

Darstellung von immateriellen Oberflächen in der großräumigen Planung

Wolf-Dieter Rase, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

1 Zusammenfassung

Die Choroplethenkarte ist die am häufigsten angewandte kartographische Darstellungsform für die Visualisierung von räumlich verteilten Informationen aus demographischen, sozialen und ökonomischen Erhebungen. Ein Grund ist die gute Vergleichbarkeit in räumlichen Verteilung bei unterschiedlichen Bezugsgrößen wie Fläche oder Bevölkerung und die einfache Herstellung. In zunehmendem Umfang werden zusätzliche Informationen in räumliche Analysen und Konzepte für die großräumige Planung einbezogen, etwa Variablen zur natürlichen Ausstattung oder zur Erreichbarkeit von Standorten. Diese Informationen sind nicht an die administrativen Einheiten gebunden, oft sogar kontinuierlich über die Erdoberfläche verteilt. Die Darstellung solcher Informationen als kontinuierliche Oberfläche ist ein geeignetes Komplement zur Choroplethenkarte. In der großräumigen Planung, etwa der Raumordnung in der Bundesrepublik Deutschland oder der Koordinierung der räumlichen Entwicklung in Europa, sind mit Oberflächen einige Probleme in der Visualisierung von raumbezogenen Daten lösbar. Das sind zum Beispiel die großen Variationen in der Größe der Bezugseinheiten oder die Notwendigkeit zu Unschärfe in der Darstellung, etwa als Ausdruck der unterschiedlichen nationalen Konzepte zur Beeinflussung der räumlichen Struktur oder der geringen Bindungswirkung von übernationalen Planungskonzepten.

Oberflächen aus geophysikalischen Größen oder sozioökonomischen Variablen sind im Gegensatz zur Erdoberfläche nicht in der Realität sichtbar, sie sind ein immaterielles gedankliches Modell. Charakteristisch für immaterielle Oberflächen ist der große Unterschied in der Verteilung der Ausgangsdaten und der für die Darstellung notwendigen Auflösung der Oberfläche. Für die notwendige Transformation der Ausgangsdaten in eine stetige Oberfläche sind adäquate Modelle, Datenstrukturen und Interpolationsverfahren für punkt- und flächenförmige Bezugseinheiten zu wählen. Einige Darstellungsverfahren für Oberflächen werden an Beispielen aus der großräumigen Planung vorgestellt.

2 Oberflächen in Karten für die großräumige Planung

Für die Visualisierung von flächenbezogenen Daten sind Choroplethenkarten die am häufigsten verwendete Darstellungsform in der großräumigen Planung, in diesem Kontext die Raumordnung auf der Ebene der Bundesregierung in Deutschland und kooperative Raumentwicklungskonzepte innerhalb und außerhalb der Europäischen Union. Die Repräsentation von Typen und geordneten Reihen durch Ausfüllen der Flächen mit einer Farbe oder Flächensignatur ist die geeignete Darstellungsform, wenn die Variablen flächenbezogen sind und sich der aus der Analyse abgeleitete Handlungsbedarf auf die dargestellten Flächen bezieht. Der räumliche Bezug ist eindeutig und die quantitative Variable auf eine gut erfaßbare Anzahl von Klassen reduziert. Die Zielgruppe für Karten in der Planung ist weniger erfahren im Kartenlesen, deshalb ist die Generalisierung der Variablen auf Typen oder eine geordnete Reihe hilfreich für die schnelle Erfassung der im Geo-Informationssystem modellierten Prozesse auf der Erdoberfläche.

Auf der anderen Seite haben Choroplethenkarten einige Nachteile für die Visualisierung von Analysen und Konzepten in der großräumigen Planung. Die naturräumlichen, demographischen, sozialen und ökonomischen Interaktionen auf der Erdoberfläche enden nicht abrupt an den Grenzen der administrativen Einheiten. Die starken Wertsprünge, die an der Grenze zwischen zwei benachbarten Bezugseinheiten auf einer Choroplethenkarte auftreten können, werden in erster Linie durch die Art der Datenerhebung verursacht und geben nicht die tatsächliche Verteilung wieder.

Die Daten, die in einer Choroplethenkarte als Flächensignatur repräsentiert werden, sind in der Regel relative Größen. Die absoluten Werte, zum Beispiel die Einwohner einer Einheit, werden durch eine Bezugsgröße dividiert, zum Beispiel die Fläche der Einheit. Das Ergebnis ist in diesem Fall die relative Größe *Bevölkerungsdichte*. Durch die Normierung mit Bezugswerten sollen die Größenunterschiede der Bezugseinheiten ausgeglichen und der interregionale Vergleich erleichtert werden. Das Ziel ist die Aufdeckung und Visualisierung von Disparitäten in der räumlichen Verteilung der Lebensgrundlagen. Darstellungen von kontinuierlichen Oberflächen, die aus naturräumlichen, demographischen oder sozioökonomischen Grunddaten modelliert wurden, findet man immer häufiger in Publikationen mit Karten zur großräumigen Planung (zum Beispiel BfLR 1995).

Choroplethenkarten in perspektivischer Darstellung vermitteln besser als die planare Version einen Eindruck von der absoluten Werten oder vom Volumen über den Bezugseinheiten (Abb. 1). Sie haben aber den Nachteil, daß einige Bezugsflächen in Abhängigkeit vom Augenpunkt verdeckt sein können. Die Konstruktion einer Choroplethenkarte in perspektivischer Ansicht erfordert mehr Aufwand für die Konstruktion und ist ohne Rechnerunterstützung kaum wirtschaftlich herzustellen.

Einwohner 1997

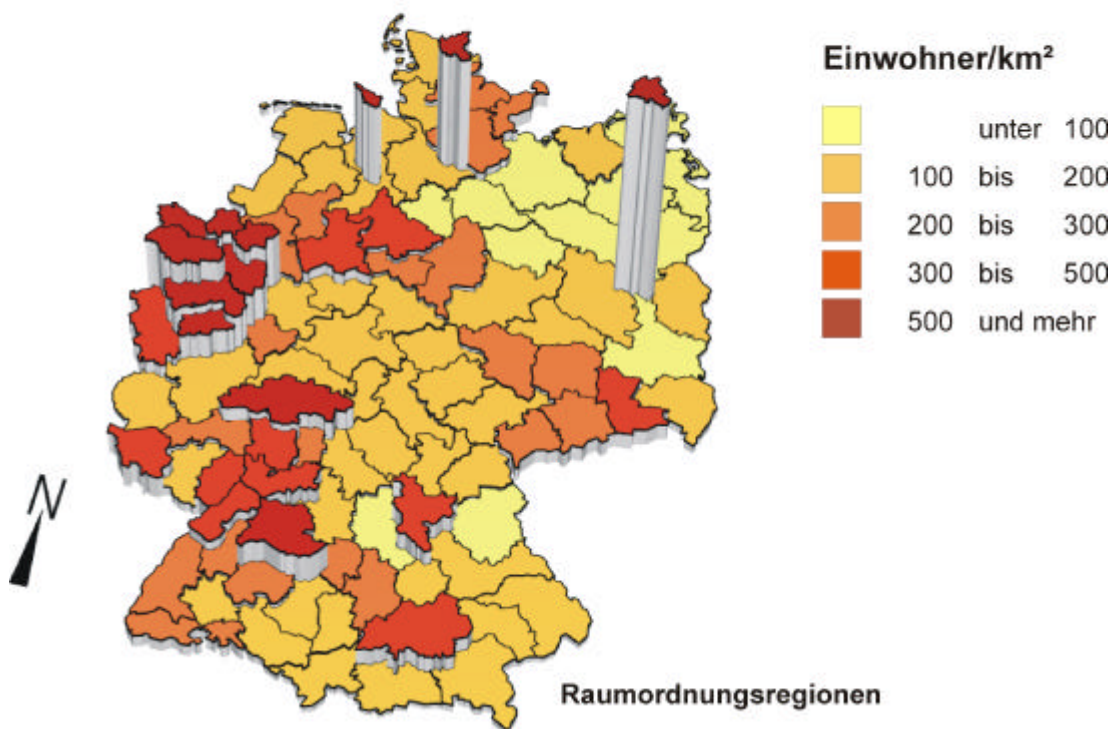


Abb. 1 Choroplethenkarte in perspektivischer Darstellung

Die Darstellung der genannten Variablentypen als stetige Oberfläche kann ein geeignetes Komplement zu den Choroplethenkarten und Karten mit Proportionalsymbolen sein, aus verschiedenen Gründen:

- Kontinuierliches Modell: Der Sachverhalt, beziehungsweise dessen Modell, ist von Natur aus kontinuierlich. Die meisten geophysikalischen Variablen, zum Beispiel Luftdruck, Temperatur oder Stärke des Erdmagnetfeldes, fallen in diese Kategorie.

- Quasi-kontinuierliches Modell: Das Modell, mit dem ein Sachverhalt durch Zahlen beschrieben wird, ist kontinuierlich oder zumindest so feinkörnig, daß es als kontinuierlich aufgefaßt werden kann. Ein Beispiel dafür sind Zeitentfernungen und Erreichbarkeitswerte.
- Übergang von Diskreta zu Kontinua: Bei der für die großräumige Analyse adäquaten Körnigkeit wachsen diskrete Verteilungen so zusammen, daß sie als kontinuierliche Phänomene angesehen werden können (Freitag 1971).
- Verknüpfung von naturräumlichen und sozioökonomischen Variablen: Ein Zustand oder Prozeß im Raum wird durch einen Indikator beschrieben, der durch Verknüpfung von naturräumlichen und sozioökonomischen Variablen entsteht. Die Grenzen von naturräumlichen Verbreitungsgebieten stimmen nur selten mit administrativen Grenzen überein. Die Darstellung als Teil- oder Schnittmengen in den administrativen Einheiten wird der Verteilung des Indikators im Raum nicht gerecht. Die starken Sprünge an den Grenzen der Gebiets-einheiten entsprechen nicht der tatsächlichen Verteilung auf der Bezugsfläche. Die Darstellung als Oberfläche repräsentiert den Indikator besser als eine Choroplethenkarte.
- Absolutwert in flächenbezogener Darstellung: In der Karte soll der Flächenbezug, aber auch die absoluten Unterschiede im Wert des Indikators verdeutlicht werden. Eine Möglichkeit ist zum Beispiel die perspektivische Darstellung einer Choroplethenkarte mit höhenproportionalen Prismen (Abb. 1), eine andere Möglichkeit eine stetige Oberfläche mit Erhaltung des Volumens über jeder Bezugseinheit.
- Trend-Oberflächen: Aus den Ausgangswerten wird eine kontinuierliche Funktion über die Dimensionen der Bezugsebene berechnet. Durch die Modellierung als Funktion sollen Ungenauigkeiten bei der Messung der Werte ausgeglichen oder ein genereller Trend in der Verteilung über die Erdoberfläche sichtbar gemacht werden (Rase 1998).
- Räumliche Prädiktion: Aus einer Stichprobe werden Oberflächen berechnet, um Stützpunkten einen Näherungswert zuzuordnen zu können. Ein Beispiel sind Grundstückspreise, die aus den Preisen der in der Vergangenheit veräußerten Parzellen in der Nachbarschaft geschätzt werden (Brückler und Dumfarth 1996).
- Unschärfe Objekte: Flächenhafte Objekte mit Übergangszonen an den Rändern können als Wahrscheinlichkeits-Oberfläche modelliert werden, etwa für nachfolgende Mengenoperationen mit raumbezogenen Objekten (*map algebra*).

Thematische Karten mit Oberflächendarstellungen sind nur mit rechnergestützten Verfahren wirtschaftlich sinnvoll herzustellen, etwa mit den Werkzeugen in einem Geo-Informationssystem (GIS). Die in den GIS-Softwarepaketen angebotenen Verfahren zur Modellierung von Kontinua sind zum überwiegenden Teil auf die punkt- und linienförmigen Charakteristika der Erdoberfläche oder geophysikalischer Informationen ausgerichtet. Sie sind nur bedingt für die flächenbezogenen Informationen aus der amtlichen Statistik oder Indikatoren aus Bewertungsverfahren geeignet. Neben den Interpolationstechniken, die Punkte und Linien als Ausgangsdaten verwenden, müssen Verfahren eingesetzt werden, die speziell für die Modellierung von flächenbezogenen Informationen entwickelt wurden, etwa die volumenerhaltende Interpolation.

3 Modellierung von immateriellen Oberflächen

Ein Modell ist eine Abbildung des realen Objektes in der für den Verwendungszweck notwendigen und angemessenen Abstraktion und Genauigkeit. In einem Geo-Informationssystem (GIS) wird das Modell numerisch in einer Datenstruktur repräsentiert, entweder permanent gespeichert als Datei auf einem Datenträger oder temporär als Zwischenergebnis im Arbeitsspeicher des Rechners. Die Datenstruktur wird in der Regel mit den Werkzeugen des Geo-Informationssystems, Computerprogrammen also, erstellt und weiterverarbeitet. Es ist auf eine strikte logische Trennung zwischen den im GIS abgebildeten Modellen der raumbezogenen Objekte und ihrer Darstellung in Karten zu achten (van der Schans 1999).

2.1 Modelle und Datenstrukturen

Zur Vereinfachung der Modellierung und Verarbeitung der Oberflächen wird angenommen, daß zu jedem Punkt in der Ebene nur ein Höhenwert existiert. Solche Oberflächen werden manchmal $2\frac{1}{2}$ D-Oberflächen genannt, obwohl die Anzahl der Dimensionen immer ganzzahlig ist. Die einfachste und deshalb auch am häufigsten angewandte Datenstruktur für $2\frac{1}{2}$ D-Oberflächen ist ein regelmäßiges Gitter. Die Ebene wird durch Gitterlinien parallel zu den Achsen des Koordinatensystems geteilt, so daß gleich große Rechtecke entstehen. Den Schnittpunkten der Gitterlinien werden die Höhenwerte der Oberfläche zugeordnet. Die Gitterstruktur ist sehr einfach in Computerprogrammen zu realisieren, weil in den meisten Programmiersprachen Sprachelemente für die Behandlung zweidimensionale Felder vorhanden sind. Für regelmäßige Gitter von Dreiecken ist der zusätzliche programmtechnische Aufwand gering.

Regelmäßige Gitter haben den Nachteil, daß linienförmige geometrische Elemente, etwa Wasserläufe oder Gebietsgrenzen, auf die Gitterstruktur abgebildet werden müssen. Der Informationsverlust bei relativ groben Gittern ist manchmal nicht akzeptabel. Die Verfeinerung des Gitters auf die Auflösung der Linienelemente ist auch nicht immer möglich, weil die große Anzahl der Gitterpunkte untragbaren Aufwand für die Speicherung und Verarbeitung der Dateien verursacht. Das unregelmäßige Dreiecksnetz (TIN, triangular irregular network, Peucker et al 1976) ist ein geeignetes Modell, um die Netzdichte der Reliefenergie anzupassen und gleichzeitig die linienförmigen Elemente in der notwendigen und gewünschten Auflösung in der Oberfläche zu erhalten.

2.2 Interpolationsverfahren

Charakteristisch für die immateriellen Oberflächen ist der erhebliche Unterschied in der Auflösung für die ursprüngliche Verteilung der Daten und der Auflösung, die für die Darstellung als Oberfläche notwendig ist. Mit einem Interpolationsverfahren wird aus einer relativ groben diskreten Verteilung von geometrischen Elementen eine Oberfläche mit höherer Auflösung berechnet. Über den Verlauf der Kurve zwischen den Ausgangsdaten werden Annahmen getroffen, die aus dem gesamten Datensatz, aus dem Verhalten in der Nachbarschaft oder aus dem Wissen über die Genese der Oberfläche abgeleitet werden.

Bei geophysikalischen Variablen oder bei Zeitentfernungen stehen in der Regel nur punktbezogene Informationen zur Verfügung, so daß man eine stetige Oberfläche annehmen muß. Im Fall der Erdoberfläche werden die Höhenpunkte durch linienförmige Charakteristika ergänzt, etwa der Verlauf von Rinnen und Wasserläufen, von Graten oder Steilabfällen. Die linienförmigen Charakteristika definieren abrupte Änderungen im Verlauf der Gradienten. Diese Unstetigkeiten müssen in der interpolierten Oberfläche und ihrer graphischen Repräsentation erhalten bleiben. Unstetigkeiten in immateriellen Oberflächen sind zwar selten, aber möglich. Beispiele für Unstetigkeiten im Kulturräum sind der Verlauf des römischen Limes als heute noch auffindbare Kultur- und Sprachgrenze, oder die ehemalige innerdeutsche Grenze, die auch nach der deutschen Einigung noch lange erkennbar bleiben wird, sowohl physisch in der Landschaft als auch mental.

2.2.1 Interpolation aus Stützpunkten

Die Erreichbarkeit ist ein wichtiger Indikator für die regionale Versorgung mit Infrastruktur für den Individualverkehr mit Pkws und Lkws, den schienenengebundenen Verkehr oder den Luftverkehr. Der Individualverkehr hat die größte politische Bedeutung, einmal wegen der Anzahl der Teilnehmer und der daraus resultierenden Einflusses auf politische Entscheidungen, zum anderen als Basis der Erreichbarkeit für andere Verkehrsarten (Verbundverkehr). Erreichbarkeiten werden gemessen durch die Zeit, die ein Pkw oder Lkw im Mittel benötigt, um den nächstgelegenen Ort für bestimmte Dienstleistungen zu erreichen, etwa das nächste Zentrum, einen IC-Bahnhof, einen Flughafen oder einen Verladebahnhof für den Güterfernverkehr. Die Zeitentfernungen werden durch Suche nach der kürzesten zeitlichen Verbindung zwischen zwei Punkten im Verkehrsnetz und Aufsummieren der jedem Streckenabschnitt zugeordneten Zeit bestimmt. Die Zeitabstände sind Mittelwerte, deshalb sind temporäre Verkehrsbehinderungen durch Baustellen, Staus oder hohes Verkehrsaufkommen nicht berücksichtigt.

Das Straßennetz in der Bundesrepublik Deutschland ist aus der Sicht der Bundesregierung so fein gegliedert, daß eine quasi-kontinuierliche Oberfläche der Erreichbarkeit angenommen werden kann. Für die Ebene der Bundesraumordnung genügt die Vereinfachung der Ausgangsstandorte auf einen repräsentativen Verkehrsknoten in einer Gemeinde. Jedem Knoten wird die Fahrzeit nach der nächstgelegenen Infrastruktureinrichtung zugeordnet. Aus den Stützpunkten wird die Oberfläche der Erreichbarkeit interpoliert und in einer Karte dargestellt.

Die verschiedenen Interpolationsverfahren für punktförmige Bezugseinheiten haben spezifische Vorteile und Nachteile, in Abhängigkeit von der Dichte und Verteilung der Stützpunkte, der Anzahl und der Amplitude der Höhenänderungen pro Flächeneinheit („Reliefenergie“), dem Verhältnis der Auflösungen von Ausgangsdaten und Oberfläche und noch anderer Parameter (Rase 1998). Für die Berechnung der Erreichbarkeitsoberflächen wurden die Verfahren des gewichteten Mittelwerts (Shepard 1968) und Spline-Kurven im Dreiecksnetz (Renka 1996, Späth 1991) angewendet. Die verfahrensbedingten Abweichungen in den Oberflächen sind für diesen Datensatz nur für Spezialisten erkennbar.

Abb. 2 zeigt die Oberfläche der Zeitentfernungen von jeder Gemeinde zum nächstgelegenen Intercity-Haltebahnhof des Kernnetzes der Deutschen Bundesbahn

Erreichbarkeit von IC-Bahnhöfen

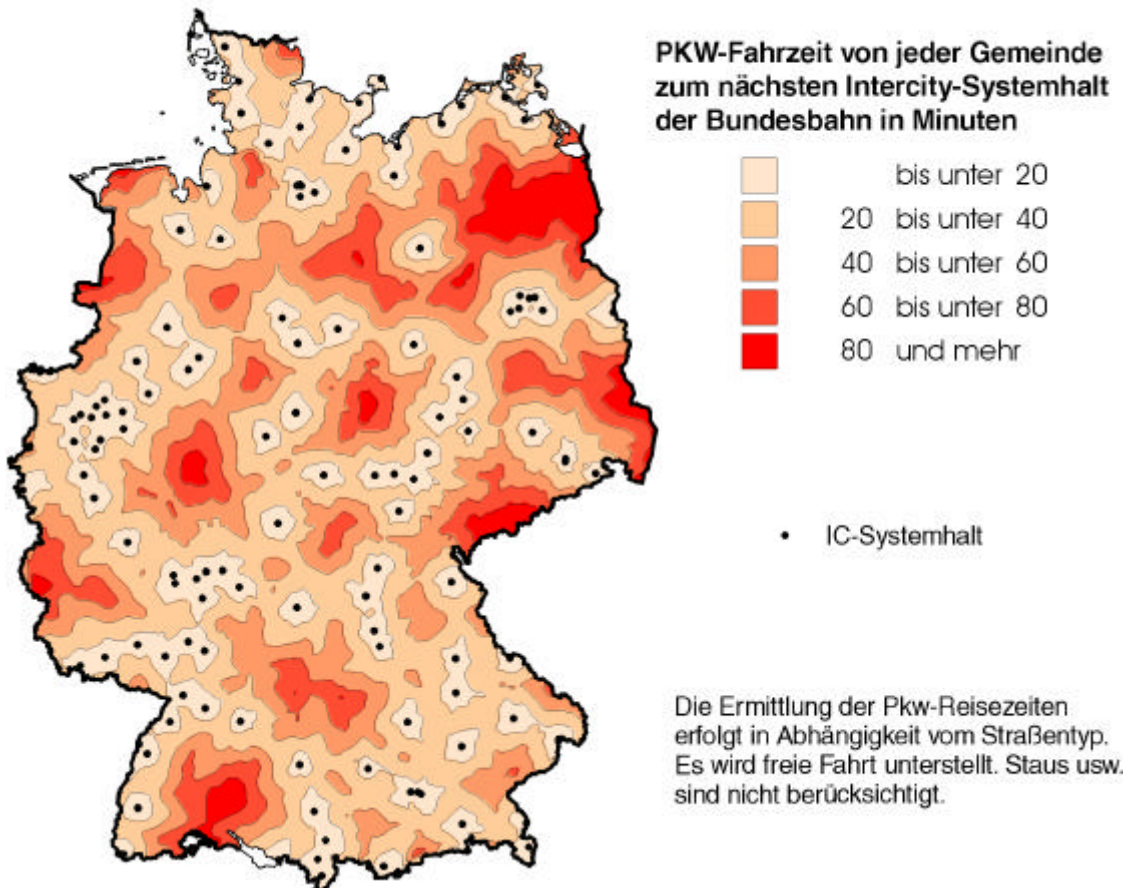


Abb. 2 Oberfläche der Erreichbarkeit von Intercity-Bahnhöfen

2.2.2 Interpolation aus flächenbezogenen Daten

Die für Punkte und Linien entwickelten Interpolationsverfahren werden auch für flächenbezogene Daten angewandt. Jedem Polygon wird ein geometrischer Stellvertreter zugeordnet, etwa

der Flächenschwerpunkt, der zusammen mit dem Datenwert als Stützpunkt für die Konstruktion der Oberfläche dient. Durch die Zusammenziehung des Polygons auf einen Punkt ergeben sich einige Probleme bei der Interpolation von flächenbezogenen Daten (Rase 1998). Insbesondere bleibt das Volumen über den Bezugseinheiten nicht erhalten. Zum Beispiel dürfen Personen, die in einer Bezugseinheit gezählt wurden, bei der Interpolation der stetigen Oberfläche nicht benachbarten Einheiten zugeschlagen werden. Dieser Mangel ist vergleichbar mit der Erosion auf der Erdoberfläche: An exponierten Stellen wird Material abgetragen, und mit dem „Schutt“ werden die Täler aufgefüllt. Bei den punktbezogenen Interpolationsverfahren kann man die Erosion nicht verhindern oder auch nur prüfen. Wie bei den punkt- und linienförmigen Bezügen die Höhenwerte im Verlauf der Oberfläche erhalten bleiben müssen, so ist bei polygonbezogenen Daten die Erhaltung des Volumens über der Bezugseinheit eine unabdingbare Forderung.

Tobler (1979) hat ein Verfahren zur Konstruktion von Kontinua aus polygonbezogenen Daten vorgeschlagen, das er *pyknophylaktische Interpolation* genannt hat (aus *pyknos* = Körper, Dichte und *phylax* = Wächter, also „über die Dichte wachend“ oder volumenerhaltend). Der Algorithmus für die pyknophylaktische Interpolation besteht aus zwei großen Arbeitsschritten:

1. Die Bezugsflächen, oder besser die Prismen über den Bezugsflächen, werden in kleinere Einheiten zerlegt. Die Summe der Volumina aller kleineren Einheiten einer Bezugseinheit ist gleich dem Volumen des ursprünglichen Prismas.
2. Die Höhe und damit das Volumen jedes der Teilprismen wird so verändert, daß ein stetiger Übergang an den Grenzen der Bezugseinheiten entsteht. Die dadurch bedingten Abweichungen im Ist-Volumen jeder Einheit wird so über die Teileinheiten verteilt, daß das Soll-Volumen für die Bezugseinheit wiederhergestellt wird. Dieser Schritt wird so oft wiederholt, bis eine Abbruchbedingung erfüllt ist.

Abb. 3 soll den Verlauf einer Iteration mit Testdaten verdeutlichen. Der Restfehler (Abweichung von der idealen Stetigkeit) geht sehr schnell zurück. Zwischen Iterationsschritt 5 und 7 sind visuell kaum noch Unterschiede auszumachen.

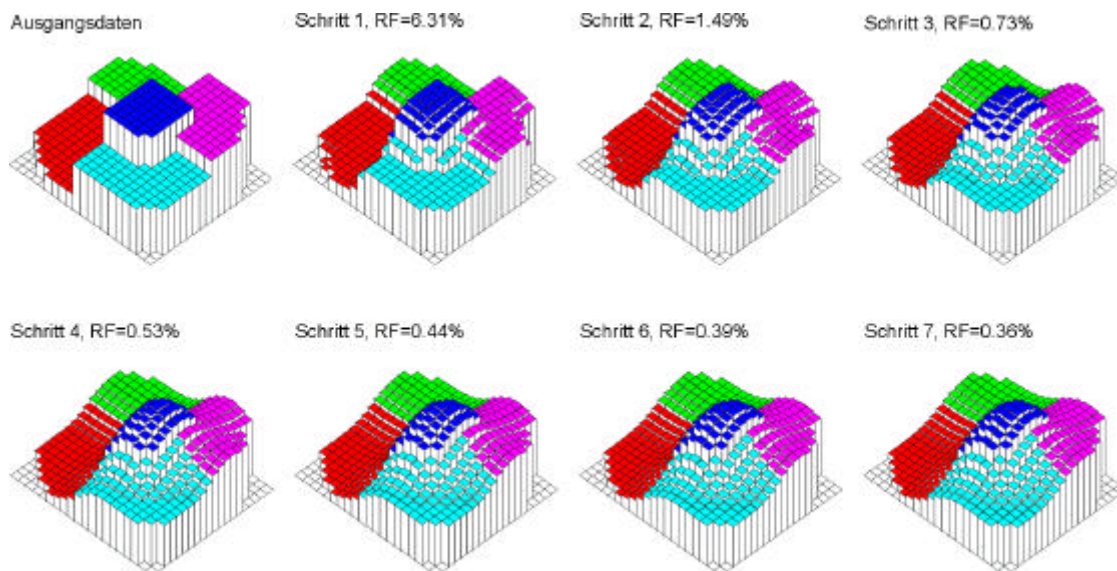


Abb. 3 Iteration mit Testdaten (RF = Restfehler)

Durch die Umlegung der Polygongrenzen auf ein regelmäßiges Gitter entstehen Quantisierungsfehler, die sich insgesamt ausgleichen, aber im Einzelfall zu lokalen Problemen führen können. Der Fehler verringert sich zwar mit zunehmender Auflösung des Gitters. Bei zu kleiner Maschenweite neigt allerdings das Verfahren zur Bildung von flachen Plateaus, ein nicht immer erwünschter Effekt. In einem unregelmäßigen Dreiecksnetz (TIN) können linienförmige Elementen-

te bis zum gewünschten Genauigkeitsgrad erhalten bleiben. Deshalb wurde das Verfahren der pyknophylaktischen Interpolation auf die Modellierung der Oberfläche in einem unregelmäßigen Dreiecksnetz und die Berücksichtigung von Barrieren erweitert (Rase 1999). Die Arbeitsschritte sind grundsätzlich die gleichen wie beim regelmäßigen Gitter. Die Berechnungsvorgänge sind etwas aufwendiger, weil einige algebraische und algorithmische Vereinfachungen wie beim regelmäßigen Gitter nicht möglich sind.

In Abb. 4 ist eine Oberfläche dargestellt, die aus einem Indikator für die Bewertung der landschaftlichen Attraktivität für jeden Kreis interpoliert wurde (Irmen 1994). Der Indikator, aus verschiedenen Variablen zusammengesetzt, soll das regionale Potential für Erholung und Fremdenverkehr repräsentieren.

Landschaftliche Attraktivität

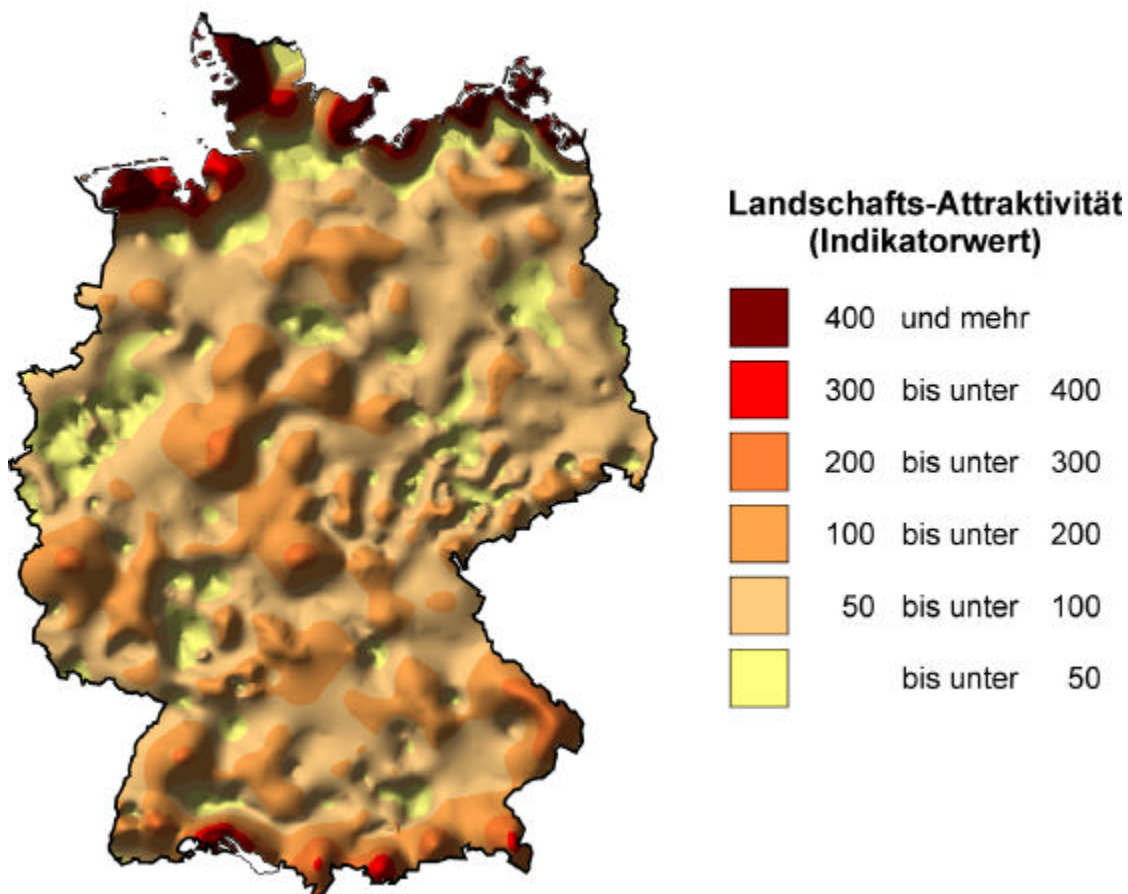


Abb. 4 Oberfläche der landschaftlichen Attraktivität

In Abb. 5 ist eine Oberfläche der Bevölkerungsdichte dargestellt, die aus den Einwohnerzahlen in den Raumordnungsregionen der Bundesrepublik Deutschland interpoliert wurde. Die Oberfläche ist das kontinuierliche Äquivalent zur Choroplethenkarte in Abb. 1. Um Mißverständnissen vorzubeugen: Die Oberfläche gibt nicht die tatsächliche Verteilung der Bevölkerung wieder, sondern ist ein gedankliches Modell für den Analyse- und Handlungsbedarf in der großräumigen Planung. Wenn die wirklichkeitstreue Darstellung der Bevölkerungsverteilung das Ziel wäre, würde man eine kleinere räumliche Einheiten wählen, etwa Gemeinden.

4 Darstellung der Oberflächen

In den Abbildungen werden einige der wichtigsten Darstellungsverfahren für immaterielle Oberflächen angewendet. Eine eingehende Beschreibung der technischen Einzelheiten und der spezifischen Vor- und Nachteile der Verfahren findet man in Rase (1998).

In Abb. 2 und 5 sind die Oberflächen durch Linien gleichen Abstandes von der Bezugsfläche repräsentiert. In Abb. 2 sind das *Isochronen*, also Linien gleicher Zeitentfernung von einer Gemeinde zum nächsten IC-Bahnhof. In thematischen Karten werden die Flächen zwischen den Isolinen oft mit einer Signatur ausgefüllt, um die Klassenzugehörigkeit und die Reihenfolge der Klassen deutlicher auszudrücken, wie in Abb. 2, 4 und 5. Man erspart sich dadurch auch die Wertangabe an den Isolinen oder eine andere Form der Identifikation des Höhenwerts, etwa durch Liniensignaturen.

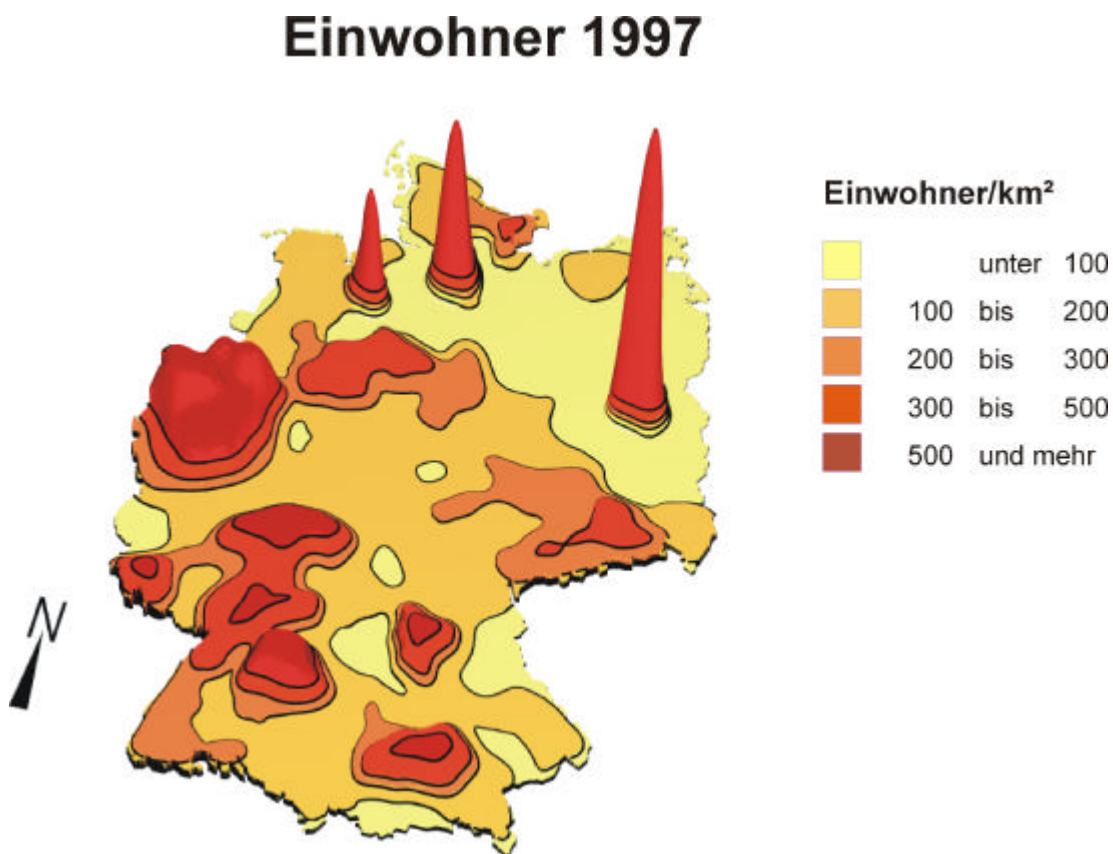


Abb. 5 Kontinuierliche Oberfläche der Bevölkerungsdichte in der Bundesrepublik Deutschland (Bezugseinheiten: Raumordnungs-Regionen)

Isolinien und Isoflächen allein haben den Nachteil, daß keine weitere Differenzierung der Oberflächenwerte und -formen zwischen den Isolinen-Niveaus dargestellt werden kann. Die *simulierte Beleuchtung* mit einer Hauptlichtquelle aus Nordwest und möglicherweise weiteren Lichtquellen zur Aufhellung der Schattenhänge macht Einzelheiten der Oberfläche deutlich, die Isolinen nur bei sehr dichter Scharung vermitteln können (Abb. 4). Da die simulierte Beleuchtung (auch Schummerung oder analytische Schattierung genannt) mehr dem alltäglichen Sehen entspricht als die Isoliniendarstellung, sind auch weniger geübte Kartennutzer in Politik und Verwaltung in der Lage, die Einzelheiten der Oberfläche ohne große Mühe und Zeitaufwand zu erfassen. Die simulierte Beleuchtung kann mit Isoflächen kombiniert werden, die die absolute Höhe repräsentieren (Abb. 4).

Die simulierte Beleuchtung bewirkt geringfügige Farbveränderungen der Isoflächen. Deshalb darf die Anzahl der Klassen nicht zu hoch sein, damit die Farben und damit die Höhengschichten trotz der Helligkeitsvariation noch unterscheidbar bleiben. Die redundante Nutzung der visuellen Variablen und Darstellungstechniken, also die Kombination von Linien, Flächen und Helligkeitsvariationen zur Darstellung eines Sachverhalts, erleichtert die Erfassung und verbessert die Übermittlung der Botschaft in der Karte. Bei nichtredundanter Anwendung der visuellen Variablen kann man auch mehr als eine thematische Variable (neben den Dimensionen der Bezugsebene) übermitteln. Hier ist aber große Zurückhaltung angebracht. Nicht alles, was technisch möglich ist, fördert auch die optimale Übermittlung der Botschaft.

Die perspektivische Darstellung der Oberfläche in Abb. 5 entspricht noch mehr der alltäglichen Wahrnehmung und erleichtert die Übermittlung der kartographischen Botschaft. Die Form der Oberfläche und die Verteilung der Höhenwerte sind sehr schnell erfassbar, wieder mit dem Blick auf ungeübte Nutzer in der großräumigen Planung. Die Darstellung ist aufgrund der perspektivischen Verkürzung nicht ausmeßbar, Teile der Oberfläche können verdeckt sein. Die topographische Orientierung ist relativ schwierig, auch mit zusätzlichen Bildelementen wie Ortsnamen oder Grenzen.

Die Annäherung an die normalen Sehgewohnheiten wird weiter gesteigert durch „echte“ 3D-Darstellungen von Oberflächen, etwa Stereogramme in unterschiedlichen technischen Realisierungen (Buchroithner 1999). Diese Techniken haben den Nachteil, daß mehr oder weniger großer technischer Aufwand sowohl bei der Herstellung als auch beim Betrachten notwendig ist, zum Beispiel spezielle Brillen und Graphikgeräte.

5 Fazit

Für Anwendungen in der großräumigen Planung, etwa für die Analyse der räumlichen Situation und zur Synthese von Raumentwicklungskonzepten, lassen sich viele Variablen und Indikatoren auch als Kontinua modellieren und darstellen. Für die Interpolation des Kontinuas und für seine Darstellung sind die adäquaten Modelle, Methoden und Techniken zu wählen, etwa für flächenbezogene Daten ein volumenerhaltendes Interpolationsverfahren. Bei der kartographischen Darstellung der Oberflächen ist zu beachten, daß die typischen Zielgruppen in der großräumigen weniger erfahren im Kartenlesen sind. Deshalb sollten Darstellungstechniken bevorzugt werden, die den alltäglichen Sehgewohnheiten angenähert sind. Die Darstellung von mehr als drei Dimensionen ist durch die Kombination visueller Variablen möglich, aber mit großer Zurückhaltung anzuwenden.

6 Literatur

- BfLR (1995), Trendszenarien der Raumentwicklung in Deutschland und Europa. Beiträge zu einem Europäischen Raumentwicklungskonzept. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn
- Brückler, M., Dumfarth, E. (1996), Erstellung von Bodenpreiskarten durch GIS-gestützte räumliche Interpolation. In: Dollinger, F., Strobl, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VIII, Salzburger Geographische Materialien, H. 24, 39-50
- Buchroithner, M. (1999), Möglichkeiten „echter“ 3D-Visualisierungen von Geo-Daten. In: Strobl, J. Blaschke, Th. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1999. Wichmann, Heidelberg, 86-93
- Freitag, U. (1971), Semiotik und Kartographie. Über die Anwendung kybernetischer Disziplinen in der theoretischen Kartographie. Kartographische Nachrichten, 21. Jahrgang, Heft 3, 171-182
- Irmen, Eleonore (1995), Strukturschwäche in ländlichen Räumen - ein Abgrenzungsvorschlag. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn, Arbeitspapiere 15/1995
- Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J., Mark, D. (1978), Digital representation of three-dimensional surfaces by triangulated irregular networks (TIN). Proceedings Digital Terrain Modeling Symposium, May 1978, ASP, 516-540

- Rase, W.-D. (1998), Modellierung und Darstellung immaterieller Oberflächen. Forschungen des BBR, Band 89, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn
- Rase, W.-D. (1999), Volume-preserving interpolation in triangular irregular network (TIN). Arbeitspapier. <http://www.t-online.de/home/Wolf.Rase/pycno.pdf>
- Renka, R. J. (1996), Algorithm 752: SRFPACK: Software for scattered data fitting with a constrained surface under tension. ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 22, No. 1, March 1996, 9-17
- van der Schans, R. (1999), Grenzüberschreitende Interaktionen mit Modellen und Karten – Grensoverschrijdende interactie met modellen en kaarten. Niederländisch-Deutscher Kartographie-Kongress, 17.-20. Mai 1999, Maastricht
- Shepard, D. (1968), A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings ACM National Conference 1968, 517-524
- Späth, H. (1991), Zweidimensionale Spline-Interpolations-Algorithmen. Oldenbourg München
- Tobler, W. R. (1979), Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. Journal of the American Statistical Association, Vol. 74, No. 357, 519-535