

GIS als Werkzeug zur Regionalisierung von Klimadaten

V. Mues, M. Jansen, J. Saborowski und R. Schulz

Institut für Forstliche Biometrie und Informatik
Georg-August-Universität Göttingen

Zusammenfassung

Im Rahmen der Regionalisierung stellen Geographische Informationssysteme ein vielseitig verwendbares Hilfsmittel dar. Mit Hilfe des GIS können Variablen erzeugt werden, die eine Beschreibung der räumlichen Situation an den Meßstationen ermöglichen. Diese Variablen wurden zur Beschreibung der Repräsentanz der Meßstationen für das Zielgebiet, als Regressoren zur Aufklärung der Zielvariablenvarianz und zur Umsetzung und Darstellung der Regionalisierungsmodelle verwendet. Eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung eines Geographischen Informationssystems (GIS) ist die genaue Verortung der verwendeten Meßstationen.

Summary

Geographic Information Systems (GIS) have many uses in the regionalization of climatic elements. A GIS enables the definition of variables, with which the spatial situation at measurement stations can be described. These variables were used for the description of the representativeness of the measurement stations in competition to the test area, for a regression of the climatic target variables, and for the implementation and graphical representation of the regionalization models. An important prerequisite for the use of a Geographic Information System in the process of regionalization is the precise knowledge of the position of the underlying measurement stations.

1 Einleitung

Regionalisierung im Sinne dieses Vortrages meint die Übertragung punkthaft vorliegender Informationen auf das gesamte Regionalisierungs- bzw. Zielgebiet. Ausgangsdaten waren 30-jährige monatliche und jährliche Mittelwerte (1961 bis 1990) von Messungen der Klimaelemente Niederschlagssumme, Lufttemperatur und relative Luftfeuchte an Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Im Fall der Niederschlagssummen konnten die Daten durch Messungen der Harzwasserwerke (HWW) im niedersächsischen Harz ergänzt werden. Die Datenbasis zur Regionalisierung der Lufttemperatur wurde durch Messungen des Institutes für Bioklimatologie auf einem Nord-Süd-Transekt im niedersächsischen Harz erweitert (s. MUES, in Vorb.).

2 Methodik

Nach der gewählten Regionalisierungsmethode wird zunächst die Unterschiedlichkeit bzw. die räumliche Verteilung der Meßdaten durch schrittweise lineare Regression auf die Verschiedenartigkeit physikalischer Größen an den Meßstationen (Meßsituation) zurückgeführt. Ähnliche Ansätze finden sich z.B. bei KLEIN (1994) oder BANZHAF (1994). Um die Einfachheit der Regression sicherzustellen und eine Überinterpretation der (Stichproben-) Daten zu vermeiden, wurden nur diejenigen signifikanten Regressoren aufgenommen, die das Bestimmtheitsmaß der Regression um mindestens 5 % verbessern konnten und plausible Regressionskoeffizienten hatten. Um die Überprüfbarkeit auf Plausibilität zu gewährleisten wurden nur physikalisch interpretierbare räumliche Variablen verwendet.

Im Fall der Niederschlagsdaten war durch den ausreichend großen Stichprobenumfang eine geostatistische Analyse der Regressionsresiduen mit anschließendem Residuenkriging (Universelles Kriging) möglich (vgl. SABOROWSKI & STOCK, 1994, KLEIN, 1994, BANZHAF, 1994 oder GOBMAN et al., 1993).

Die Meßsituation an den Meßstationen wird durch die Werte räumlich verteilter Variablen beschrieben. Das Geographische Informationssystem ARC/Info wurde in diesem Zusammenhang in drei Abschnitten der Regionalisierung verwendet:

- Generierung von erklärenden räumlichen Variablen zur Beschreibung der Meßsituation
- Überprüfung der Repräsentanz
- Umsetzung der Regionalisierungsmodelle

2.1 Generierung der räumlichen Variablen

Eine Einteilung der zur Beschreibung der Meßsituation verwendeten Variablen kann sich nach der zu ihrer Herleitung benötigten Information richten:

- a) Geographische Lage (**Rechtswert, Hochwert, Abstand zur Küste**, Abstand zur Küste in NW-Richtung)
- b) Höhenmodell (**Geländehöhe, Hangneigung, Hangrichtung, Insolation, Relative Exponiertheit, Einzugsgebietsgröße, Leewirbel-, Lee- und Luv-Effekte**)
- c) Landnutzung (**Anteil bebauter Fläche, Gewässeranteil**, Anteil mit Bäumen bestockter Fläche, Anteil landwirtschaftlich genutzter Fläche)

Fett gedruckte Variablen konnten in den Modellen zur Regionalisierung der oben genannten Klimaelemente erfolgreich verwendet werden. Zu ihrer Herleitung wurden verschiedene GIS-Techniken verwendet, die hier kurz beschrieben werden sollen. Im Rahmen dieses Beitrags können nicht alle Varianten dieser Variablen dargestellt und erläutert werden.

Die räumlichen Variablen wurden in Form von Rasterdaten im GIS generiert und an den Meßstationen gültige Werte durch bilineare Interpolation aus den Werten der vier umliegenden Zellmittelpunkte bzw. Rasterwerte gewonnen.

Variablen der geographischen Lage sind entweder Bestandteil der benötigten Ausgangsinformationen zu den Meßstationen (Rechtswert und Hochwert) oder sie können durch vordefinierte Funktionen (z. B. eucdistance) mit dem GIS aus der Lage der Stationen bezüglich interessanter Geländeobjekte ermittelt werden (z. B. Abstand zur Küste).

Aus den Rasterdaten des Höhenmodells können durch bestehende Funktionen des GIS weitgehend bekannte Informationslagen wie Hangneigung und Hangrichtung abgeleitet werden. Für die Berechnung anderer höhenabhängiger Variablen wurde u.a. eine Funktion verwendet, die das Auftreffen eines Strahls aus einer anzugebenden Richtung simuliert (hillshade => Relative Exponiertheit). Vorgelagerte Höhenzüge oder die Lage an der Rückseite eines steilen Hanges lassen den simulierten Strahl nicht auf die betrachtete Zelle C_0 treffen. Dadurch kann die Offenheit eines Geländepunktes bezüglich einer oder, durch wiederholte Anwendung der Funktion, auch mehrerer Richtungen quantifiziert werden.

Das Höhenmodell ermöglichte es zudem, die Anzahl derjenigen Zellen zu bestimmen, die, dem Weg der stärksten Hangneigung folgend, theoretisch in eine vorgegebene Zelle C_0 des Rasters entwässern (flowaccumulation => Einzugsgebietsgröße). Diese Anzahl wurde zunächst auf 2000 Zellen (Rasterweite 50 m) beschränkt, was einem Gebiet von 500 ha entspricht. Die Quadratwurzel dieses Wertes wurde im Zusammenhang mit der Regionalisierung der Lufttemperatur als Index für den potentiellen Kaltluftabfluß verwendet.

Für die Generierung anderer Variablen (z.B. Leewirbel-, Lee- und Luv-Effekte) wurden GIS-Funktionen verwendet, die aus den Zellen eines Ausgangsrasters einen Funktionswert für eine frei definierbare Umgebung um die jeweilige Zielzelle C_0 berechnen (z.B. focalsum, focalmax, focalmin, focalrange). Dies ermöglicht eine sehr flexible Betrachtung und Analyse der Zellumgebungen. Der Luv-Index ist beispielsweise als Differenz der Geländehöhe am Ort

der Zielzelle C_0 und der maximalen Geländehöhe in nach Osten gewandten Kreissektoren mit Radien von 200 bis 2000 Metern definiert.

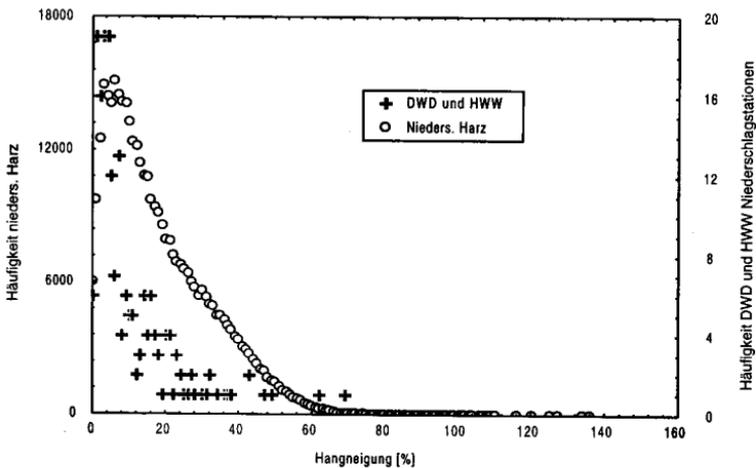
Die Variablen der Landnutzung wurden aus klassifizierten Satelliten-Rasterdaten unter Verwendung von Umgebungsfunktionen als prozentualer Anteil der jeweiligen Landnutzung in kreisförmigen Umgebungen berechnet. Die Betrachtung einer Umgebung mit 2 km Radius führte zumeist zu den räumlichen Variablen mit dem höchsten Erklärungspotential für die räumliche Verteilung der Klimatelemente.

2.2 Überprüfung der Repräsentanz

Vergleiche der Verteilungen aller Rasterwerte des Zielgebietes mit den Verteilungen der für die Meßstationen ermittelten Werte der räumlichen Variablen ermöglichen die Beurteilung der Repräsentanz der Meßnetze. Dies geschah einerseits durch die graphische Gegenüberstellung in einem zweidimensionalen Koordinatensystem (Abbildung 1), andererseits durch beschreibende Statistiken zu beiden Verteilungen (Tabelle 1).

Durch eine graphische Gegenüberstellung der Verteilungen der räumlichen Variablen können Repräsentanzmängel schnell erkannt werden. So zeigt beispielsweise Abbildung 1, daß die maximale Hangneigung der Stationen ca. 70 % beträgt, die Werte im Raster aber noch weit darüber liegen. Ein solcher Mangel an Repräsentanz kann aber durch das GIS nicht nur erkannt sondern auch durch die Zahl der Zellen mit Werten außerhalb des Bereiches der Stationen quantifiziert werden. Schon durch die Darstellung der Verteilungen in Abbildung 1 wird so deutlich, daß nur ein sehr kleiner Teil des Zielgebietes nicht durch die Stationen vertreten wird.

Abbildung 1: Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilungen des Rasters Hangneigung zur Beschreibung des Zielgebietes und der Hangneigung an den Stationen des DWD/HWW-Datenkollektivs für das Gebiet des niedersächsischen Harzes



Die in Abbildung 1 dargestellten Verteilungen können auch deskriptiv beschrieben werden. Eine solche Untersuchung auf Repräsentanz der verwendeten Meßstationen für das Zielgebiet Hessen führte Vent-Schmidt (1985) mit dem Vergleich von Verteilungen der Geländehöhe durch. Ein Beispiel für den Vergleich deskriptiver Statistiken zu den Verteilungen von zwei Variablen (Geländehöhe und Leewirbel-Effekt) wird in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Beschreibende Statistiken zur Überprüfung der Repräsentanz der DWD-Temperaturstationen für das Zielgebiet Niedersachsen

	Wertebereich an 45 DWD-Stationen		Wertebereich der Rasterzellen	
	Geländehöhe	Leewirbel-Effekt	Geländehöhe	Leewirbel-Effekt
mean	137	42	64	28
std	227	66	92	61
min	0	0	-11	0
max	1132 ¹⁾	262	953	1096

Ein Vergleich der Statistiken der Variablen Geländehöhe zeigt, daß die Stationen durchschnittlich, im Verhältnis zum Höhenspektrum im Zielgebiet aber nur geringfügig, über dem Mittelwert des Zielgebietes liegen. Die Standardabweichung liegt ebenfalls über derjenigen des Zielgebietes. Der Wertebereich des Zielgebietes von -11 m bis 953 m ü. NN wird durch die Stationen jedoch praktisch völlig abgedeckt, weshalb hier eine Repräsentanz des Temperaturdatenkollektivs bezüglich dieser Variablen angenommen werden kann.

Ein anderes Ergebnis zeigen die beiden Verteilungen der Variable Leewirbel-Effekt. Während Mittelwerte und Standardabweichungen fast identisch sind, zeigt sich durch den Vergleich der Maxima eine erhebliche Repräsentanzlücke bezüglich dieser Variable. Wie weitere Untersuchungen zeigen, gilt dieser Mangel an Repräsentanz nur für einen geringen Teil des Gesamtgebietes. Werden für das Datenkollektiv jedoch lineare Beziehungen zwischen der Zielvariable und einer räumlichen Variablen mit reduzierter Repräsentanz gefunden, können sie nicht problemlos auf das gesamte Zielgebiet übertragen werden. Vorschläge zur Behandlung dieses Problems finden sich bei MUES (in Vorb.).

2.3 Umsetzung der Regionalisierungsmodelle

Im GIS generierte räumliche Variablen stehen im Gegensatz zu vor Ort an den Meßstationen erhobenen Variablen als Raster für das gesamte Zielgebiet zur Verfügung. Dies ist notwendig für die flächendeckende Anwendung der Regionalisierungsmodelle.

Eine GIS-gestützte Umsetzung von Regionalisierungsmodellen ermöglicht eine schnelle und ansprechende Visualisierung und damit, bei ausreichender Sach- und Gebietskenntnis, eine weitere Überprüfung der Modelle auf Plausibilität.

Räumliche Variablen können zudem zu einer Einteilung des Zielgebietes in homogenere Teilgebiete verwendet werden. Die dadurch notwendige Definition von Übergangsbereichen zur Interpolation unterschiedlicher Regionalisierungsmodelle in den Teilgebieten ist mit Hilfe des GIS ebenfalls problemlos zu realisieren.

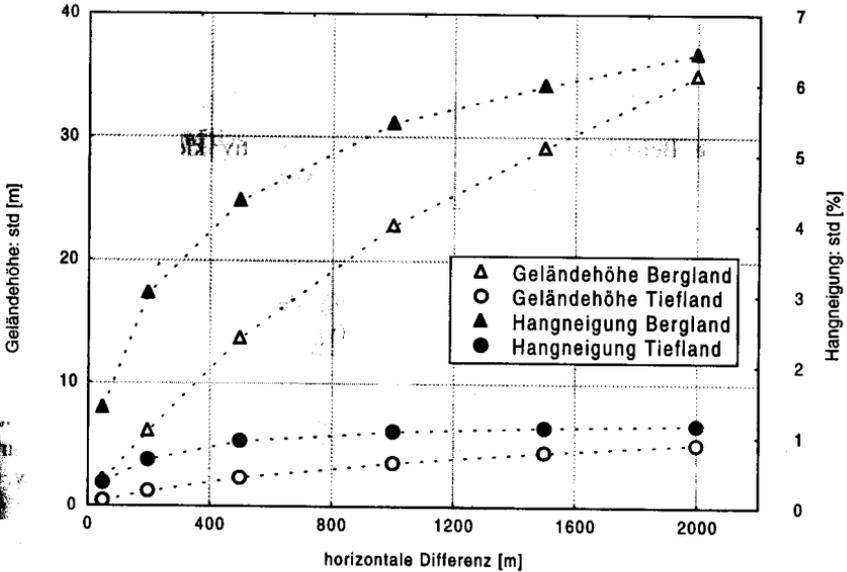
3 Lagegenauigkeit der Stationen

Die wichtigste Voraussetzung für die Nutzung eines GIS im Rahmen der Regionalisierung ist die genaue Verortung der verwendeten Meßstationen, d.h. die genaue Bestimmung der Lage in Form von Koordinaten. Durch Fehler in der Verortung können z. T. erhebliche Folgefehler bei der Ermittlung der Werte von räumlichen Variablen entstehen. Das Ausmaß der Folgefehler ist dabei abhängig von der Variabilität der betreffenden Variablen im Unter-

¹⁾ Station „Brocken“ liegt in Sachsen-Anhalt, außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes

suchungsgebiet und damit auch von der Definition der Variablen. Zur Quantifizierung möglicher Fehler durch ungenaue Verortung wird hier die durchschnittliche Standardabweichung der Variablen Geländehöhe und Hangneigung in kreisförmigen Umgebungen verschiedener Radien um die Meßstationen der verwendeten DWD-Niederschlagstationen in Niedersachsen dargestellt (Abbildung 2).

Abbildung 2: Fehler durch ungenaue Verortung bei der Ermittlung von Werten der räumlichen Variablen Geländehöhe und Hangneigung



Wie Abbildung 2 zu entnehmen ist, liegt für beide Variablen der durchschnittliche Fehler durch ungenaue Verortung im Bergland stets über dem für das Tiefland. Je höher die Variabilität der räumlichen Variablen im Untersuchungsgebiet ist bzw. je stärker das Gelände reliefiert ist, desto genauer muß die Verortung der Stationen erfolgen.

Der durchschnittliche Fehler durch ungenaue Verortung bei der Bestimmung der Geländehöhe ist im Verhältnis zum Wertespektrum im Zielgebiet (Bergland: 35 m bis 953 m, Tiefland: -11 m bis 172 m) jeweils relativ gering. Im Fall der Hangneigung erreicht er einen relativ gesehen größeren Wert (Bergland: 0 % bis 136 %, Tiefland: 0 % bis 63 %). Die starke Zunahme des Fehlers für die Hangneigung im Bergland bei bereits geringer horizontaler Differenz zwischen wahren und angenommenem Standort erscheint bemerkenswert.

4 Verlegung von Meßstationen

Im Falle der DWD-Stationen konnte die Lage der Stationen nach Lagebeschreibungen, Koordinaten und Skizzen grundsätzlich mit einer Unsicherheit deutlich unter 50 m ermittelt werden. Ein Problem stellen jedoch Verlegungen von Stationen während der Beobachtungszeit dar. Da die Stationen zumeist von ehrenamtlichen Mitarbeitern des DWD in der Nähe ihrer Wohnungen betreut werden, ist mit dem Wechsel eines Betreuers fast immer auch die Verlegung der Station verbunden. Der DWD versucht ähnliche örtliche Gegebenheiten bei einem möglichst geringen räumlichen Abstand zu finden, dies ist aber vor allem in stark reliefiertem Gelände nicht immer möglich. Die beispielsweise aus den

Verlegungen der Station „Sieber/Harz“ resultierenden Konsequenzen für die Meßsituation können durch die Veränderungen der Werte einiger Variablen dargestellt werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Meßsituation der Station Sieber/Harz im Zeitraum 1961 bis 1990

Pos.	Meßperiode	Gelände- höhe [m ü. NN]	Hang- richtung [°]	Hang- neigung [%]	Rel. Expo- niertheit (0 bis 36)	Einzugs- gebiet (0 bis 2000)	Abstand zur Küste [m]
1	7/46 - 11/62	330,6	324,5	12,9	8,0	2000	237241
2	11/62 - 11/63	343,5	129,8	19,7	10,2	829	237118
3	11/63 - 9/73	323,0	143,9	11,4	6,1	2000	237510
4	Seit 9/73	336,0	308,7	6,4	8,0	2000	237174

Das hier dargestellte Beispiel zeigt, daß vor allem die relativ kleinräumig definierten Variablen Hangrichtung und Hangneigung Unterschiede zwischen den Positionen der Station „Sieber“ beschreiben. Lediglich die Variable Einzugsgebiet zeigt ebenfalls eine starke Abweichung der räumlichen Situation von Position 2 im Vergleich zu den anderen drei Positionen an.

Die durch Stationsverlegungen bedingte Veränderung der Meßsituation während des Beobachtungszeitraumes sollte berücksichtigt werden (vgl. MUES, in Vorb.). Dies erfolgte durch eine zeitgewichtete Mittelwertbildung der für die einzelnen Meßorte ermittelten Variablenwerte. Die mit diesen gewichteten Mittelwerten ermittelten monatlichen Regressionsmodelle zeichneten sich im Vergleich zu denen, die mit ungewichteten Variablenwerten (für die zuletzt bekannte Verortung der Station) entwickelt wurden, allgemein durch eine etwas höhere Bestimmtheit sowie durch höhere Konsistenz bzw. eine einheitlichere Beteiligung der Regressoren aus.

Literatur

- Banzhaf, E. (1994): Die Regionalisierung der Wärmebelastung in Mainfranken anhand von Geofaktoren. Freiburger Geographische Hefte 43, Hrsg. Goßmann H.
- Goßmann, H., E. Banzhaf und G. Klein (1993): Regionalisierung ökologischer Daten – alte Aufgaben, neue Lösungswege; Das Freiburger Regionalisierungsmodell FREIM. Würzburger Geographische Arbeiten 87: 391-417
- Klein, G. (1994): Regionalisierung von Niederschlag mit Hilfe digitaler Geländeinformationen. Freiburger Geographische Hefte 44, Hrsg. Goßmann H.
- Mues, V. (in Vorbereitung): GIS-gestützte Regionalisierung von Klima- und Depositionsdaten in Niedersachsen. Dissertation an der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen
- Saborowski, J. und R. Stock (1994): Die Regionalisierung von Niederschlagsdaten im Harz. AFJZ 165 (7): 117 - 122
- Vent-Schmidt, V. (1985): A regression model for the calculation of the spatial distribution of mean air temperatures using an orographic data base; Meteorologische Rundschau 38 (6): 185-187