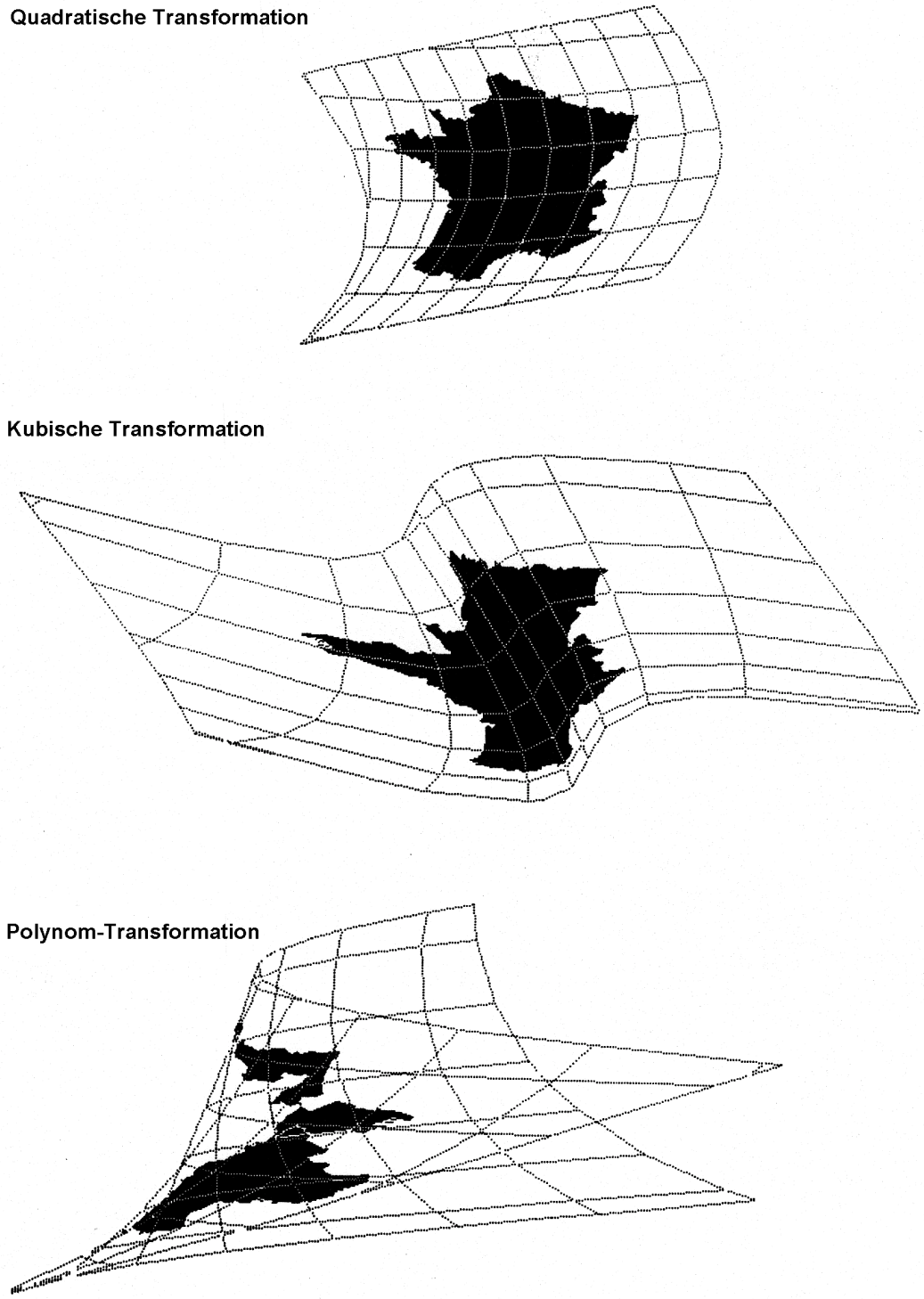


Abbildung 9. Topologische Transformationen wie die quadratische Transformation (oben) und kubische Transformation (Mitte) führen zur Abschwächung lokaler Verzerrungen in Zeitkarten, nicht-topologische Transformationen wie die Polynom-Transformation (unten) zu Topologiestörungen.

- 'Echte' Topologieveränderungen können auftreten, wenn das Verkehrsnetz zwischen den Kalibrationspunkten starke Geschwindigkeitsunterschiede aufweist. Zum Beispiel kann eine TGV-Verbindung eine entfernte Stadt zeitlich näher bringen als räumlich nähere, aber nur mit langsamen Zügen erreichbare Vororte.

- 'Falsche' Topologieveränderungen sind Artefakte des MDS-Verfahrens oder der nachgeschalteten Interpolation. Sie treten insbesondere dann auf, wenn langsame und schnelle Netzelemente aneinanderstoßen. Ein Beispiel sind die relativ langsamen Fährverbindungen zwischen Irland und Wales. Da sie in der Zeitkarte länger dargestellt werden müssen als in der Raumkarte, versucht das MDS-Verfahren, ihre Endpunkte – zum Beispiel Dublin und Holyhead – nach beiden Seiten zu verschieben. Hierdurch rückt Holyhead nach Osten und liegt so mitten in England oder möglicherweise sogar in der Nordsee, so daß die englische Ostküste zur Westküste wird. Es würde jedoch den Erwartungen des kontinentaleuropäischen Betrachters eher entsprechen, wenn Irland nach Westen, als daß England nach Osten 'wandert'.

Die 'echten' Topologieveränderungen sind inhaltlich von potentiellem Interesse. Allerdings wirken sie störend, wenn das Hauptinteresse in der Zeitkarte auf die Veränderungen der großräumigen Erreichbarkeitsverhältnisse gerichtet ist. In diesem Falle ist es jedoch einfach, nicht gewünschte Topologiestörungen durch Eliminierung der langsameren Alternativrouten zu beseitigen. Die Vermeidung der 'falschen' Topologieveränderungen ist weniger einfach, da der dem MDS-Verfahren zugrundeliegende Optimierungsalgorithmus (etwa nach dem Newton-Raphson-Verfahren) nicht beeinflußt werden kann und somit keine Gewähr für die Vermeidung lokaler Optima bietet. Im Falle der Fährlinien über die Irische See etwa gibt es keine Möglichkeit, festzulegen, daß die notwendige Verlängerung der Fährstrecke nur nach Westen erfolgen darf.

Die hier gefundene Lösung dieses Problems liegt darin, das MDS-Verfahren *schrittweise* nacheinander auf ringförmige Ausschnitte des Kalibrationsnetzes anzuwenden und in jeder folgenden Anwendung die in der vorangegangenen Anwendung lokalisierten Kalibrationspunkte festzuhalten.

Hierzu wird unter den Kalibrationspunkten ein Ausgangspunkt ausgewählt, dessen Lage unverändert bleiben soll. In der Regel handelt es sich um einen Punkt im Zentrum des Kalibrationsnetzes. In der ersten Runde des MDS-Verfahren werden nur der Ausgangspunkt und solche Knoten des Kalibrationsnetzes behandelt, die mit diesem unmittelbar verbunden sind, sowie deren Verbindungen untereinander. Die im ersten Durchlauf des MDS-Verfahrens ermittelten neuen Koordinaten dieser Punkte werden fixiert und von da ab nicht mehr verändert.

In der zweiten Runde wird das MDS-Verfahren auf alle Knoten des Kalibrationsnetzes, die mit den bisher festgelegten Knoten direkt verbunden sind, sowie auf deren Verbindungen untereinander angewandt. Dabei werden die Ausgangskoordinaten aller neu erfaßten Knoten vor Eingabe in das MDS-Verfahren so modifiziert, daß ihre Richtung vom letzten bereits fixierten Knoten, mit denen sie verbunden sind, so ist wie im ursprünglichen Kalibrationsnetz, und ihr Abstand von diesem Knoten der Zeitdistanz zu ihm entspricht. Hierdurch werden die An-

fangswerte der neuen Runde des MDS-Verfahrens so gewählt, daß bei der Ausdehnung des Netzes die Richtungen der Anschlußstrecken soweit als möglich erhalten bleiben und 'falsche' Topologieveränderungen weitgehend vermieden werden. Auch diese Knoten werden dauerhaft fixiert.

In den nachfolgenden Runden wird genauso verfahren, bis alle Knoten des Kalibrationsnetzes fixiert sind. Auf diese Weise wird das Kalibrationsnetz, ausgehend vom Ausgangsknoten, ringförmig abgearbeitet. Der Nutzen des schrittweisen Vorgehens liegt darin, daß durch die Wahl des Ausgangsknotens entschieden werden kann, welcher Bereich der Karte fixiert bleiben soll, und in welche Richtung die notwendigen Verzerrungen erfolgen sollen. Hierdurch kann eine Vielzahl 'falscher' Topologieveränderungen vermieden werden. Abbildung 10 zeigt die schrittweise Abarbeitung der Knoten eines Kalibrationsnetzes in ringförmigen Zonen am Beispiel des Kalibrationsnetzes für Westeuropa. Der Ausgangsknoten ist hier Paris (Knoten 10). Abbildung 11 zeigt das Kalibrationsnetz in Raumkoordinaten (schwarz) und Zeitkoordinaten (weiß).

Wie weiter unten (Abschnitt 5.1) gezeigt werden wird, ist das Ergebnis dieses Verfahrens eine weitaus anschaulichere und verständlichere Darstellung des durch den Übergang in die Zeitdimension verzerrten Kartenbildes. Allerdings garantiert das schrittweise MDS-Verfahren nicht, daß die mit ihm erzeugten Karten keine 'echten' Topologieveränderungen enthalten. Es ist dann Sache des Kartenbearbeiters, zu entscheiden, ob er die Topologieveränderung sichtbar machen oder durch Herausnehmen einzelner Zeitrelationen aus dem MDS-Verfahren unterdrücken will.

Ein Nachteil der schrittweisen multidimensionalen Skalierung ist allerdings, daß die Optimierung sich nicht auf das Gesamtnetz, sondern auf mehrere (ringförmige) Teilnetze erstreckt. Es ist also damit zu rechnen, daß die Abweichung des Gesamtnetzes vom theoretischen Optimum der idealen Zeitkarte größer sind als im Falle des unmodifizierten MDS-Verfahrens, wie es im Abschnitt 3.1 beschrieben wurde. Es zeigt sich jedoch, daß der Preis für den Gewinn an Anschaulichkeit und Verständlichkeit der resultierenden Zeitkarte gering ist. Die Korrelationskoeffizienten für die mit dem modifizierten Verfahren erzeugten Zeitkarten von Westeuropa liegen zwischen 0,938 und 0,994 und sind damit in derselben Größenordnung wie beim unmodifizierten Verfahren und bedeutend höher als die mit den topologischen Transformationen erzielten Korrelationen (vgl. Tabelle 1).

4.2 Interpolation mit Triangulation

Die zweite Ursache für die zum Teil willkürlichen Sprünge der Küstenlinien, Landesgrenzen und Gradnetze der im Abschnitt 3.2 gezeigten Zeitkarten sind Unstetigkeiten in dem verwendeten Interpolationsverfahren. Bei den bisher verwendeten Interpolationsverfahren wurde die Verschiebung der Stützpunkte der linienhaften Kartenelemente beim Übergang von Raum- in Zeitkoordinaten durch gewichtete Mittelwertbildung aus den Verschiebevektoren (Offsets) der nächstgelegenen Kalibrationspunkte bestimmt. Dabei entstehen beim Wechsel zu einem anderen Kalibrationspunkt vielfach abrupte Sprünge in den Linien.

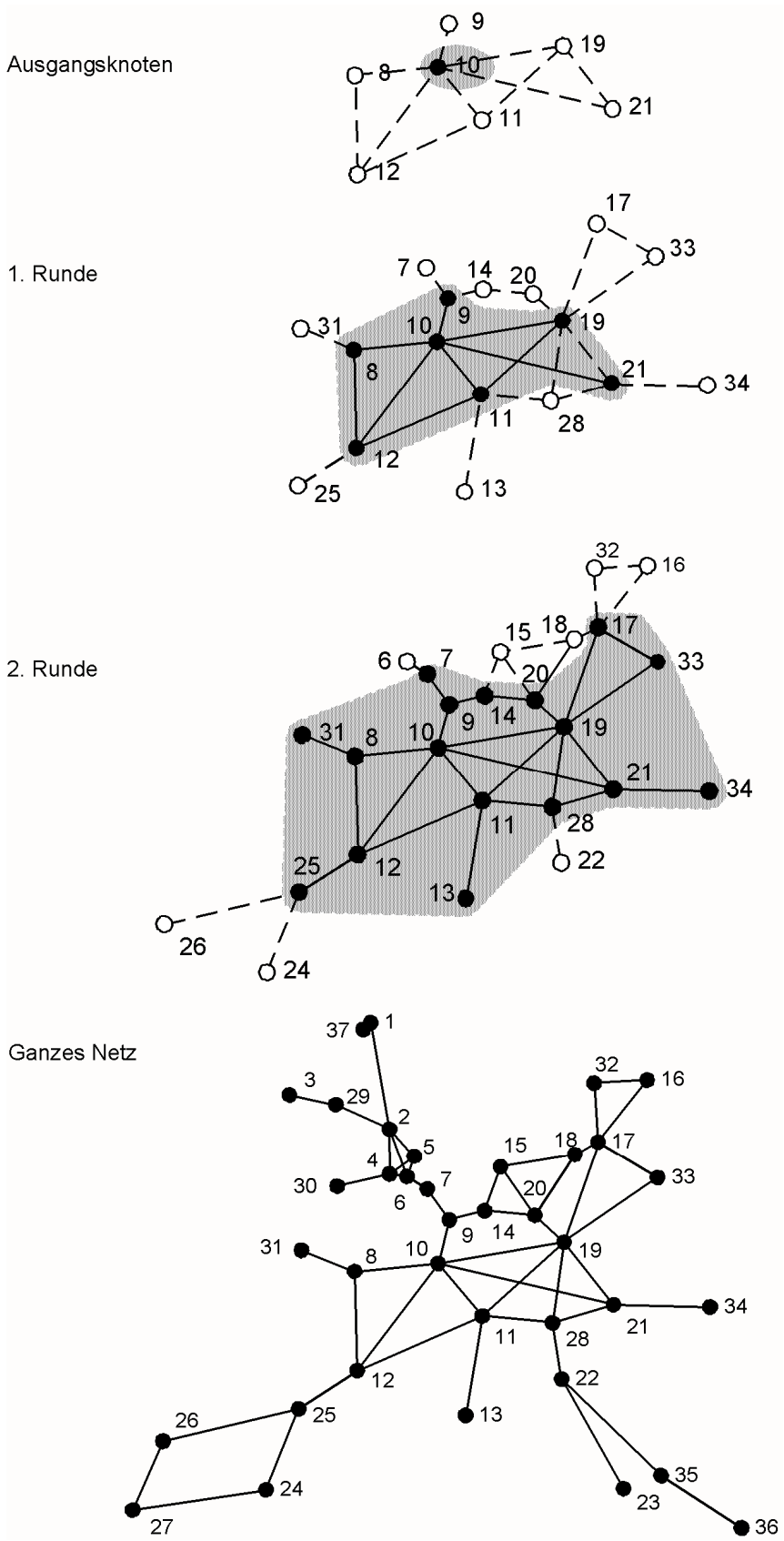


Abbildung 10. Bei der schrittweisen multidimensionalen Skalierung werden die Knoten des Kalbirationsnetzes, ausgehend von einem Ausgangsknoten, ringförmig nacheinander festgelegt.

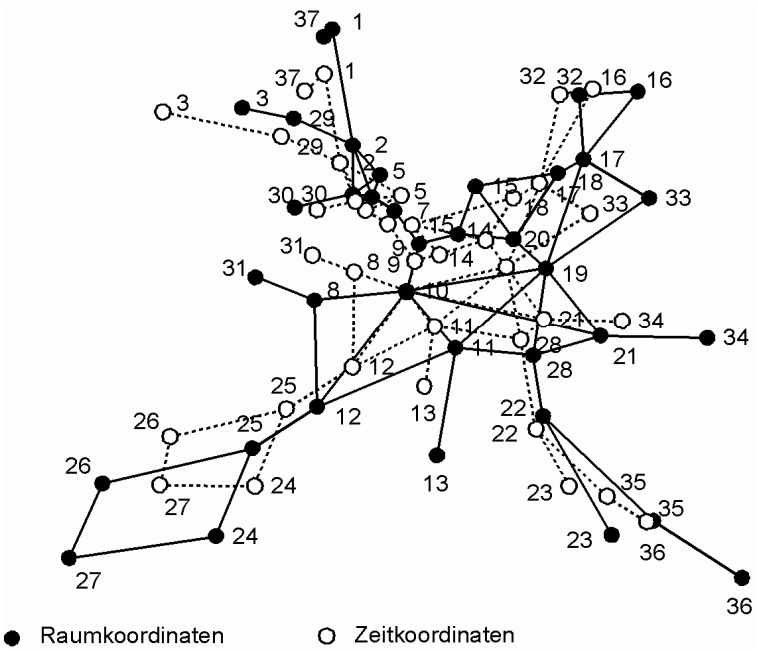


Abbildung 11. Das Ergebnis der multidimensionalen Skalierung ist das Kalibrationsnetz in Zeitkoordinaten (weiß), hier überlagert mit dem Ausgangsnetz in Raumkoordinaten (schwarz).

Dieser Nachteil wird in dem hier entwickelten Interpolationsverfahren vermieden. Es beruht auf dem bei digitalen Geländemodellierungen verwendeten Verfahren der Interpolation zwischen unregelmäßig verteilten Höhenmeßpunkten mit Hilfe der Triangulation. Eine Triangulation einer Punktmenge ist das Dreiecksgitter mit den Punkten als Ecken und minimaler Gesamtkantenlänge. Bei der digitalen Geländemodellierung dient die Triangulation zur Interpolation der Geländehöhen zwischen den Meßpunkten mit dem Ziel der Darstellung von Höhenlinien. Analog dazu dient die Triangulation hier zur Interpolation zwischen den Offsets der Kalibrationspunkte für beliebige Punkte in den Dreiecken.

Für die Triangulation der Kalibrationspunkte wird ACM-Algorithmus 626 (Preusser, 1984) verwendet. Der Algorithmus beginnt mit der Sortierung der Luftlinienentfernungen zwischen den Kalibrationspunkten nach aufsteigender Entfernung. Aus den sortierten potentiellen Dreieckskanten wird das Dreieksgitter mit minimaler Gesamtkantenlänge und den Kalibrationspunkten als Eckpunkten zusammengefügt. In einem weiteren Schritt werden für die Eckpunkte jedes Dreiecks die Verschiebevektoren (Offsets) der Eckpunkte beim Übergang von Raum- in Zeitkoordinaten, das heißt die Differenzen zwischen Raum- und Zeitkoordinaten in X- und Y-Richtung, ermittelt. Abbildung 12 zeigt die Triangulation der Kalibrationspunkte für Westeuropa. Um den gesamten Kartenausschnitt abzudeken, werden die vier Eckpunkte der Karte sowie die Halbierungspunkte der Kartenseiten wie Triangulationspunkte behandelt. Diese Punkte erhalten fiktive Verschiebevektoren als Mittelwerte aus den Kalibrationspunkten der angrenzenden Dreiecke.

Abbildung 12. Die Triangulation dient zur Interpolation der nicht zum Kalibrationsnetz gehörenden Kartenelemente durch Mittelwertbildung aus den Offsets der Dreieckspunkte.

Da die Triangulation den Kartenausschnitt lückenlos überdeckt, kann jeder Kartenpunkt, das heißt jeder Punkt der Küstenlinien und Landesgrenzen und des Gradnetzes der Meridiane und Breitenkreise einem Dreieck zugeordnet werden. Da für jedes Dreieck die Offsets der Eckpunkte beim Übergang von Raum- und Zeitkoordinaten bekannt sind, ist es möglich, für jeden Kartenpunkt die richtigen Offsets als Mittelwerte zwischen den Offsets der Dreieckseckpunkte zu berechnen. Wenn man die X- und Y-Offsets der Eckpunkte analog zur Verwendung der Triangulation bei der digitalen Geländemodellierung als 'Höhen' betrachtet, besteht die Interpolation der Offsets eines Kartenpunkts in der Berechnung der Schnittpunkte einer Senkrechten über dem Kartenpunkt mit den so gebildeten 'geneigten' Dreiecksflächen. Dieses Verfahren schließt Unstetigkeiten und abrupte Sprünge in den Linien aus.

Abbildung 13 zeigt das Ergebnis der Interpolation der Offsets für die Küstenlinien und Landesgrenzen in Westeuropa (oben) und der Kreuzungspunkte des dazugehörigen Gradnetzes von Meridianen und Breitenkreisen (unten). Man sieht, wie infolge des Ausbaus der Verkehrssysteme auf dem Lande die Zeitentfernungen in den meisten Regionen in Westeuropa abnehmen, während das nur über langsame Fährverbindungen erreichbare Irland relativ weiter entfernt wird. Die Offsets der beiden Abbildungen lassen bereits die zeitliche Schrumpfung des Kontinents und die Peripheralisierung Irlands in den nachfolgenden Zeitkarten (Abschnitt 5.1) vorausahnen.

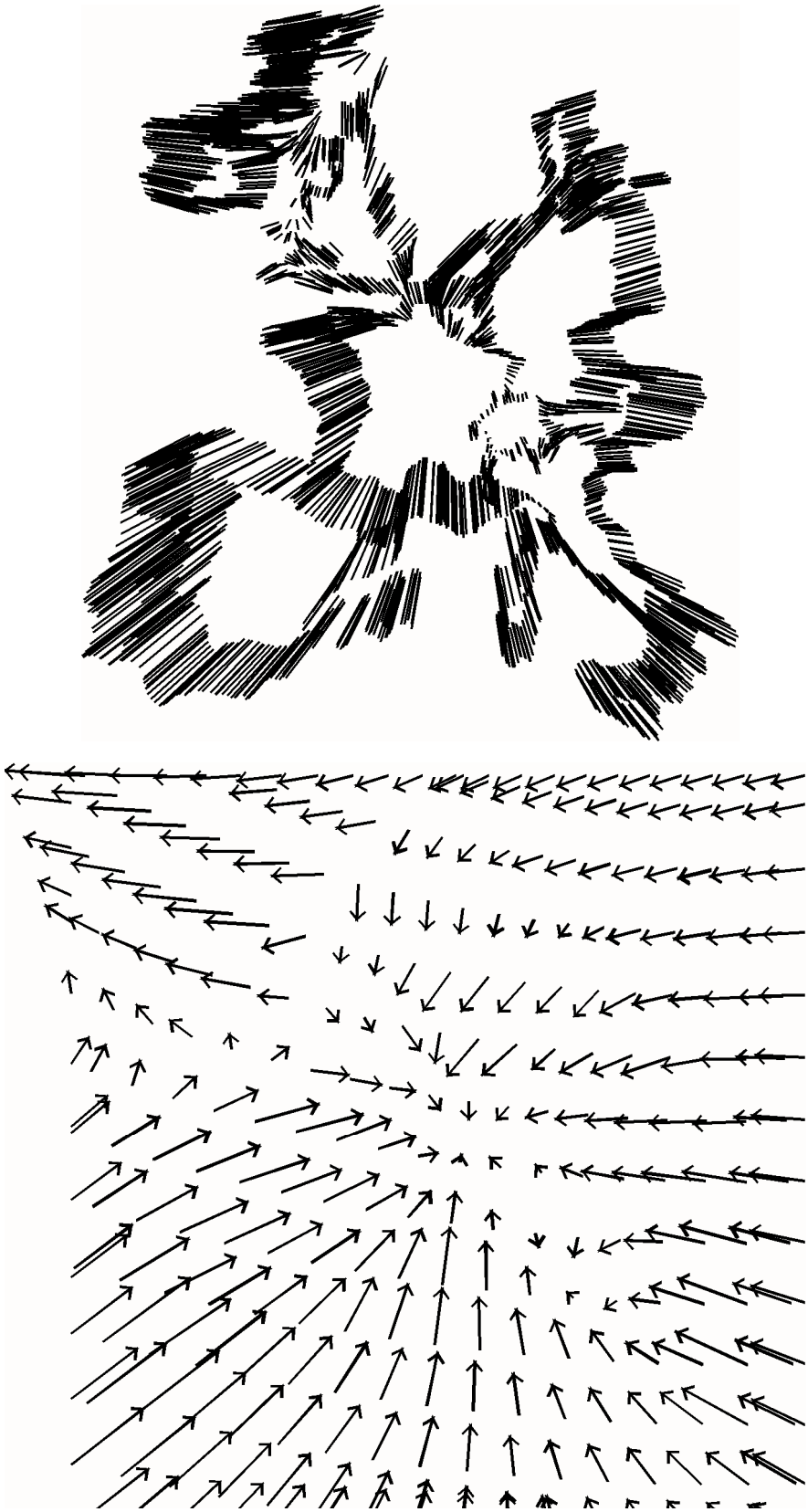


Abbildung 13. Die Interpolation der Offsets der Küsten und Grenzen (oben) und Meridiane und Breitenkreise (unten) läßt die zeitliche Schrumpfung Westeuropas und die Peripheralisierung Irlands in den nachfolgenden Zeitkarten ahnen.

5 Ergebnisse

Die nächsten acht Abbildungen zeigen die Anwendung der im Abschnitt 4 beschriebenen Methode zur Erzeugung von Zeitkarten an drei Beispielen: Westeuropa, Frankreich und Deutschland.

5.1 Westeuropa

Die Abbildungen 14, 15 und 16 illustrieren die Auswirkungen von Ausbaumaßnahmen im Straßen- und Eisenbahnnetz auf die Raum-Zeit-Struktur in Westeuropa. Beide Netze wurden auf das in Abbildung 14 (oben) dargestellte stark abstrahierte Basisnetz des Fernverkehrs reduziert. Für dieses Basisnetz wurden Reisezeitdaten für unterschiedliche Ausbaustufen der Fernverkehrsnetze ermittelt bzw. aufgrund von Modellberechnungen für die Zukunft geschätzt (ACT Consultants u.a., 1992; Fayman u.a., 1992). Hier werden die folgenden vier Ausbauvarianten dargestellt:

- *Straßennetz 1991:* Das Straßennetz des Jahres 1991 ist durch die wichtigsten Autobahn- und Fährverbindungen abgebildet.
- *Straßennetz 2010:* Die Neubaumaßnahmen im westeuropäischen Straßennetz bestehen hauptsächlich aus neuen Autobahnprojekten in Frankreich. Die wichtigste Änderung ist hier die Eröffnung des Tunnels unter dem Ärmelkanal in Verbindung mit der Küstenautobahn entlang der holländischen, belgischen und französischen Kanalküste.
- *Schienennetz 1991:* Im Jahre 1991 enthielt das europäische Ferneisenbahnnetz nur eine Schnellverkehrsstrecke, den TGV zwischen Paris und Lyon.
- *Schienennetz 2010:* Das Schienennetz für das Jahr 2010 enthält die seit 1991 in Betrieb genommenen Schnellverkehrsstrecken des TGV Atlantique in Frankreich und des ICE Hamburg-München in Deutschland. Außerdem wurden der Ausbau weiterer Schienenschnellverkehrsstreken wie zum Beispiel des TGV Nord, des TGV Mediterrané und des TGV Est und der ICE-Neubaustrecken Köln-Frankfurt und Berlin-Hamburg in Deutschland sowie der Anschluß Spaniens und Italiens an das europäische Schienenschnellverkehrsnetz unterstellt. Die vielleicht wichtigsten Änderungen im europäischen Schienennetz stellen die Eröffnung des Kanaltunnels im Jahre 1993 und die durch ihn ermöglichten durchgehenden Schnellverkehrsverbindungen von Paris nach Brüssel und London und weiter bis Schottland dar.

Die raumzeitlichen Auswirkungen dieser vier Ausbauvarianten der Verkehrsinfrastruktur in Westeuropa sind in den Abbildungen 15 und 16 wiedergegeben. Zum Vergleich enthält Abbildung 14 (unten) das 'gewohnte' unverzerrte Kartenbild Westeuropas in Raumkoordinaten einer perpektivischen stereographischen Projektion nach Miller. Als Zeitkarte interpretiert entspricht diese Basiskarte einer Luftliniengeschwindigkeit zwischen den Kalibrationspunkten von 60 km/h. Die Basiskarte hat damit denselben Zeitmaßstab wie die nachfolgenden vier Zeitkarten.

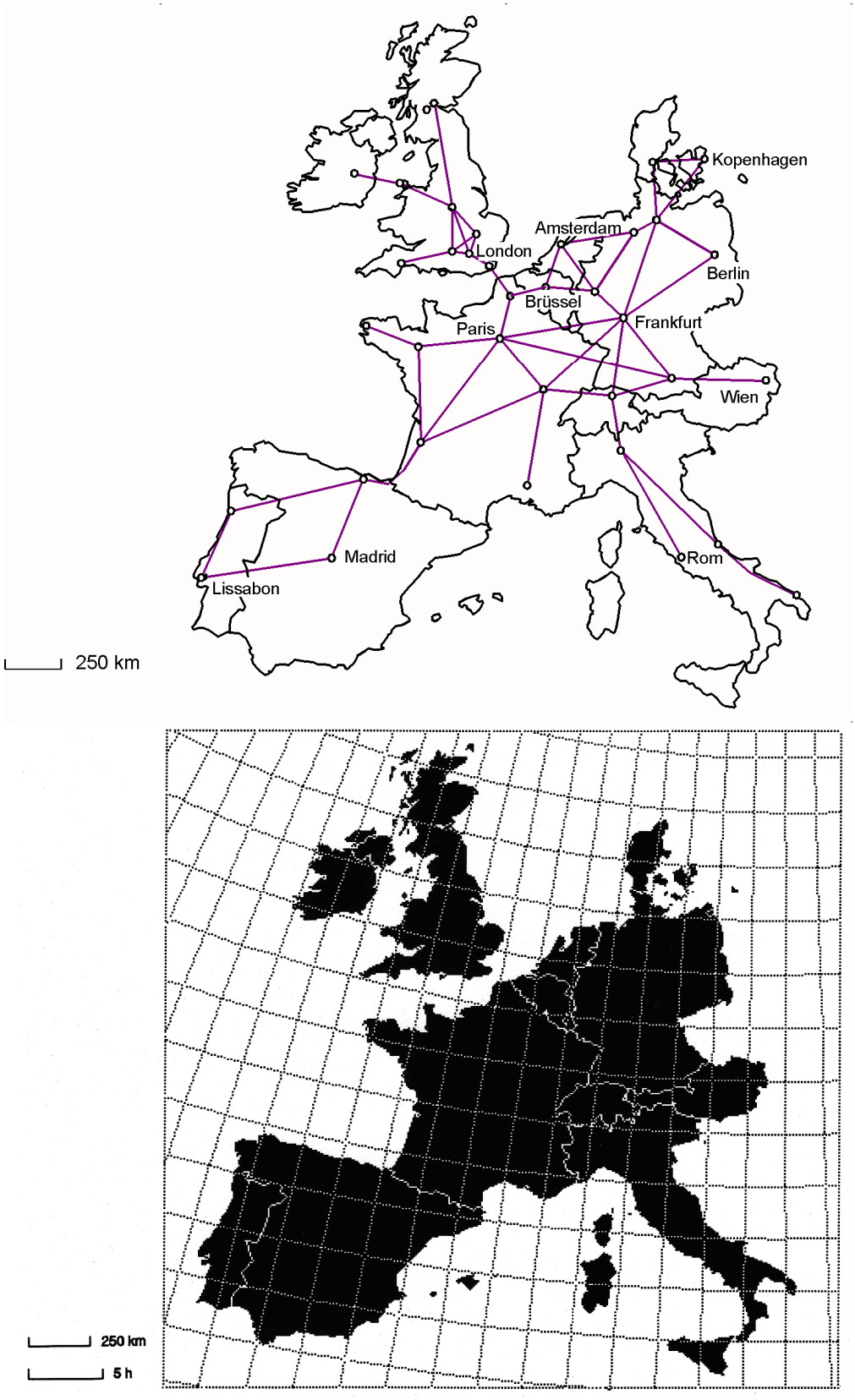


Abbildung 14. Das Straßen- und Schienennetz Westeuropas wurde auf ein abstrahiertes Basisnetz reduziert (oben). Bei Annahme gleicher Geschwindigkeiten entsteht das 'gewohnte' Kartenbild der Basiskarte (unten).

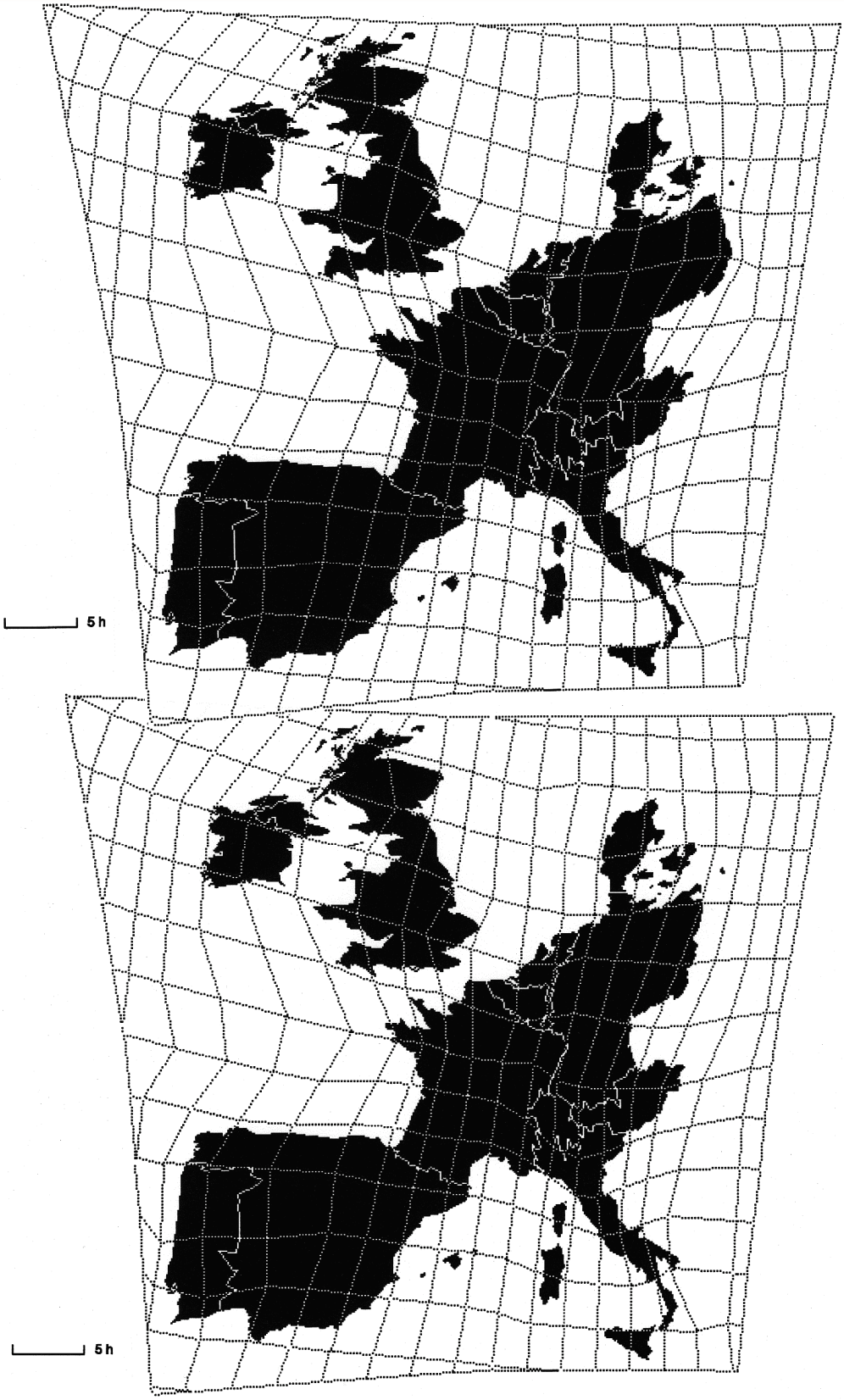


Abbildung 15. Das Straßennetz für 1991 (oben) ergibt nur geringe Verzerrungen gegenüber der Basiskarte. Die periphere Lage der britischen Inseln wird durch den Kanaltunnel kaum verbessert (unten).

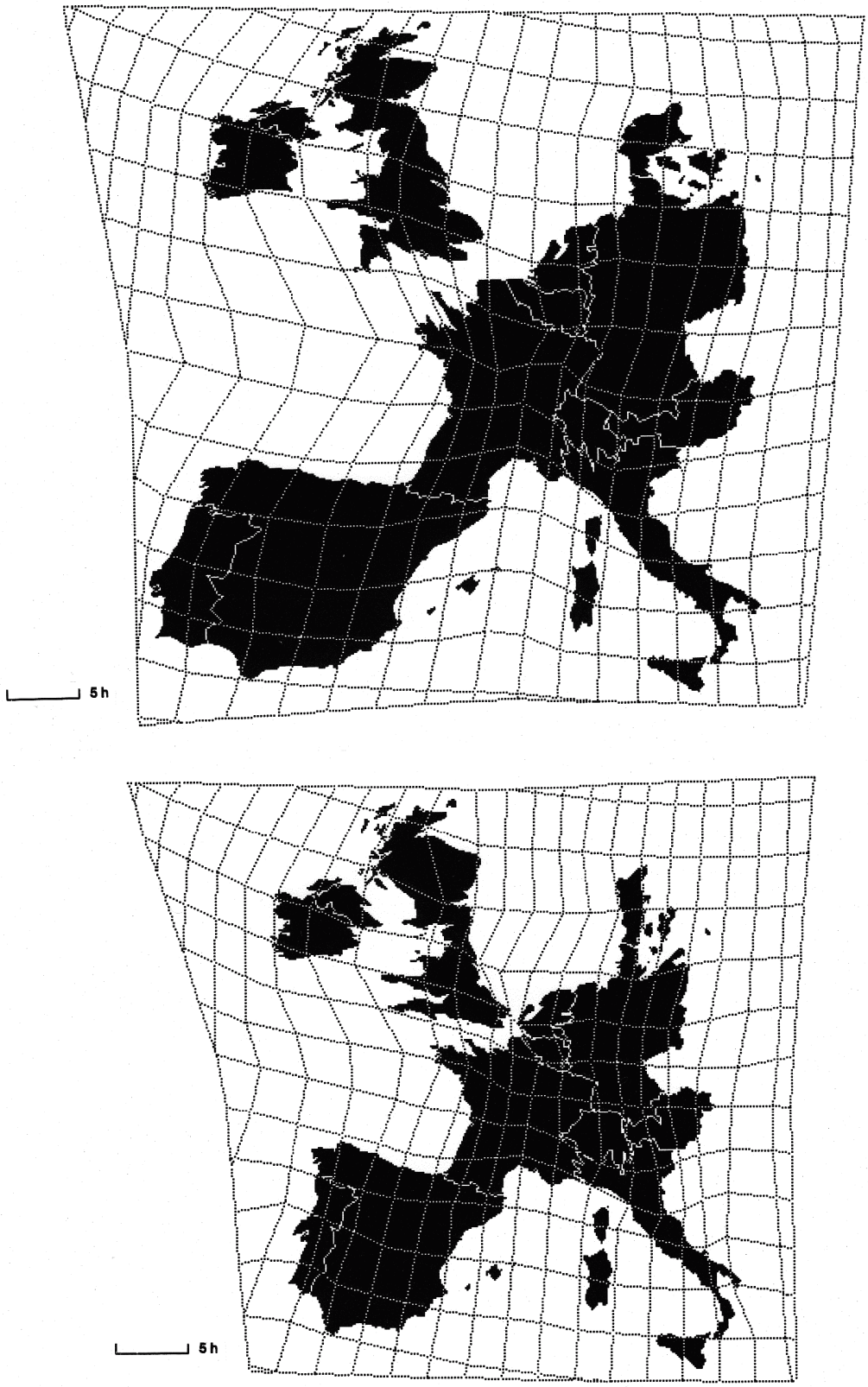


Abbildung 16. Schon der erste TGV veränderte die Raum-Zeit-Struktur Westeuropas (oben). Mit Vollendung des Hochgeschwindigkeitseisenbahnnetzes schrumpft der ganze Kontinent (unten).

Die auf den Reisezeiten im Straßenverkehr beruhenden Zeitkarten (Abbildung 15) zeigen gegenüber der Basiskarte (Abbildung 14 unten) nur eine geringe Verzerrung. Vor allem in seinem dicht besiedelten und gut erschlossenen Kern ist der Kontinent deutlich geschrumpft, vor allem in Ost-West-Richtung: Frankfurt, München und Wien liegen zeitlich 'näher' zu Brüssel, Paris und Lyon, als es ihrer geographischen Lage entspricht. Die iberische Halbinsel erscheint dagegen erheblich größer als in der Raumkarte, weil ihr Straßennetz im Vergleich zum übrigen Westeuropa noch wenig ausgebildet ist. Großbritannien und Irland werden durch ihre langsamen Fährverbindungen zum Kontinent in der Zeitkarte weit nach Nordwesten hinausgeschoben.

Der Unterschied zwischen den auf den Reisezeiten im Straßenverkehr beruhenden Zeitkarten ist nicht sehr groß. Das steht im Einklang mit den relativ marginalen Änderungen des Autobahnnetzes im Zeitraum bis 2010. Frankreich und die neuen Bundesländer schrumpfen am meisten, weil hier die meisten neuen Autobahnprojekte angenommen wurden. Auffallend ist, daß die Eröffnung des Kanaltunnels die britischen Inseln für den Autofahrer nur geringfügig näher bringt. Das liegt daran, daß durch das Einladen der Fahrzeuge auf die durch den Tunnel fahrenden Pendelzüge der Zeitgewinn einer Fahrt durch den Tunnel gegenüber den bisherigen Fährverbindungen für Autofahrer nur gering ist.

Abbildung 16 zeigt, daß die Veränderungen der Raumzeitstruktur in Westeuropa durch Ausbaumaßnahmen des Eisenbahnnetzes viel stärker sind. Bereits im Jahre 1991 (Abbildung 16 oben) war Frankreich durch den TGV zwischen Paris und Lyon in einer Hauptachse kontrahiert, während Spanien und Portugal stark vergrößert und Großbritannien und Irland an die Peripherie abgedrängt sind. Die volle 'raumfressende' Wirkung der Hochgeschwindigkeitsbahn zeigt sich jedoch erst nach Vollendung des Schienenschnellverkehrsnetzes (Abbildung 16 unten): Der Kontinent ist auf fast die Hälfte seiner ursprünglichen zeitlichen Ausdehnung geschrumpft. Besonders auffällig ist daß Südengland mit London durch die Direktverbindungen durch den Kanaltunnel näher an das Festland gezogen wird, während der Norden Schottlands und Irland weiterhin peripher bleiben. Es ist gut zu erkennen, daß die Alpen bis zur Fertigstellung der geplanten Basistunnel auch im nächsten Jahrhundert noch eine deutliche Barriere in Europa bilden werden.

5.2 Frankreich

Die nächsten beiden Abbildungen 17 und 18 zeigen verschiedene Ausbaustufen des TGV-Netzes in Frankreich. Abbildung 17 (oben) ist die unverzerrte Basiskarte in einer Kegelprojektion mit dem Kartennullpunkt auf 10º östlicher Länge und 52º nördlicher Breite (Mantyk u.a., 1992). Auch hier wurden Luftliniengeschwindigkeiten von 60 km/h zugrundegelegt. Der untere Teil der Abbildung zeigt die Zeitkarte der Reisezeiten von und nach Paris im Winter 1988/89 (SNCF, 1991) im selben Zeitmaßstab. Man sieht die Einschnürung des 'Hexagons' entlang der damals einzigen TGV-Streke Paris-Lyon. Der Größenunterschied zur 60-km/h-Basiskarte im oberen Teil der Abbildung macht deutlich, daß in Frankreich auch im normalen Eisenbahnnetz erheblich größere Durchschnittsgeschwindigkeiten als 60 km/h erreicht wurden.

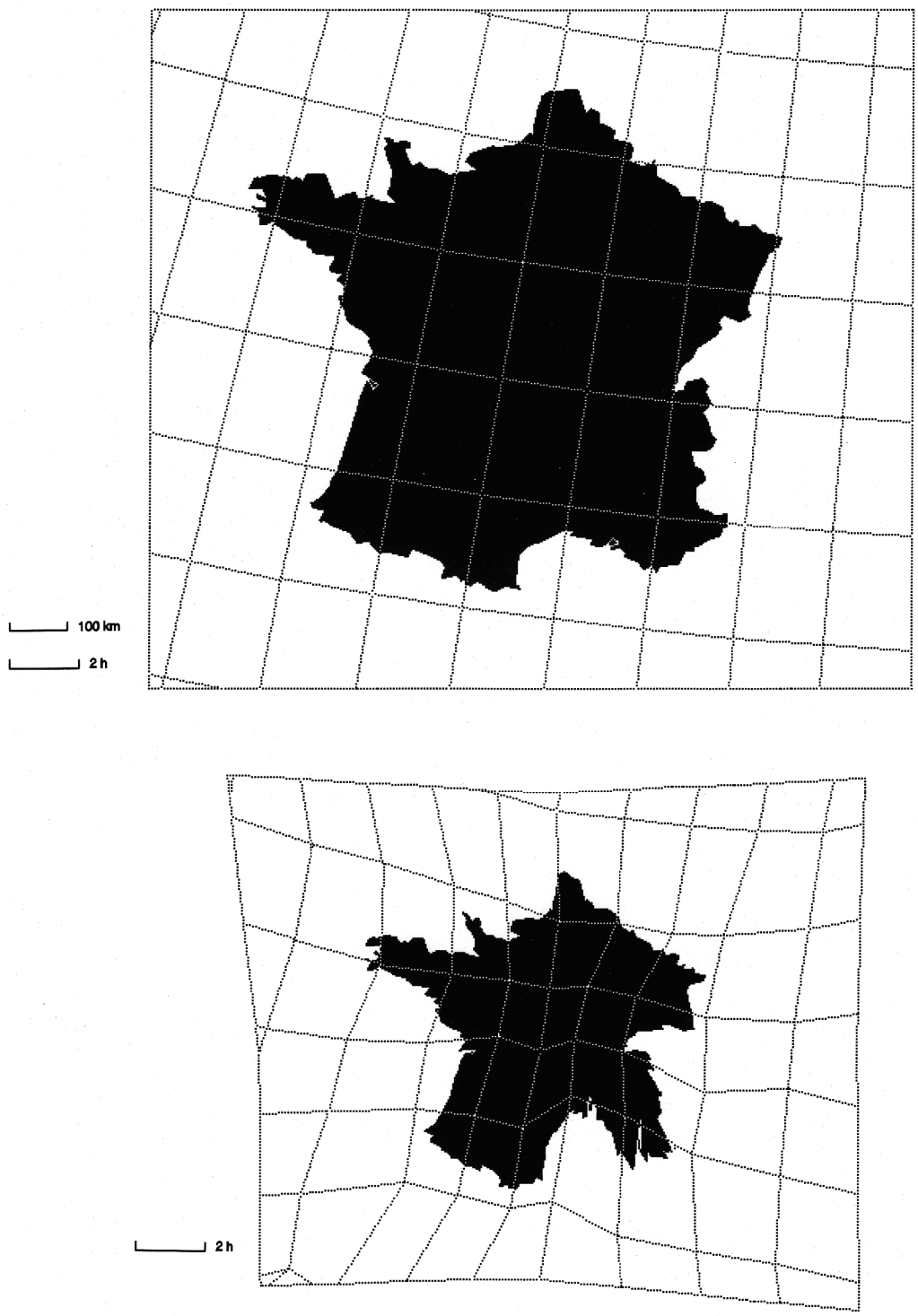


Abbildung 77. Die Zeitkarte des französischen Eisenbahnnetzes für 1988/89 (unten) zeigt den Einfluß des TGV Paris-Lyon und die hohe Netzgeschwindigkeit gegenüber der 60-km/h-Basiskarte (oben).

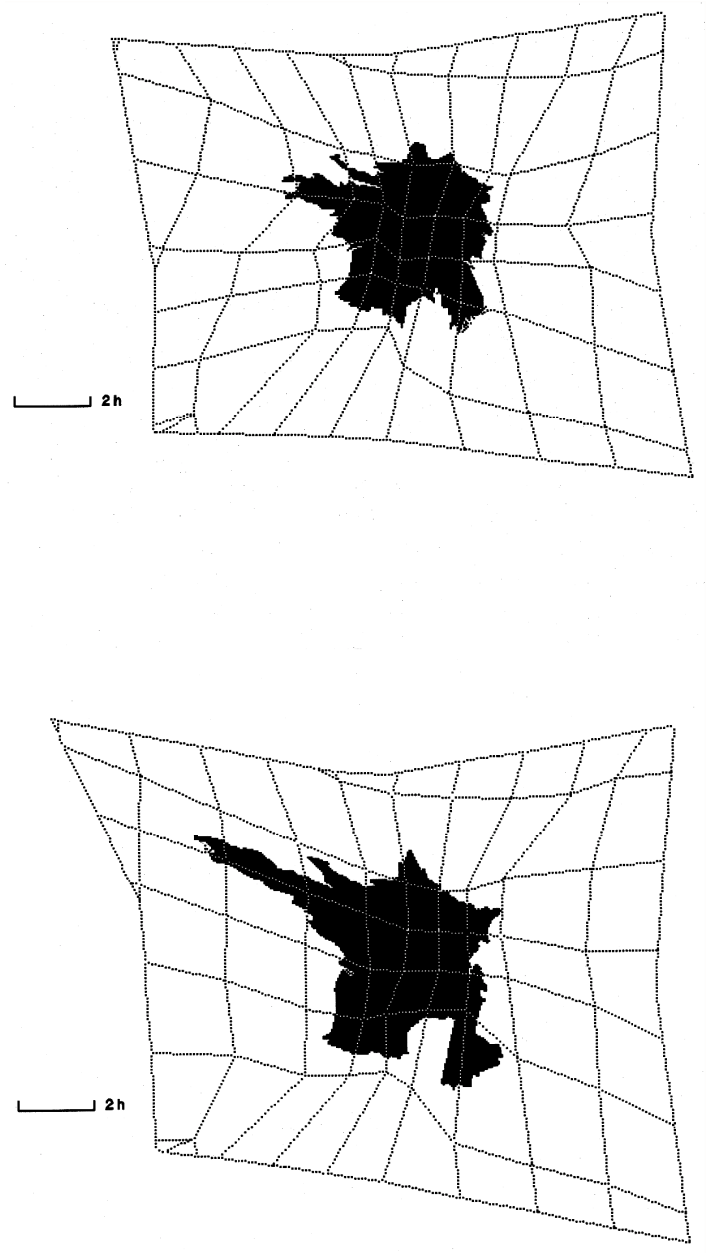


Abbildung 18. Nach Vollendung des TGV-Leitplans werden alle Großstädte in Frankreich in weniger als drei Stunden mit Paris (oben) und weniger als fünf Stunden untereinander (unten) verbunden sein.

Bei Verwirklichung des Leitplans für den Ausbau des Hochgeschwindigkeitseisenbahnnetzes in Frankreich (SNCF, 1991) ist die zeitliche Schrumpfung des Landes noch dramatischer (Abbildung 18 oben). Der Leitplan umfaßt ca. 4.700 km neue Hochgeschwindigkeitsstrecken, von denen zur Zeit 700 km in Betrieb sind. Nach Verwirklichung des Leitplans werden alle regionalen Großstädte in Frankreich von Paris aus in weniger als drei Stunden und die Grenzen in weniger als vier Stunden erreichbar sein. London, Amsterdam, Köln, Frankfurt, München, Zürich, Mailand und Barcelona können tagsüber in weniger als viereinhalb Stunden erreicht werden (SNCF, 1991).

Bemerkenswert ist, daß das ursprünglich überwiegend auf Paris ausgerichtete TGV-Netz durch die zukünftige Ost- und Südumfahrung des Großraums Paris und die TGV Rhin-Rhone (Mulhouse-Lyon) und Grand Sud (Bordeaux-Narbonne) auch schnelle Diagonalverbindungen zwischen regionalen Zentren erlauben wird. Abbildung 18 (unten) zeigt eine Zeitkarte auf der Basis von 28 derartigen Verbindungen unter Ausschluß der Verbindungen nach Paris. Bis auf die Bretagne und den äußersten Südosten Frankreichs werden alle regionalen Zentren Frankreichs untereinander in weniger als fünf Stunden verbunden sein, was dazu beitragen könnte, das Bedeutungsübergewicht der Hauptstadt tendenziell abzubauen.

Ein Vergleich der beiden Karten Frankreichs in Abbildung 18 oder der Vergleich der drei Zeitkarten Frankreichs mit dem Umriß Frankreichs innerhalb Westeuropas in den Abbildungen 14 bis 16 zeigt, wie stark das Erscheinungsbild von Zeitkarten von dem zugrundegelegten Kalibrationsnetz abhängt.

5.3 Deutschland

Abschließend werden in den Abbildungen 19 bis 21 das Kalibrationsnetz, die Triangulation, die Raumkarte und drei Zeitkarten des Eisenbahnnetzes von Deutschland gezeigt. Im Gegensatz zu den Zeitkarten von Westeuropa in den Abbildungen 14 bis 16 sind hier auch die Verbindungen nach weiteren wichtigen Städten Ostdeutschlands außer Berlin und die Ausbaumaßnahmen der 'Verkehrsprojekte Deutsche Einheit' berücksichtigt. Ausgangsknoten der schrittweisen multidimensionalen Skalierung dieser Karten (vgl. Abschnitt 4.1) ist Frankfurt.

Abbildung 19 (oben) zeigt das Basisnetz der wichtigsten IC- und ICE-Linien mit ihren Anschlußverbindungen ins benachbarte Ausland. Der untere Teil der Abbildung zeigt die Triangulation der dabei verwendeten Kalibrationspunkte. Abbildung 20 (oben) ist die unverzerrte Basiskarte in derselben Projektion wie die Basiskarte Frankreichs (Abbildung 17 oben), ebenfalls mit Luftliniengeschwindigkeiten von 60 km/h. Abbildung 20 (unten) liegen die Reisezeiten im Schienenfernverkehr im Jahre 1985 zugrunde. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Bahnreisen in der damaligen DDR erheblich langsamer waren als in Westdeutschland und daß die Eisenbahnverbindungen zwischen Ost- und Westdeutschland durch lange Aufenthalte an der deutsch-deutschen Grenze zusätzlich verlangsamt wurden. Durch die langen Reisezeiten zwischen Bayern und der DDR ist das gesamte Gebiet der DDR nach Nordosten hinausgeschoben, so daß die periphere Lage vor allem Vorpommerns besonders deutlich wird.

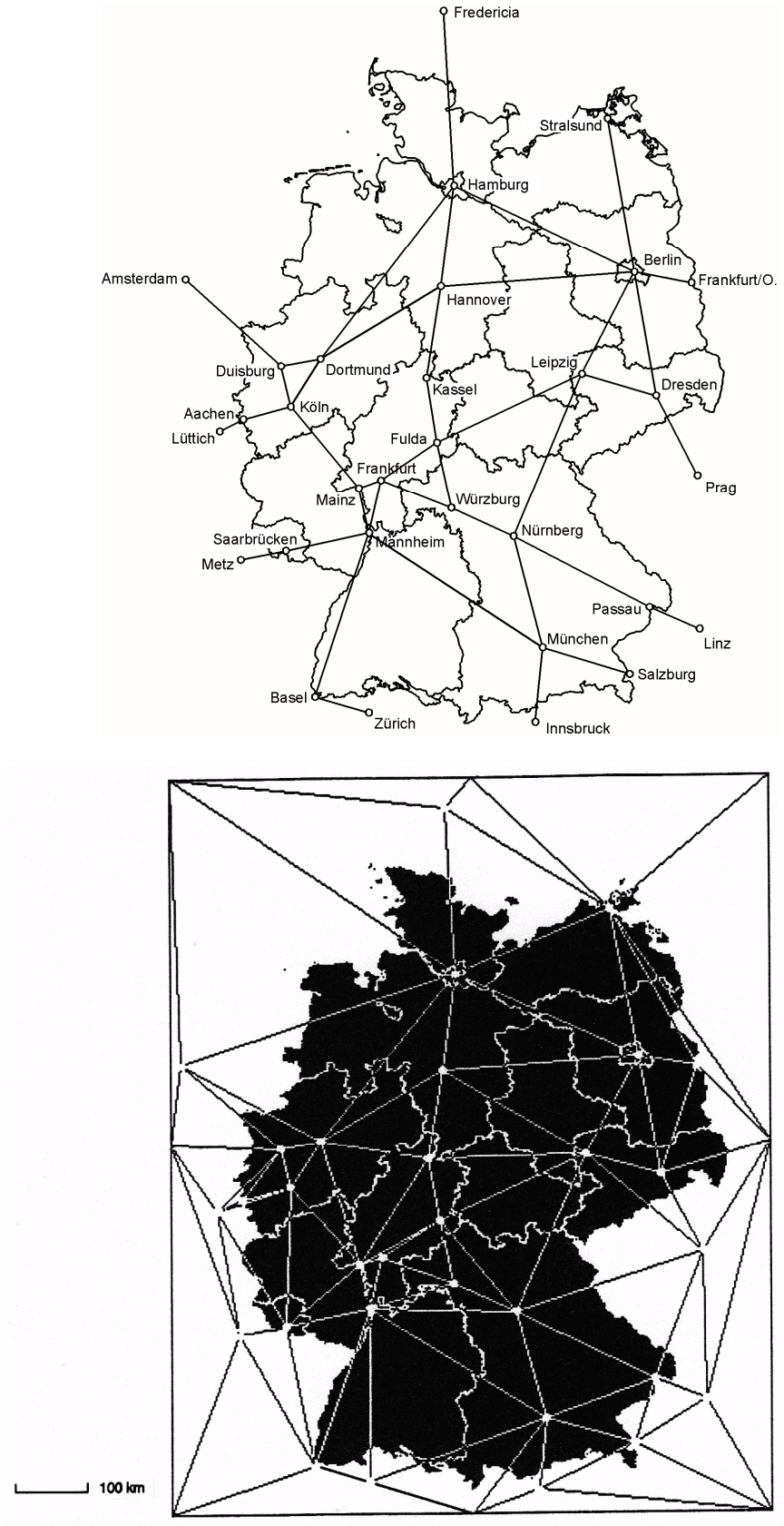


Abbildung 19. Das Basisnetz für die Zeitkarten Deutschlands folgt den wichtigsten IC- und ICE-Strecken (oben). Der untere Teil der Abbildung zeigt die Triangulation der Kalibrationspunktes dieses Netzes.

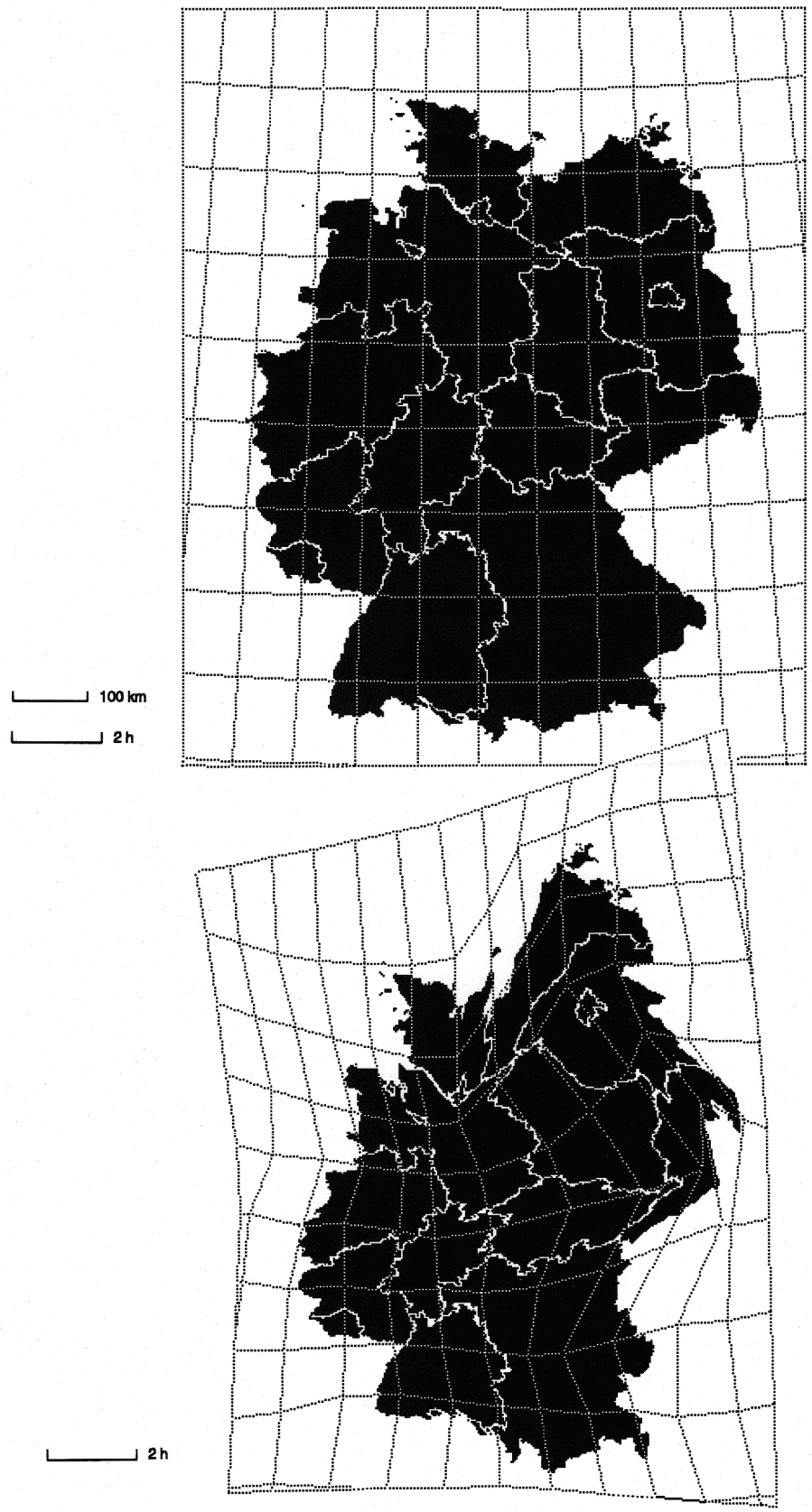
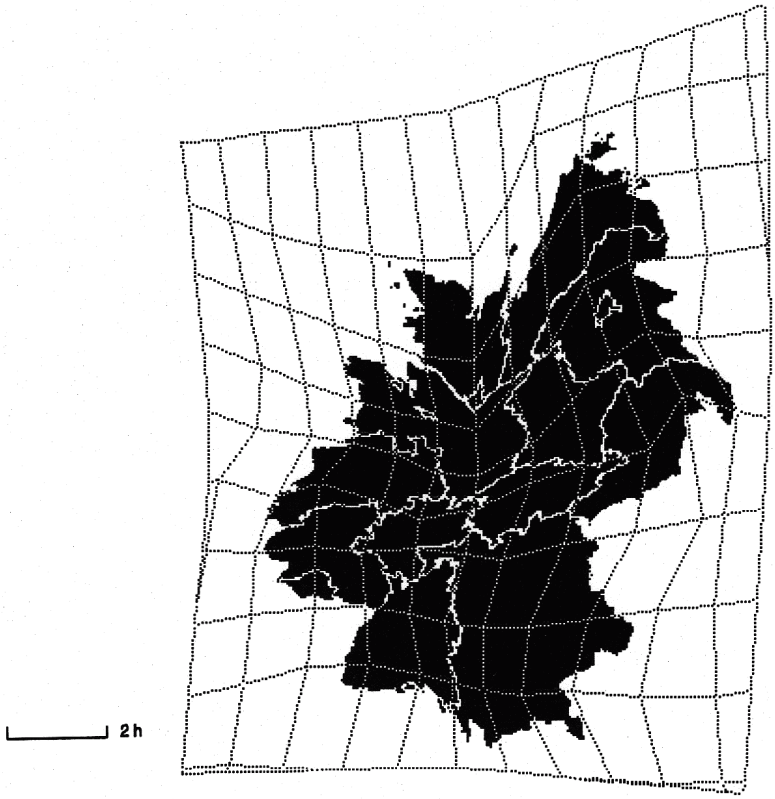


Abbildung 20. Die Zeitkarte des deutschen Eisenbahnnetzes für 1985 (unten) zeigt die Unterschiede und die Barrieren zwischen Ost- und Westdeutschland im Vergleich zur 60-km/h-Basiskarte (oben).



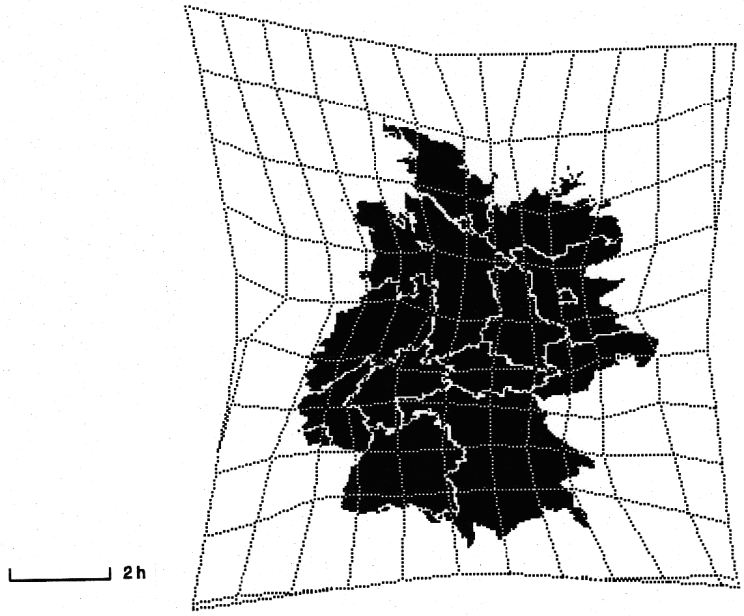


Abbildung 21. Zeitkarten des Eisenbahnnetzes in Deutschland für 1993 (oben) und 2010 (unten). Durch die Einführung des ICE haben die Unterschiede zwischen Ost- und Westdeutschland bis heute noch zugenommen. Dies wird sich erst mit dem weiteren Ausbau des ICE-Netzes im nächsten Jahrhundert ändern.

Abbildung 21 (oben) gibt die Situation heute, im Jahre 1993, wieder. Durch die Inbetriebnahme der ICE-Verbindung zwischen Hamburg und München ist Westdeutschland zeitlich noch weiter geschrumpft. Die neuen Bundesländer im Osten sind zwar durch den Wegfall der langen Abfertigungszeiten an den Grenzen und die Wiederherstellung von seit dem Krieg unterbrochenen Ost-West-Verbindungen etwas nähergerückt. Die Verbindungen innerhalb der ehemaligen DDR wurden jedoch bisher nur wenig beschleunigt, so daß sich die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Ost- und Westdeutschland eher noch verschärft haben. So bleiben Berlin und besonders Vorpommern und die Niederlausitz weiterhin relativ abgelegen.

Dies ändert sich erst, wenn, wie in Abbildung 21 (unten) angenommen, die Neu- und Ausbaustrecken des Bundesverkehrswegeplans und der 'Verkehrsprojekte Deutsche Einheit' fertiggestellt worden sind – also erst im nächsten Jahrhundert. Die Karte für das Jahr 2010 macht deutlich, daß durch die Angleichung der Reisegeschwindigkeiten in Ost- und Westdeutschland die Zeitkarte – bei starker Schrumpfung – wieder Ähnlichkeit mit der Basiskarte (Abbildung 20 oben) bekommt. Die noch stärkere Schrumpfung der Zeitkarten Frankreichs (Abbildungen 17 unten und 18) gegenüber der Basiskarte Frankreichs (Abbildung 17 oben) zeigt, daß die deutschen Eisenbahnen langsamer sind als die französischen, und daß dieser Unterschied auch nach Durchführung der geplanten Neu- und Ausbaumaßnahmen bestehen bleiben wird.

6 Fazit

Die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellte Methode zur Erzeugung von Zeitkarten vermeidet die Nachteile bisheriger Verfahren durch schrittweise multidimensionale Skalierung und Interpolation mittels Triangulation. Es konnte gezeigt werden, daß mit Hilfe dieser Methode Zeitkarten ohne willkürliche Topologieveränderungen und dennoch mit sehr guter Anpassung an die vorgegebenen Reisezeiten erzeugt werden können. Ein Vorteil der vorgestellten Methode ist es, daß durch die Wahl des Ausgangsknotens der schrittweisen multidimensionalen Skalierung Einfluß auf die Gestaltung der Zeitkarte, das heißt auf die Richtung der Kartenverzerrung beim Übergang von Raum- in Zeitkoordinaten genommen werden kann.

Allerdings werden hierin auch die Grenzen des Konzepts der Zeitkarten überhaupt sichtbar. Da es in der Regel keine einzige oder eindeutig beste Lösung für eine Zeitkarte gibt, hängt die Anschaulichkeit und Plausibilität einer Zeitkarte in hohem Maße vom Geschick des Kartenbearbeiters ab. Dieser kann durch Hinzufügen oder Weglassen von Strecken des Kalibrationsnetzes sowie durch die Wahl des Ausgangspunkts der schrittweisen multidimensionalen Skalierung das Ergebnis im Rahmen einer großen Bandbreite beeinflussen – oder manipulieren.

Die Abbildung neuer Hochgeschwindigkeitsstrecken in Zeitkoordinaten suggeriert zudem das zeitliche Schrumpfen ganzer Länder oder Kontinente. Zumeist werden aber mittels hoher Geschwindigkeiten nur hervorgehobene Punkte wie etwa große Städte miteinander verbunden und nicht die Räume zwischen

ihnen. Die generalisierende Kartierungstechnik läßt diese Zwischenräume aber mitschrumpfen, obwohl sich in ihnen vielfach neue peripheralisierte Räume bilden, deren Erreichbarkeitsverhältnisse sich relativ und – etwa durch Fortfall von Haltepunkten bei Einführung von Hochgeschwindigkeitszügen – in Einzelfällen vielleicht sogar absolut verschlechtern.

Dennoch bleiben Zeitkarten, mit Umsicht und Verantwortungsbewußtsein angewendet, ein interessantes Medium zur Visualisierung raumstruktureller Veränderungen. Gerade in einer Periode, in der durch die Einführung neuer schnellerer Verkehrsmittel wie der Hochgeschwindigkeitseisenbahn das Verhältnis von Raum und Zeit raschem Wandel unterliegt, können Zeitkarten zum Verständnis von raumzeitlichen Prozessen beitragen und das Bewußtsein für die fortschreitende 'Vernichtung' des Raums durch immer schnellere und häufigere räumliche Mobilität – und ihre sozialen und ökologischen Folgewirkungen – wecken und vertiefen.

7 Danksagung

Die Verfasser möchten sich bei Eihan Shimizu, Universität Gifu, Japan, für die Überlassung des Computerprogramms zur Erzeugung von Zeitkarten mittels topologischer Transformationen bedanken. Dank gebührt auch Marcial Echenique and Partners, Cambridge, für die Mitteilung von Reisezeitdaten bei unterschiedlichen Ausbaustufen der Fernverkehrsnetze in Europa aus dem gemeinsamen Forschungsprojekt über die regionalen Auswirkungen des Kanaltunnels. Meinhard Lemke, IRPUD, gilt Dank für die digitalen Kartengrundlagen der Karten von Westeuropa, Frankreich und Deutschland.

8 Literatur

ACT Consultants, Institut für Raumplanung, Marcial Echenique & Partners (1992): *The Regional Impact of the Channel Tunnel*. Bericht für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Paris/Dortmund/Cambridge: ACT, IRPUD, ME&P.

BfLR (1992): Verkehrsprojekte Deutsche Einheit. Erreichbarkeitseffekte Straße-Schiene im Vergleich. *BfLR-Mitteilungen* 3/92 (Juni 1992), 2-5.

Downs, R.M., Stea, D. (1982): *Kognitive Karten: Die Welt in unseren Köpfen*. New York: Harper & Row.

Ewing, G.O., Wolfe, R. (1977): Surface Feature Interpolation on Two-Dimensional Time-Space-Maps. *Environment and Planning A* **9**, 419-437.

Fayman, S., Metge, P., Spiekermann, K., Wegener, M., Flowerdew, A.D.J., Williams, I. (1992): The Regional Impact of the Channel Tunnel: Qualitative and Quantitative Analysis. Tagungspapier, 6th World Conference on Transport Research, Lyon, 29.06.-03.07.1992.

Gatrell, A.C. (1983): *Distance and Space: A Geographical Perspective*. Oxford: Clarendon Press.

Gemeinschaft der Europäischen Bahnen (1989): *Vorschlag für ein europäisches Hochgeschwindigkeitsnetz*. Paris: UIC.

Hägerstrand, T. (1970): What about People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association* **XXIV**, 7-21.

Hagget, P. (1983): *Geographie. Eine moderne Synthese*. New York: Harper & Row.

Heine, H. (1854): Lutetia (II). Berichte über Politik, Kunst und Volksleben. In: Kaufmann, H., Hg. (1964): *Heinrich Heine. Sämtliche Werke*. Band XII. München: Kindler.

Mantyk, R., Altenhoff, D., Lemke, M., Wegener, M. (1992): *Digitalisierung des europäischen Fernstraßen- und Eisenbahnnetzes*. Benutzer- und Programmiererhandbuch. Berichte aus dem Institut für Raumplanung 32. Dortmund: Institut für Raumplanung.

Preusser, A. (1984): ALGORITHM 626. TRICP: A Countour Plot Program for Triangular Meshes. *ACM Transactions on Mathematical Software* **10**, 473-475.

Shimizu, E. (1992): Time-Space Mapping Based on Topological Transformation of Physical Maps. Tagungspapier, 6th World Conference of Transport Research, Lyon, 29.06.-03.07.1992.

Sloterdijk, P. (1992): Die Gesellschaft der Kentauren. Philosophische Bemerkungen zur Automobilität. *FAZ-Magazin* 24, 28-38.

SNCF (1991): Der Leitplan für Hochgeschwindigkeitsverbindungen. *La Lettre de la SNCF* 87 (August 1991), 2-8.

Spiekermann, K., Wegener, M. (1991): Getting the Best of Three Worlds: Linking GKS, ARC/INFO and a Graphics Programme. Tagungspapier, Second International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Oxford, 06.-08.07.1991.

Spiekermann, K., Wegener, M. (1992): *Die regionalen Auswirkungen des Kanaltunnels in Europa*. Arbeitspapier 110. Dortmund: Institut für Raumplanung.

Steiner, J. (1991): Raumgewinn und Raumverlust: Der Januskopf der Geschwindigkeit. *Raum* 3, 24-27.

Tobler, W.R. (1978): Comparison of Plane Forms. *Geographical Analysis* **X** (2), 154-162.

Wegener, M., Spiekermann, K. (1989): *Mikrocomputergraphik. Eine Unterprogrammsammlung für FORTRAN und GKS*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.

Zahavi, Y. (1979): *The 'UMOT' Project*. Washington, DC: US Department of Transportation.

9 Anhang: Das Programm TIMESPACE

Das zur Erzeugung der Zeitkarten in diesem Arbeitspapier entwickelte Computerprogramm TIMESPACE wird im folgenden kurz beschrieben.

9.1 Programmstruktur

Das Programm besteht aus einem Steuermodul und drei Arbeitsmodulen. Abbildung 22 zeigt das Zusammenwirken der Module.

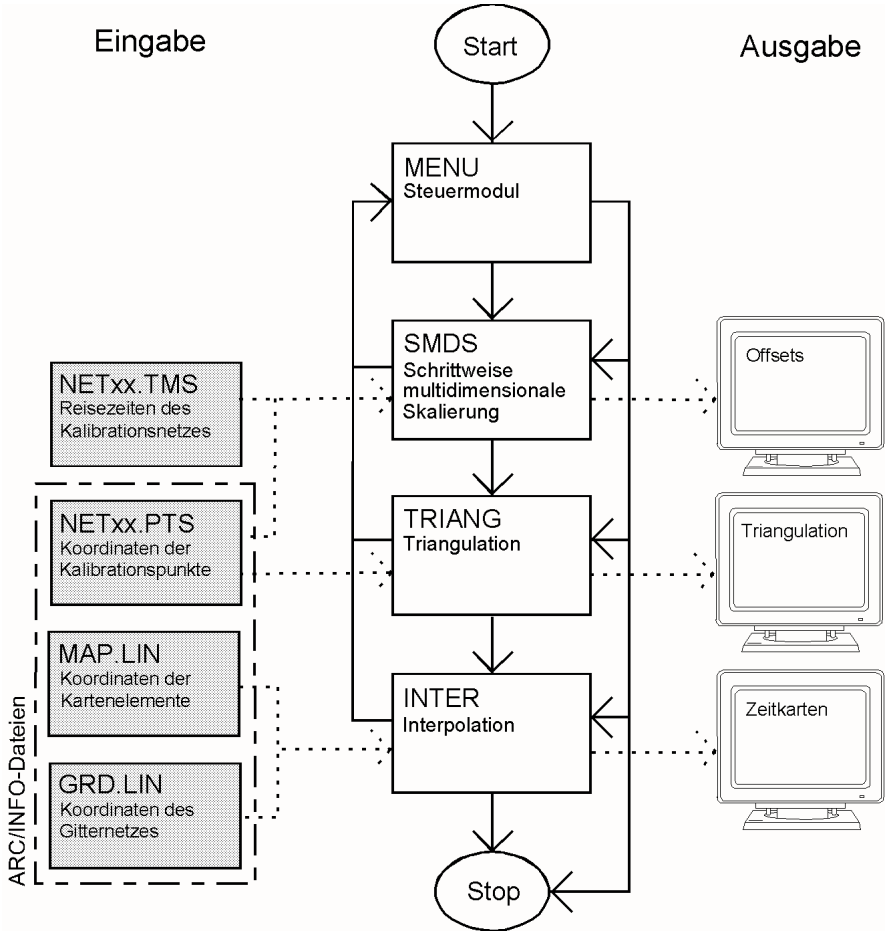


Abbildung 8. Programmstruktur des Programms TIMESPACE.

Steuermodul (MENU)

Das Steuermodul stellt die Verbindung zwischen den einzelnen Arbeitsmodulen her und erlaubt dem Programmbenutzer, diese in beliebiger Reihenfolge aufzurufen. Hierzu erscheint auf dem Bildschirm ein Menu mit Auswahloptionen, aus denen der Benutzer das gewünschte Arbeitsmodul auswählen kann.

Nach Ausführung jedes Arbeitsmoduls bleibt die Bildschirmausgabe stehen, bis der Benutzer eine Eingabe macht. Der Benutzer kann den Bildschirminhalt ausdrucken ('p') oder durch jede andere Taste zum Hauptmenü zurückkehren.

Schrittweise multidimensionale Skalierung (SMDS)

Das Modul SMDS führt für ein vorgegebenes Kalibrationsnetz die schrittweise multidimensionale Skalierung durch (siehe Abschnitt 4.1). Vom Benutzer werden die folgenden Parameter erfragt:

- Bezeichnung der Untersuchungsregion
- Bezeichnung der Ausbauvariante des Kalibrationsnetzes
- Maßeinheit der Koordinaten der Kalibrationspunkte
- Maßeinheit der Zeitangaben des Kalibratiosnetzes
- Durchschnittsgeschwindigkeit des Basisnetzes
- Ausgangsknoten der schrittweisen multidimensionalen Skalierung

Die schrittweise multidimensionale Skalierung beginnt mit dem vorgegebenen Ausgangsknoten. Dessen Koordinaten bleiben unverändert. In der ersten Runde werden alle Knoten des Kalibrationsnetzes bearbeitet, die mit dem Ausgangsknoten durch eine Strecke des Kalibrationsnetzes verbunden sind. Die X- und Y-Koordinaten dieser Kalibrationspunkte bilden die zu optimierenden Parameter der Optimierung der ersten Runde. Das aktuelle Kalibrationsnetz der ersten Runde besteht aus allen Strecken zwischen dem Ausgangsknoten und den aktuellen Kalibrationspunkten und allen Strecken zwischen diesen.

Das SMDS-Verfahren minimiert die Summe der Differenzen zwischen den Streckenlängen des aktuellen Kalibrationsnetzes und den für diese vorgegebenen Reisezeiten als Funktion der X- und Y-Koordinaten der aktuellen Kalibrationspunkte. Mathematisch erfolgt die Minimierung als iterative Gradientensuche im n-dimensionalen Parameterraum nach Newton-Raphson, wobei n gleich der doppelten Anzahl der aktuellen Kalibrationspunkte ist. Die Iterationen werden beendet, wenn keine Verbesserung der Zielfunktion mehr festgestellt wird.

Nach Ende der ersten Runde werden die durch die Optimierung bestimmten Koordinaten der aktuellen Kalibrationspunkte der ersten Runde fixiert. Die aktuellen Kalibrationspunkte der zweiten und aller folgenden Runden sind alle Knoten, die mit den bis dahin fixierten Knoten verbunden sind. Das aktuelle Kalibrationsnetz der zweiten und aller folgenden Runden besteht aus allen Strecken zwischen den bis dahin fixierten Knoten und den aktuellen Kalibrationspunkten und allen Strecken zwischen diesen. Vor Beginn der Optimierung werden die aktuellen Kalibrationspunkte so verschoben, daß ihre Richtung vom letzten der bereits fixierten Knoten, mit denen sie verbunden sind, so ist wie im ursprünglichen Kalibrationsnetz vor dem Übergang von Raum- zu Zeitkoordinaten und ihr Abstand von diesem Knoten der Zeitdistanz zu ihm entspricht.

Das Ergebnis jeder Runde der schrittweisen multidimensionalen Skalierung wird in einer Zwischendatei gespeichert und auf dem Bildschirm ausgegeben. Ein Beispiel für die Bildschirmausgabe nach der letzten Runde der schrittweisen multidimensionalen Skalierung für Westeuropa ist Abbildung 11.

Triangulation (TRIANG)

Das Modul TRIANG führt die Triangulation der Kalibrationspunkte unter Benutzung des ACM-Algorithmus 626 (Preusser, 1984) aus. Um den gesamten Kartenausschnitt abzudeken, werden die vier Eckpunkte der Karte sowie die Halbierungspunkte der vier Kartenseiten wie Kalibrationspunkte behandelt.

Der Algorithmus beginnt mit der Sortierung der $n*(n-1)/2$ Luftlinienentfernungen zwischen den Triangulationspunkten nach aufsteigender Entfernung. Aus den sortierten potentiellen Dreieckskanten wird das Dreieksgitter mit minimaler Gesamtkantenlänge und den Triangulationspunkten als Eckpunkten zusammengefügt. Die Nummern und Koordinaten der Eckpunkte jedes Dreiecks werden in einer Zwischendatei gespeichert. Nach Beendigung der Triangulation wird das Triangulationsnetz auf dem Bildschirm ausgegeben. Abbildung 12 zeigt die Triangulation für Westeuropa, Abbildung 19 (unten) die für Deutschland.

Die Triangulation ist unabhängig von den für die Strecken zwischen den Kalibrationspunkten vorgegebenen Reisezeiten und braucht daher für eine bestimmte Konstellation von Kalibrationspunkten nur einmal ausgeführt zu werden. Eine neue Triangulation ist erst dann erforderlich, wenn Kalibrationspunkte hinzugefügt oder weggenommen werden.

Interpolation (INTER)

Das Modul INTER ermittelt die Zeitkoordinaten für alle übrigen linearen Kartenelemente wie Küstenlinien und Landesgrenzen sowie das Gradnetz der Meridiane und Breitenkreise durch Interpolation zwischen den Verschiebevektoren (Offsets) der Knotenpunkte der Triangulation.

Als erstes werden für die Eckpunkte jedes Dreiecks der Triangulation die Offsets der Eckpunkte beim Übergang von Raum- in Zeitkoordinaten, das heißt die Differenzen zwischen ihren Raum- und Zeitkoordinaten in X- und Y-Richtung, ermittelt. Die Eckpunkte der Karte und die Mittelpunkte der Kartenseiten erhalten fiktive Verschiebevektoren als Mittelwerte aus den Kalibrationspunkten der angrenzenden Dreieke.

Dann wird für jeden Stützpunkt der darzustellenden Kartenelemente mit Hilfe einer Point-in-Polygon-Routine ermittelt, in welches Dreieck der Triangulation er fällt. Die Offsets des Stützpunktes sind ein gewichtetes Mittel aus den Offsets der drei Eckpunkte dieses Dreiecks. Die Mittelwertbildung erfolgt für die Offsets in X- und Y-Richtung getrennt. Dabei werden die X- und Y-Offsets der Eckpunkte analog zur Verwendung der Triangulation bei der digitalen Geländemodellierung als 'Höhen' betrachtet. Die Mittelwertbildung besteht dann in der Berechnung der Schnittpunkte einer Senkrechten über dem zu interpolierenden Punkt mit den 'geneigten' Dreiecksflächen.

Die ermittelten Offsets werden während der Berechnung als Geraden auf dem Bildschirm ausgegeben (Abbildung 13). Danach werden der Bildschirm gelöscht und die erzeugte Zeitkarte gezeichnet.

9.2 Dateien

Alle Eingabedateien für das Programm TIMESPACE sind editierbare ASCII-Dateien, die zum größten Teil mit Hilfe des Geoinformationssystems ARC/INFO automatisch erzeugt werden können. Folgende Eingabedateien sind erforderlich:

<reg>\MAP.LINStützpunkte der Kartenelemente
<reg>\GRD.LINStützpunkte des geographischen Gradnetzes
<reg>\NET<var>.PTS Koordinaten der Kalibrationspunkte
<reg>\NET<var>.TMSReisezeiten des Kalibrationsnetzes

Hierbei sind <reg> und <var> Bezeichnungen für die Untersuchungsregion bzw. die zu untersuchende Ausbauvariante des Kalibrationsnetzes. Die Zeichenfolge 'bas' oder 'BAS' für <var> kennzeichnet die Raumkarte.

ARC/INFO-Dateien

Die Dateien mit den Dateinamenergänzungen .LIN oder .PTS sind ASCII-Dateien im Format der ARC/INFO-Export-Dateien zur Portierung der Koordinaten von ARC/INFO-Line- und Point-Coverages. Hierdurch ist es möglich, mit ARC/INFO digitalisierte Basiskarten und Kalibrationsnetze ohne Umformatierung zu übernehmen.

Die Dateien mit der Dateinamenerweiterung .LIN haben folgenden Aufbau: Für jedes linienhafte Kartenlement (Liniensegment) enthält die Datei einen Block von Sätzen mit folgendem Aufbau:

Satznummer	*Format*	*Satzinhalt*
1	I10	Linienartschlüssel (wird ignoriert)
2	2F15.5	X- und Y-Koordinaten des 1. Stützpunkts
3	2F15.5	X- und Y-Koordinaten des 2. Stützpunkt
...	...	...
n	2F15.5	X- und Y-Koordinaten des n-ten Stützpunkts
n+1	'END'	Endmarke

Hierbei ist n die Anzahl der Stützpunkte des Liniensegments. Nach dem letzten Segment der Datei folgt ein weiterer 'END'-Satz.

Die Dateien mit der Dateinamenerweiterung .PTS haben folgenden Aufbau: Für jeden Knoten des Kalibrationsnetzes enthält die Datei einen Satz mit folgendem Format:

Spalten	*Format*	*Feldinhalt*
1-10	I10	Knotennummer
11-25	F15.5	X-Koordinate des Knotens
26-40	F15.5	Y-Koordinate des Knotens

Nach dem Satz mit den Koordinaten des letzten Knotens folgt ein 'END'-Satz wie in den .LIN-Dateien

Die Koordinaten der .LIN- und .PTS-Dateien können in beliebigen Längeneinheiten (z.B. km, m, 1000 km usw.), jedoch nicht in geographischen Koordinaten (E und ') angegeben sein. Alle verwendeten Dateien müssen dieselbe Längeneinheit benutzen.

Variantenspezifische Dateien

Die Dateien NET<var>.PTS und NET<var>.TMS können für verschiedene Ausbauvarianten und damit unterschiedlichen Zeichenfolgen für <var> nebeneinander existieren und in einem Programmlauf nacheinander bearbeitet werden.

Die .PTS-Dateien mit den Koordinaten der Kalibrationspunkte sind ARC/INFO-Exportdateien (siehe oben) oder aus solchen durch Editierung (Hinzufügung oder Löschung von Knoten) entstanden.

Die .TMS-Dateien werden in der Regel manuell mit einem Editor erzeugt und haben folgenden Aufbau: Für jede Strecke des Kalibrationsnetzes enthält die Datei einen Satz mit folgendem Format:

Spalten	*Format*	*Feldinhalt*
1-10	I10	Knotennummer des Anfangsknotens
11-20	I10	Knotennummer des Endknotens
21-35	F15.0	Reisezeit der Strecke

Hierbei steht das Format F15.0 für eine rechtsbündig eingetragene Zahl ohne Dezimalpunkt oder mit Dezimalpunkt und beliebig vielen Nachkommastellen.

9.3 Technische Angaben

Das Programm ist in FORTRAN für das Betriebssystem MS-DOS geschrieben und verwendet Graphikbefehle einer GKS-Anwendungsschicht für die Raumplanung (Wegener und Spiekermann, 1989; Spiekermann und Wegener, 1991) sowie der GKS-Graphikbibliothek der WATCOM Systems Inc., Waterloo, Ontario, Canada. Während der Ausführung des Programms muß diese im Computer geladen sein.

Als Hardware sind ein PC/AT-kompatibler Computer mit VGA-Bildschirm und ein EPSON-kompatibler Laserdrucker erforderlich.

IRPUD-Arbeitspapiere

99
Ralf Ebert:
Aus grauer (Ruinen)-Städte Mauern ... in die grüne Stadt von morgen?
1991
100
Ursula v. Petz:
"Diese Wohnung spottet vor der ganszen Weldt" -
Altstadtsanierung in Braunschweig in nationalsozialistischer Zeit
1991
101
Kunzmann/Brosza:
Dortmund: Phenix out of Ash -
Part of the study 'Urbanisation and the Function of Cities in the European Community'
1991
102
Guy Saez:
Culture, économie et développement local en France
1991
103
Bianchini/Greenhalgh/Landry:
The Importance of Culture for Urban Economic Development in Great Britain
1991
104
Giacalone/Paolini/Venturi:
Die Bedeutung der Kultur für die wirtschaftliche Entwicklung von Städten in Italien
1991
105
Hofecker/Pöschl:
Kultur und Stadtentwicklung in Österreich
1991
106
Robert H. McNulty:
The Economic of Amenity in the United States of America
1991
107
Klaus R. Kunzmann:
Perspectives de l'enseignement en urbanisme et l'aménagement du territoireen Europe
1991
108
Ache/Bremm/Kunzmann:
Europäischer Binnenmarkt: Perspektiven räumlicher Entwicklung
1992
109
Kunzmann/Diaw/Olima/Banimb:
Rural-Urban Linkages
1992
110
Spiekermann/Wegener:
Die regionalen Auswirkungen des Kanaltunnels in Europa
1992
111
Ache/Bremm/Kunzmann:
The Single European Market - Impacts for Spatial Development in Western Germany
3-1992
112
Klaus R. Kunzmann:
Kultur, ein Standortfaktor?
1992
113
Michael Wegener:
Urban Planning in Tokyo -
A European Perspective
1992
114
Klaus R. Kunzmann:
Hochschule und Region: Eine Ideenskizze für die Stadtregion Rhein-Ruhr
1992
115
Jean-Paul Laurencin:
The Rhône-Alpes Region in France -
A region faced with the challenge of international competition and internal cohesion
1993
116
Roberts/Haughton:
The Future of the Ruhrgebiet in Europe - UK Case Study: The Liverpool-Manchester-Leeds Region
1993
117
Spiekermann/Wegener:
Zeitkarten für die Raumplanung
1993