



Flächennutzungsmonitoring III Erhebung – Analyse – Bewertung

IÖR Schriften Band 58 · 2011

ISBN: 978-3-941216-68-6

Visualisierung von Ergebnissen der Arealstatistik der Schweiz mit Kriging- und Mischrasterkarten

Werner Meyer

Meyer, W. (2011): Visualisierung von Ergebnissen der Arealstatistik der Schweiz mit Kriging- und Mischrasterkarten. In: Meinel, G.; Schumacher, U. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring III. Erhebung – Analyse – Bewertung. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 58, S. 83-92.

Visualisierung von Ergebnissen der Arealstatistik der Schweiz mit Kriging- und Mischrasterkarten

Werner Meyer

Zusammenfassung

Die amtliche Statistik der Bodenbedeckung und Bodennutzung, die Arealstatistik der Schweiz, ist auf statistische Exaktheit für die ganze Schweiz und genügend große Teilräume ausgerichtet. Als Stichprobenerhebung ist sie allerdings für Karten nicht ohne weiteres verwendbar. Über die Bodenbedeckung und -nutzung der Fläche zwischen den Stichprobenpunkten ist nichts bekannt. Karten mit derartiger Datengrundlage können auf Nachbarschaftsanalysen mit Mehrheits- und Mischlogik aufbauen. Alternativen sind die hier vorgestellte Interpolationsmethode durch Kriging, die Mischrasterkarte und insbesondere die Kombination der beiden Verfahren.

1 Einführung

Die amtliche Statistik der Bodenbedeckung und Bodennutzung, die Arealstatistik der Schweiz, wird nach einer eigenen Methode und auf der Grundlage eines eigenen Nomenklatursystems geführt. Die Arealstatistik-Datenstruktur mit 4,1 Millionen Stichprobenpunkten in einem Raster von 100 x 100 Metern hat vor allem bei statistischen Auswertungen offensichtliche Vorteile. Ab Ende 2013 werden für drei Erhebungen im Abstand von jeweils 12 Jahren, also für zwei vergleichbare Zeitintervalle von Nutzungsänderungen, sehr detaillierte Klassifikationen flächendeckend für das ganze Land vorliegen. Für die gesamte Schweiz und genügend große Teilräume können so Stand und Veränderungen all dieser Klassen für die meisten Bedürfnisse genau beziffert werden. Ein Nachteil dieser Stichprobenmethode etwa gegenüber CORINE oder den AFIS-ALKIS-ATKIS-basierten Methoden zeigt sich demgegenüber im lokalen Maßstab. Genau genommen wissen wir nichts über die Bodenbedeckung und -nutzung der Fläche *zwischen* den Stichprobenpunkten. Für eine Karte *müssen* wir notwendigerweise eine Inter- oder Extrapolationstechnik benutzen. Das können Nachbarschaftsoperationen über einer Grid-Struktur¹ sein oder die hier vorgestellte geostatistische Interpolation (Kriging) und die Mischrasterkarte.

Im Folgenden werden die geostatistische Interpolation durch Kriging und die Mischrasterkarte am Beispiel von Zensus-Daten vorgestellt. Dann wenden wir uns der Arealstatistik zu und hier insbesondere der zeitlichen Dynamik, die anhand von Übergangsdigrammen, Kriging- und Mischrasterkarten visualisiert wird.

¹ Ein Beispiel dafür ist die Bodennutzungskarte: BFS 1994.

Ein Hauptanliegen ist die Diskussion von Vor- und Nachteilen der Mischrasterkarte für die Forschung und Präsentation gegenüber Kriging und Rasterarithmetik.

2 Kriging

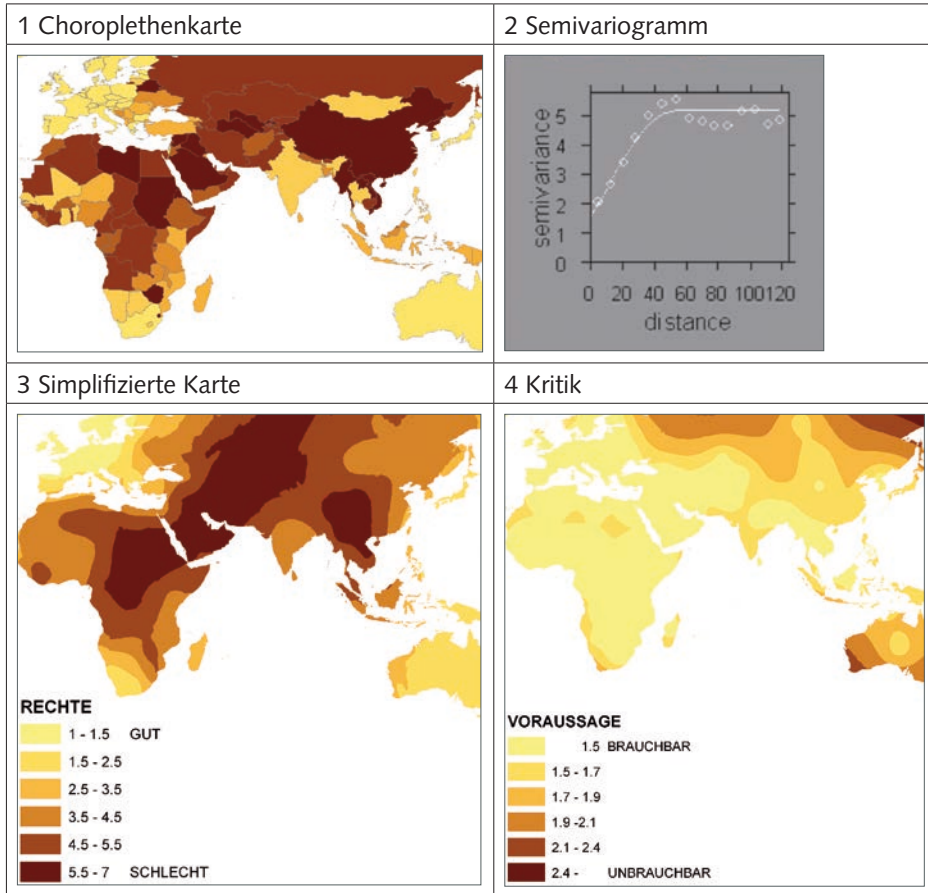


Abb. 1: Prinzip der Interpolation durch Kriging (Quelle: Meyer 2006)

Eine Choroplethenkarte (1) von Ländern zum Thema bürgerlicher Rechte sieht relativ komplex aus. Ein Semivariogramm (2) beweist, dass räumliche Muster darin stecken. Räumlich benachbarte Länder sind ähnlich (un)demokratisch. Die durch Kriging simplifizierte Karte (3) zeigt in brauner Farbe einen „Band wenig demokratischer Länder“ vom Kongo über Saudi-Arabien bis nach Zentralasien. Das ist aber nur eine Teilwahrheit. Die Karte (4) der Abweichungen effektiver von den im Muster erfassten Werten² ist beträchtlich. Nur gut ein Drittel (Korrelation von $r = 0.64$, quadriert 0.41) der Information

² Dazu wird eine Kreuzvalidierung gerechnet. Jeder Datenpunkt (hier Wert eines Landes) wird aus den Daten eliminiert und aus den restlichen Daten geschätzt.

stimmt. Kriging gibt so ein Feedback, ob wirklich ein Muster in den Daten steckt. Ausführliche Erläuterungen finden sich in Artikeln des Autors (siehe Literatur).

3 Voraussetzungen für Rasterkarten

Unter Rasterkarten werden hier Karten verstanden, die folgende Bedingungen erfüllen:

- Der Raum ist ein kontinuierlich variierendes Feld, nicht ein leerer Raum mit Objekten.
- Nur ein Thema mit einer räumlichen Autokorrelationsstruktur eignet sich für eine solche Karte.
- Rasterkarten sollen ein Muster zeigen.
- Dieses Muster wird durch zwei Hilfsmittel hervorgehoben:
 - Grafisch durch Techniken, die ähnlich funktionieren wie Fotobearbeitung: Kontrast verstärken bei feinen Mustern, aber weichzeichnen bei groben (Tiefpass- oder Hochpassfiltern).
 - Skizzen des Musters dienen als Interpretationshilfe.
- Ein breiter Bereich von Maßstäben verlangt nach adäquater Symbolisierung und Projektionen.

4 Mischrasterkarten für die Volkszählung

Der Zweck von Mischrasterkarten ist es, statistische Merkmale unabhängig von regional stark variierenden Dichten (beispielsweise zur Bevölkerung) zuverlässig darzustellen. Das kann man durch Raster erreichen, die sich der Bevölkerungsdichte (automatisch) anpassen. Eine solche Karte besteht also aus einer Mischung von Rasterzellen unterschiedlicher Größe, wenn sie sich über Ballungsräume, ländliche Gebiete und Gebirge erstreckt. Gibt man pro Zelle eine Mindesteinwohnerzahl vor, die beispielsweise aufgrund von Datenschutznormen festgelegt wird, kann man auch Anforderungen erfüllen, die eine bestimmte Anzahl von Informationen pro Rasterzelle erfordern, ohne Zellen oder Informationen verstecken zu müssen (siehe Herrmann-Hahn 2009; Kaminger, Meyer 2007).

4.1 Grundprinzipien der Mischrasterkarte

4.1.1 Konzeptionelles Modell

Es werden Raster verwendet, die aus mehreren Ebenen bestehen (grobmaschigen oben und feinmaschigen unten). In der Regel wird auf möglichst tiefer (feinmaschiger) Ebene symbolisiert, wenn dazu in jeder Zelle genügend Merkmalsträger (Einwohner, Betriebe, Bauten) vorhanden sind.

4.1.2 Logisches Modell

Noch ohne Bezug auf eine konkrete Software zur Implementation sind folgende Punkte zum Vorgehen zu notieren:

- Multilevel-Konstrukt von Rastern verschiedener Maschengröße, von denen eine Zelle einer bestimmten Ebene jeweils vier Zellen der nächst unteren Ebene enthält.
- Karten, deren Symbolisierung auf Rasterzellen unterschiedlicher Größe basiert: so klein wie der Maßstab es erlaubt, um Details zu zeigen, aber groß genug, um die Symbolisierung auf genügend Einwohner zu stützen (kleinste Rasterzellen in Städten, größte Rasterzellen in den Voralpen). Wenn räumliche Autokorrelationen das Muster bestimmen wird dieses so verstärkt, weil genügende Fallzahlen die Varianz um das lokale Mittel des Merkmalsfeldes senken. Das sogenannte „Bildrauschen“ wird dadurch gedämpft.
- Es findet eine systematische Selektion der Zellen zum Symbolisieren statt im Gegensatz zu einer bloß grafischen Überdeckung der unteren durch obere Ebenen, wie sie im GIS automatisch geschieht.

4.1.3. Physisches Modell

Die Testimplementation benutzt in eine Datenbank und ein Desktop-GIS:

- Wir haben die Mischrasterkarte nur für Oracle/ArcGIS implementiert, aber so, dass die meisten Datenbanken/GIS das Rezept übernehmen können. Mit der portablen SQL wird eine Datenstruktur aufgebaut, die von jedem GIS verarbeitet werden kann, das in Ebenen Zellen filtern (selektieren) kann.
- Die Daten werden NICHT in den zu kartografierenden Rastern gehalten, sondern bei Volkszählungs- und Betriebszählungsdaten auf Gebäude-Niveau. Bei der Arealstatistik ist es ein Strichproben-Punktfile.
- Daraus werden für die kartografische Auswertung Attribute für Raster-Grids verschiedener Maschenweiten als sich überlagernde Ebenen bzw. Layer aggregiert. Erst hier fällt der Entscheid über die Projektion, die ein reguläres quadratisches Raster ergibt.
- Jede Zelle einer Ebene mit einer bestimmten Maschenweite bekommt dabei zusätzlich die Information, ob die Zelle der nächsthöheren Ebene neben ihr auch drei Nachbarn überdeckt, die ebenfalls gezeichnet werden dürfen.
- Desgleichen weiss jede Zelle, ob sie selbst vier Zellen der unteren Ebene bedeckt, für die das auch noch zutrifft.
- Im GIS wird dann der Stapel von Ebenen gefiltert dargestellt. Jede Zelle hat die Filterinformation um festzustellen: Ist das Darstellen bis zu mir herunter delegiert worden? Kann ich selbst nach unten delegieren? Bei JA/NEIN zeichne ich mich.

- Man könnte es sich auch einfach machen: Bei umgedrehten Stapel überdecken die feinen Rasterebenen grafisch die gröbereren und die Zellen müssen nur ihre Einwohnerzahl kennen. Dabei verliert man aber die „alle vier oder keine“ – Logik. Erarbeitet man eine Karte, die Ebenen semitransparent darstellt, scheint überdecktes wieder durch.

4.2 Beispiel Bevölkerung mit Hochschulabschluss

Zur Illustration des Potenzials von Mischrasterkarten wird der Prozentsatz der Bevölkerung mit Hochschulabschluss aus der Schweizer Volkszählung 2000 kartografisch dargestellt. Datenschutz- und Repräsentativitätsüberlegungen führen zu einem Limit von mindestens 100 Einwohnern pro Rasterzelle. Eine Rasterzelle wird nur in vier Unterzellen unterteilt, wenn dort mindestens 100 Personen wohnen (Abb. 2).

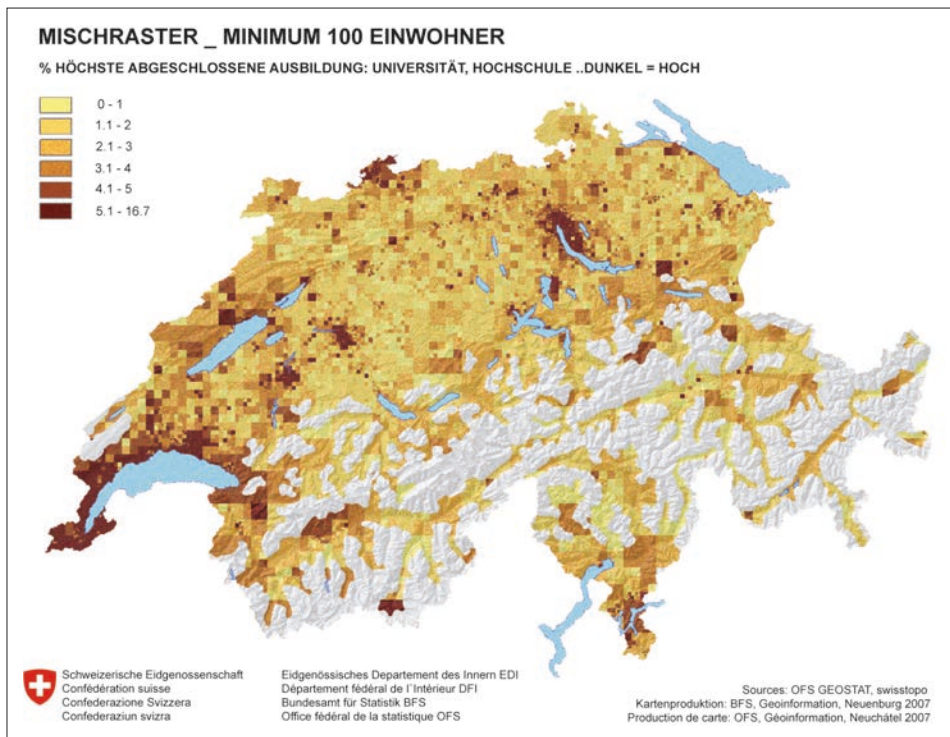


Abb. 2: Beispiel einer Mischrasterkarte (Quellen: BFS GEOSTAT, swisstopo)

5 Mischrasterkarten für die Arealstatistik

Die Arealstatistik in der Schweiz umfasst drei Zeitschnitte 1979/85³, 1992/97 und 2004/09 und damit zwei Veränderungsperioden von je 12 Jahren. Für die nachfolgend beschriebenen Analysen von Veränderungen stehen uns aus der dritten Erhebung allerdings erst 2,6 von 4,1 Millionen Punkten zur Verfügung (Publikationsstand Dezember 2010).

In der vorliegenden Analyse konzentrieren wir uns auf den Wandel in Form von relativen Übergangs-Häufigkeiten zwischen 27 Kombinationskategorien⁴ der Standard-Nomenklatur 2004 (NOAS04) und vergleichen diese zwischen den zwei Veränderungsintervallen, demonstriert am Grafen der häufigsten Kategorien-Übergänge. Beispielsweise war der Orkan „Lothar“ Ende Dezember 1999 hauptverantwortlich für eine gegenüber dem ersten 12-Jahres-Intervall mehr als doppelt so hohe Übergangshäufigkeit von geschlossenen zu offenen Waldbeständen. Kartografisch können solche Veränderungshäufigkeiten anschaulich gemacht werden, indem man diese Wahrscheinlichkeit der Typenübergänge mit Kriging interpoliert. Das erwünschte Resultat sind relativ einfache, mit einem Blick erfassbare Muster der räumlichen Verteilung der untersuchten Phänomene.

5.1 Warum Mischrasterkarten für die Arealstatistik?

Da die Arealstatistik eine homogene Stichprobendichte aufweist, führt eine für die gesamte Landesfläche identische Aggregation auf gleich große Rasterzellen im Allgemeinen zu einer guten regionalen Repräsentativität (Basis 100 Fälle bei einem Kilometer-Raster). Der Einsatz unterschiedlich großer Rasterzellen für die Darstellung der Resultate könnte in einem solchen Fall jedoch zur Sicherstellung einer definierten, minimalen Signifikanz der dargestellten Informationen jeder Rasterzelle in Betracht gezogen werden. Wenn man Veränderungen untersucht, werden Mischrasterkarten zur Notwendigkeit. In einer 12-Jahresperiode kann man im Bereich unter 1 100 Metern Höhe bei 27 Kombinationskategorien mit einem Kategorienwechsel von etwa 9 %, darüber von etwa 12 % rechnen. Kartographiert man Übergangshäufigkeiten und prozentuiert dabei auf die Anzahl Stichprobenpunkte einer bestimmten von 27 Startkategorien, wird man für die wenigsten Startkategorien auch nur 10 Punkte pro 1 x 1- oder 2 x 2-Kilometer-Raster finden.

5.2 Kategorien-Übergangs-Graphen

Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über alle Kategorienwechsel⁵ in den 12 Jahren zwischen 1992/97 und 2004/09 ab einer Mindesthäufigkeit von 0,6 %.

³ Die Jahreszahlen beziehen sich auf die Aufnahmezeitpunkte der ersten und letzten verwendeten Luftaufnahmen eines „Zeitschnittes“, der effektiv auf einem 6-jährigen Befliegungszyklus basiert.

⁴ Erfasst werden Bodenbedeckung und Bodennutzung separat und erst nachträglich kombiniert.

⁵ Zur Nomenklatur NOAS0427 siehe Beyeler 2010, S. 118. Weggelassen wurden „Besondere Siedlungsflächen“, weil sie meist transitorisch sind, etwa Großbaustellen.

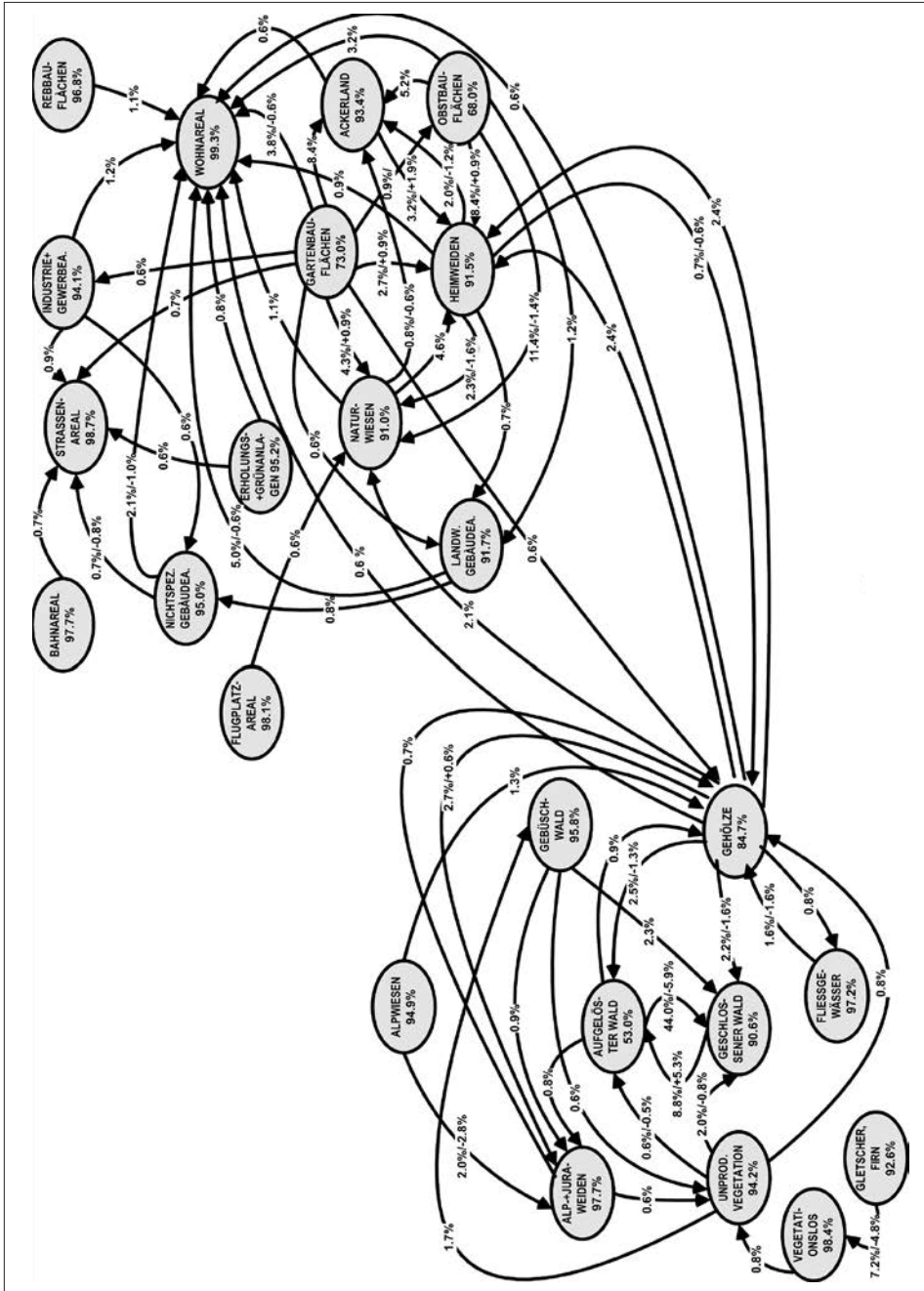


Abb. 3: Übergangshäufigkeiten zwischen den 27 Bodennutzungskategorien (Quelle: BFS-Arealstatistik, Originalgrafik)

Lesehilfe Abbildung 3: „8,8 %/+5,3 %“ am Pfeil zwischen den Knoten **GESCHLOSSENER WALD** und **AUFGEÖSTER WALD** heisst: 8,8 % der Stichprobenpunkte, die im Zeitschnitt 1992/97 zur Kategorie **GESCHLOSSENER WALD** gehören, wechseln im Intervall 1992/97 bis 2004/09 in die Kategorie **AUFGEÖSTER WALD**. Das sind +5,3 % mehr als im Intervall 1979/85 bis 1992/97. Alles wird bezogen auf die 2,6 Millionen Punkte, die für den Zeitschnitt 2004/09 bereits öffentlich verfügbar sind. Der Wert +5,3 % ist nicht relativ zu lesen, relativ bedeutet es mehr als eine Verdoppelung. Die 53,0 % im Knoten für **AUFGEÖSTER WALD** bedeutet, dass im Intervall 1992/97 bis 2004/09 nur gut die Hälfte der Punkte die Kategorienzugehörigkeit beibehält.

Die Dynamik zerfällt in einen Landwirtschafts-/Siedlungs-Prozess (rechts) und einen Prozess Natur/Weidenutzung links. Nur Gehölze verbinden beide Prozesse. Der häufigste Übergang in diesem Kategorienraster findet zwischen offenem und geschlossenem Wald statt (Mitte links). Wir wählen ihn daher für eine Beispiel-Mischrasterkarte aus.

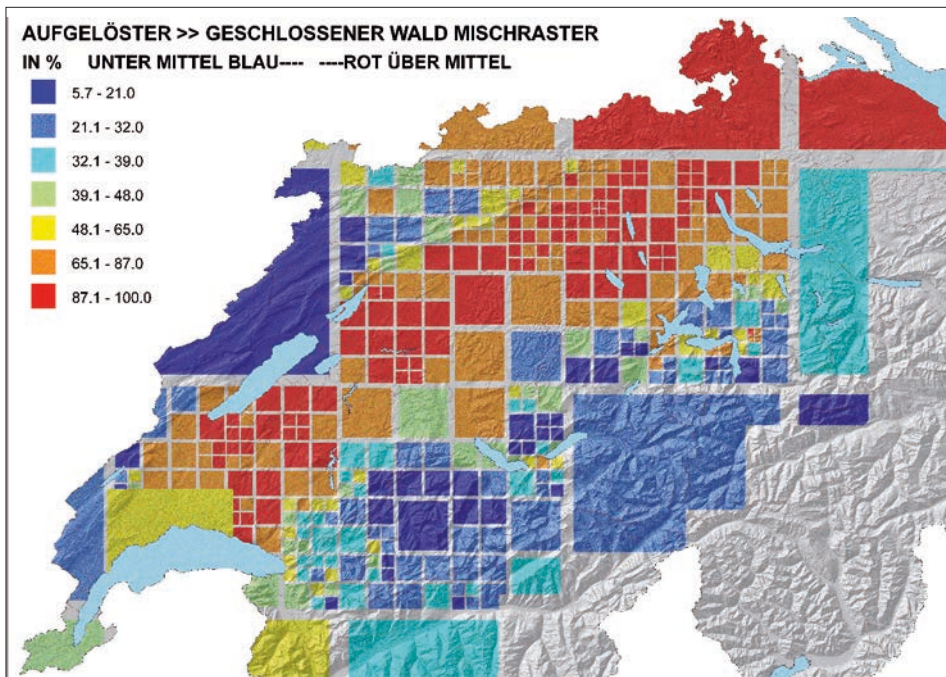


Abb. 4: Wandel von aufgelöstem zu geschlossenem Wald. Mischrasterkarte mit Kriging-Karte als Verdeutlichung des Musters (Quelle: BFS-Arealstatistik, Originalkarte)

Wir sehen, dass in der Ebene des Schweizer Mittellandes (Diagonale Südwest-Nordost) der Wald schnell zuwächst. Hier sind die Rasterzellen etwas auseinandergerückt, damit die Konstruktionslogik erkennbar wird. In der Produktion würden die Rasterzellen zusammenrücken. Wir können hier auch ein Methodenproblem bei Mischrasterkarten aufzeigen. Bei der großen Zelle neben der Legende können wir zwar die Grenzlage

korrigieren. Was machen wir aber mit der Bodenbedeckung See? Extrapolieren wir die Zuwachswahrscheinlichkeit in den See? Was machen wir analog beim Übergang zu Siedlungsflächen mit dem unüberbaubaren Wald?

6 Fazit und Ausblick

Die Schweizer Arealstatistik ist mit ihrem Stichprobendesign auf die exakte Erfassung des Zustandes und den Veränderungen von Bodenbedeckung und Bodennutzung größerer Raumeinheiten hin optimiert. Die Kartographie, die relativ kleine Raumeinheiten zeigt, ist dagegen weniger trivial als bei CORINE oder den AFIS-ALKIS-ATKIS-Quellen. Bisher wurden dazu hauptsächlich Raster-arithmetische Verfahren verwendet. Für die Endauswertung der dritten Arealstatistik-Runde 2013 werden am BFS Kriging und Mischrasterkarten evaluiert. Die Anwendung der Mischrasterkarten auf die Arealstatistik erfolgt in diesem Beitrag erstmals. Das wird aber durch ein weniger elegantes und vielleicht gewöhnungsbedürftiges Aussehen erkauft. Kriging und Mischrasterkarten werden hier jeweils nur auf *eine* Kategorie oder *einen* Kategorienübergang angewandt. Rasterarithmetische Verfahren schaffen demgegenüber auch multikategoriale Karten (lokale Dominanz, lokale Mischungen von Kategorien). Bei Kriging- und Mischrasterkarten von *Veränderungshäufigkeiten* ist eine multikategoriale Betrachtung unverzichtbar, bevor mit den visuellen Resultaten ein Trend ausgewiesen wird.

7 Literatur

- Beyeler, A. (2010): Arealstatistik der Schweiz – Methodik und aktuelle Ergebnisse. In: Meinel, G.; Schumacher, U. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring II. Konzepte – Indikatoren – Statistik. IÖR Schriften, Band 52. Berlin: Rhombos, S. 111-126.
- Bundesamt für Statistik (1994): Karte Die Bodennutzung der Schweiz 1:300'000. Swisstopo, Bern.
- Bundesamt für Statistik (2005): Arealstatistik Schweiz. Zahlen – Fakten – Analysen. BFS-Reihe Statistik Schweiz. Neuchatel.
- Herrmann-Hahn, C. (2009): Möglichkeiten der Verwendung statistischer Rasterdaten für die GIS-gestützte räumliche Analyse (Master Thesis). Onlinedokument: <http://www.unigis.ac.at/club/bibliothek/pdf/1318.pdf> (Zugriff 17.10.2011).
- Kaminger, I.; Meyer, W. (2007): Neue Raster-orientierte Statistik in Europa. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2007. Beiträge zum 20. AGIT-Symposium Salzburg, Heidelberg: Wichmann, S. 303-308. Onlinedokument: http://www.agit.at/php_files/myAGIT/papers/2007/6259.pdf (Zugriff: 17.10.2011).
- Meyer, W. (2005): Amtliche Statistik: bessere thematische Karten dank geostatistischen Verfahren. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2005. Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg, Heidelberg: Wich-

- mann, S. 437-446. Onlinedokument: http://www.agit.at/php_files/myAGIT/papers/2005/5157.pdf (Zugriff: 17.10.2011).
- Meyer, W. (2006): Zeig mir die Achse des Bösen. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2006*. Beiträge zum 18. AGIT-Symposium Salzburg, Heidelberg: Wichmann, S. 454-259. Onlinedokument: http://www.agit.at/php_files/myAGIT/papers/2006/5512.pdf (Zugriff: 17.10.2011).
- Meyer, W. (2007): Rasterkarten mit variablen Zellgrößen. Präsentation an der Statistiktage 2007, Luzern. Onlinedokument: <http://www.statoo.ch/sst07/presentations/Meyer.pdf> (Zugriff: 17.10.2011).
- Meyer, W. (2008): Globalisierung und lokaler Raum in Mischrasterkarten. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2008*. Beiträge zum 20. AGIT-Symposium Salzburg, Heidelberg: Wichmann, S. 848-853. Onlinedokument: http://www.agit.at/php_files/myAGIT/papers/2008/6891.pdf (Zugriff: 17.10.2011).
- Meyer, W. (2009): Schweizer Arealstatistik 3. Runde: Prognosefähig? In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2009*. Beiträge zum 21. AGIT-Symposium Salzburg, Heidelberg: Wichmann, S. 836-841.
- Meyer, W. (2010): Zur Geographie struktureller und direkter Gewalt. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2010*. Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg, Heidelberg: Wichmann, S. 899-904.