

Dynamik von Merkmalsräumen

Entwicklung und Vergleich von Methoden zur zeitlichen Interpolation am Beispiel des Weltanschauungsraums

Master Thesis

Author(s):

Bischof, Sandro

Publication date:

2001

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004363653>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

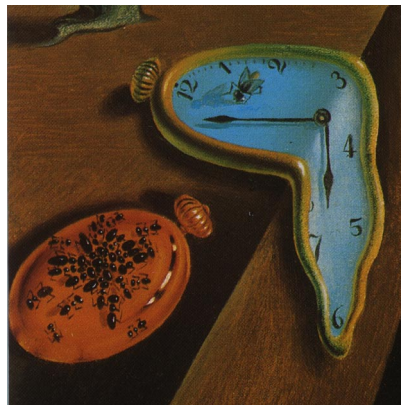
Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich

von

Sandro Bischof

Dynamik von Merkmalsräumen

Entwicklung und Vergleich von Methoden zur zeitlichen Interpolation am
Beispiel des Weltanschauungsraums



Sommer 2001

ausgeführt unter der Leitung von

dipl. geogr. M. Hermann

dipl. geogr. H. Leuthold

antragstellendes Fakultätsmitglied

Prof. Dr. K. Brassel

Sandro Bischof

Dynamik von Merkmalsräumen

Entwicklung und Vergleich von Methoden zur zeitlichen Interpolation
am Beispiel des Weltanschauungsraums

Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich,
ausgeführt unter der Leitung von dipl. geogr. Michael Hermann und dipl. geogr. Heiri Leuthold,
eingereicht bei Prof. Dr. K. Brassel im Sommer 2001

Quelle Titelbild: Salvador Dali (1931): «La persistance de la mémoire [Zerrinnende Zeit]», (Ausschnitt).
Museum of Modern Art, New York. © Rabe Verlag, Zürich.

Inhalt

Vorwort	vii
Zusammenfassung	xi
1 Einleitung	13
Merkmalsraum und Weltanschauungsraum	13
Zielsetzung und Fragestellung	14
Theoretische Position	15
Aufbau der Arbeit	16
2 Zeit und Wandel	19
2.1 Zeit	19
2.2 Sozialer Wandel	23
2.3 Veränderungen des Weltanschauungsraums	27
3 Faktorenanalyse und Messmodell	31
3.1 Faktorenanalyse	31
3.1.1 Lösungsschritte der Faktorenanalyse	33
3.1.2 Systematik	35
3.2 Daten und Messmodell	38
3.2.1 Raum der Weltanschauungen	38
3.2.2 Datenbasis	39
3.2.3 Messmodell	39
4 Entwicklung der Interpolationsmethoden	45
4.1 Systematik	45
4.2 Beschreibung der Methoden	47
4.2.1 Trendanalyse	48
4.2.2 Weighted Moving Focus	52
4.3 Vergleich der Methoden	57
5 Schlussfolgerungen	63
5.1 Antworten	63
5.2 Ausblick	67
Literatur	69
Anhang	71
A Verwendete Matrizen	71
B Rechnen mit Matrizen	72
B.1 Multiplikation zweier Matrizen	72
B.2 Transponieren einer Matrix	73
B.3 Diagonalmatrix	73
B.4 Die Inverse einer Matrix	74

Abbildungen

Abbildung 1-1 Die drei Konfliktachsen des Weltanschauungsraums	14
Abbildung 1-2 Anforderungen an die Methoden	17
Abbildung 2-1 Soziale Zeit und ihre Temporalitäten	22
Abbildung 2-2 Gesellschaftsmodelle	26
Abbildung 2-3 Relative Bewegung der Objekte im Weltanschauungsraum	29
Abbildung 3-1 Faktorenmuster mit Faktorladungen	33
Abbildung 3-2 Ablaufschema der Faktorenanalyse	34
Abbildung 3-3 Systematik der Methoden der Faktorenanalyse	37
Abbildung 3-4 Messungen, Abstimmungstermin und Abstimmungsvorlagen	40
Abbildung 3-5 Messwert und Ja-Stimmenanteil	40
Abbildung 3-6 Faktormodell und Messmodell	41
Abbildung 3-7 Zusammenhang von Varianz, Kommunalität und Ladung	42
Abbildung 4-1 Systematik der Interpolationsmethoden	46
Abbildung 4-2 Zusammenhang zwischen Faktorwert und Zeit für einen linearen Trend	49
Abbildung 4-3 Schema des Weighted Moving Focus	53
Abbildung 4-4 Parameter der Glockenkurve	55
Abbildung 4-5 Zeitliche Gewichte in Matrix T	55
Abbildung 4-6 Linearer Trend für alle Kantone	58
Abbildung 4-7 Trend mit Polynom 5. Grades, Ausschnitt Westschweiz	58
Abbildung 4-8 Linearer Trend für jeweils 2x9 Jahre, Ausschnitt Westschweiz	59
Abbildung 4-9 Trend mit Polynom 3. Grades, Ausschnitt Westschweiz	59
Abbildung 4-10 WMF, Hauptgewicht 8 Jahre, Ausschnitt Westschweiz	60
Abbildung 4-11 WMF, Hauptgewicht 4 Jahre, Ausschnitt Westschweiz	60

Tabellen

Tabelle 4-1 Methoden der räumlichen und zeitlichen Interpolation	47
--	----

«Der Astrologe kennt weder Jahr noch Tag seiner Geburt. Er weiß natürlich die Zeichen, unter denen er zur Welt kam, daraus ließe sich das Jahr zurückberechnen. Doch wozu? Was bedeuten Zahlen? Sein Element ist die gleichförmige, kreisende Zeit der Gestirne, des Jahreslaufs und des Menschenlebens: Geburt, Heirat, Tod, und Wiedergeburt. Erst draußen in der Ebene hat er von einer anderen, enteilenden Zeit erfahren, einer Zeit, die von Uhren ungerührt wird wie das Getreide auf dem kreisrunden Dreschplatz von seinem Vieh.»

*Olivier Föllmi & Stefan Schomann,
Vom Glück in Shade zu Leben*

Vorwort

Der erste Satz einer schriftlichen Arbeit ist der schwierigste. Er muss stimmen. Er ist Auftakt für die restlichen Seiten bis ans Ende. Ist dieses gedankliche Hindernis überwunden, kann der Text dahin fließen, gemächlich wie ein mäandrierender Fluss in einer Auenlandschaft. Erfolgreich ist heute, wer eine «gute Geschichte» erzählt, und ein Merkmal von guten Geschichten ist, dass unterschiedlichste Erzählstränge zu einem einzelnen Strang kontinuierlich verflochten werden. Die Ästhetik des Kontinuierlichen erzeugt Glaubwürdigkeit. Ästhetik beinhaltet eine hohe Korrelation der «äusseren» Welt mit den Ideen der «inneren» Welt. Eine Biographie stellt eine solche Erzählung dar. Diskontinuitäten und Ereignisse werden interpretiert und reinterpretiert, werden aufeinander bezogen, und wenn man geschickt ist, entsteht eine kohärente Lebensgeschichte, die wohl keiner Objektivität standhält, aber erfolgreich ist und so ein grösseres Potential besitzt als die Wirklichkeit, denn mit einer guten Geschichte ist die Realität zu beeindrucken und zu beeinflussen. Diese Arbeit, die nun vor mir liegt, ist ein Stück meiner Biographie, ist kondensierte Zeit und letztlich gefriergetrocknet in einem Buch wie der Nescafé[®], den ich seit dem Schreiben der Arbeit, um Zeit zu sparen, trinke. Meine Diplomarbeit stellt mein Studium im Kleinen dar. Zu Beginn des Studiums wollte ich ein methodischer Geograph werden. Fächer wie Fernerkundung und Geographische Informationssysteme, an denen es in Zürich nicht mangelt, interessierten mich. Mit Mathematik begann ich im ersten Nebenfach. Die Ikone der deutschsprachigen Sozialgeographie, Prof. Benno Werlen, erreichte mich noch mit seiner Vorlesung, bevor er nach Jena zog. Er öffnete mir dadurch die Türen zu den Ideen der Sozialwissenschaften. Die straffe Studienplanung, die ich mir bis dahin erarbeitet hatte, wurde mit rechnerischer Schärfe und Realitätssinn für die Studiendauer umgestellt. So studierte ich Soziologie an Stelle der geplanten Mathematik, und der Schwerpunkt der ursprünglich methodischen Geographie verlagerte sich auf Wirtschaft- und Sozialgeographie. Nicht ganz glücklich und vor allem das Ende nicht sehend, wechselte ich nach zwei Jahren Soziologie in mein voruniversitäres Gebiet, die Informatik. Die vorliegende Diplomarbeit stellt die Verbindung meiner beiden wissenschaftlichen Seiten dar: der Ingenieur und der Sozialwissenschaftler. Das Arbeiten mit Daten der sozialen Wirklichkeit motivierte mich, einige Soziologen aufzuarbeiten. Auf der anderen Seite befasste ich mich mit statistischen Verfahren, die sich auf die Daten anwenden liessen. Die Arbeit soll als Synthese von Gesellschaftswissenschaft und quantitativer methodischer Geographie, aber auch zwischen Leidenschaft und Notwendigkeit verstanden werden.

In dieser Arbeit werden noch weitere Stränge eingeklammert. Friedrich Dürrenmatt, der Autor meiner Jugend, erwähnt in seinem Werk an einer unauffindbaren Stelle, wer mich verstehen will, muss Kant gelesen haben. Lange Zeit fragte ich mich, wer dieser Philosoph sein mag, der hinter diesem imposanten Schriftsteller aufscheint, und ob ich Dürrenmatt überhaupt verstehe, wenn ich mich nicht zuerst durch die Werke von Kant gearbeitet habe. Immanuel Kant wird in dieser Arbeit unter anderen zitiert, und trotzdem ist er der Autor, den ich mit grösster Achtung, aber zugegebenermassen nicht im Original, zitiere. Ich masse mir nicht an, weder Dürrenmatt noch Kant verstanden zu haben. Vieles, was Kant propagierte, hat weiterhin

seine Gültigkeit, dagegen ist sein apriorisches Raum- und Zeit-Verständnis nur die eine Seite der Wahrheit. Meine weiteren Überlegungen knüpfen an dieses Wissenschaftsverständnis an und befinden sich in der Auseinandersetzung zwischen Postmoderne und Moderne. Die Moderne ist gescheitert, nicht in ihren Institutionen, sondern auf individueller Ebene. Das Projekt der Moderne kann nicht beendet werden, da bereits abgebrochen. Ich bin ein Kind der Postmoderne und schreibe eine moderne Arbeit im Bewusstsein, dass die Postmoderne nur der Kater auf die Trunkenheit der Moderne ist. Wir tanzen den rauschenden Walzer unseres aufgeklärten Denkens und taumeln und stolpern fortwährend durch die Zimmer und Flure unseres Theoriengebäudes. Und würde jemand die Aufgabe von Herkules auf sich nehmen und den Stall des Augias ausmisten und alle Theorien der modernen Wissenschaft zu einer «guten Geschichte» zusammenfassen, die Inkonsistenzen wären ungeheuerlich. Die Antwort von Faust auf diese Welt ist eine mögliche, aber nicht die beste. Er zaudert, sieht der Grenzen mehr als der Möglichkeiten und führt dadurch das ungünstigste Ende für sich und andere herbei. Eine mögliche Antwort darauf ist der Versuch, die Gratwanderung zwischen dem Analytischen und dem Poetischen zu gehen. Mit Alexander von Humboldt kennt die Geographie eine Tradition, die Ästhetik und Analyse verbindet. Humboldt erweitert die Betrachtung der Natur um die «ästhetische Vernunft» bzw. um das «Naturgemälde» wie er es mit eigener Wortschöpfung bezeichnet (OSTEN 1999:27). Humboldt ist von den Naturbeschreibungen Goethes inspiriert, verbindet sie jedoch mit exakten Messungen und weist der Geographie zusammen mit Carl Ritter den Weg zu einer modernen analytischen Wissenschaft. Ein anderer Geograph, der ähnliche Gedanken in seiner Abschiedsvorlesung mit dem Titel «Humanökologie als Gratwanderung zwischen Mathematik und Poesie» formulierte, ist der Emeritus Dieter Steiner. Er zitiert von Karl Schmid die Begriffe das «Genau» und das «Mächtige» bzw. das «Wissenschaftlich-Genau» und das «Seelisch-Sinnlich-Mächtige» (STEINER 1998b). Ein Beispiel dafür wie diese Begriffe verstanden werden können, zeigt die Betrachtung des Gehirns als neuronales Netzwerk mit den Verschaltungen der Synapsen auf der einen Seite und als Produzent von Bewusstsein, Erkenntnis, Gedanken, Poesie usw. auf der anderen Seite. Es handelt sich dabei um eine emergente Erscheinung, um etwas Neues, das von seinem erzeugenden System abgehoben ist. Diese beiden Seiten einer Emergenz lassen sich nicht verbinden, sie sind messerscharf voneinander getrennt. So bleibt also, wie es Steiner formuliert, nur die Gratwanderung auf dieser Messerschneide. Die Kunst und die Wissenschaft können im Wissenschaftler, in der Wissenschaftlerin mit all ihren Widersprüchlichkeiten vereint sein. Ich sehe mich in dieser Tradition, wenn es mir ein Anliegen ist, von den soziologischen Überlegungen zu einer mathematischen Formel zu gelangen.

Das Vorwort ist traditionell der Ort des Dankes, und am Ende einer Diplomarbeit gibt es nicht genug zu danken, denn es ist meistens auch der Abschluss des Studiums und viele Menschen haben zu diesem Gelingen beigetragen. Mein erster Dank geht an Prof. Kurt Brassel für das entgegengebrachte Wohlwollen und Vertrauen und für die geschenkte wissenschaftliche Freiheit. Meinen beiden Betreuern Michael Hermann und Heiri Leuthold sei herzlich gedankt für die vielen konstruktiven Gespräche, für die Zeit, die sie mir schenkten, um gemeinsam Probleme zu lösen und wissenschaftliche Auseinandersetzungen zu führen. Ich war in einem Forschungsteam aufgenommen und musste nicht als Einzelkämpfer durch die spärliche Wüste der

Erkenntnisse reiten. Michael sei besonders gedankt für seine Begeisterungsfähigkeit. Heiri danke ich im Speziellen für die Antwort auf meine Frage, wie aus einem Geographen ein Philosoph wird. Den beiden Statistikern an der ETH, Dr. Martin Mächler und Dr. Werner Stahel, danke ich für ihre Hilfsbereitschaft und ihr Interesse an unserer Idee. Meiner Freundin Karin Schefer danke ich herzlichst für die gründliche Korrektur meiner Arbeit und für den Weg, den wir seit Beginn meiner Arbeit gemeinsam gegangen sind. Sie hat oft die richtigen kritischen Fragen gestellt. Eine Person hat mich wesentlich durch das Studium begleitet, mit ihr habe ich unzählige Übungen gelöst und Arbeiten geschrieben, viel gelacht und debattiert. Für die gemeinsamen Stunden in der Cafeteria oder beim Zvieri auf dem Gäbris danke ich meiner Sozia Regula Mosberger.

Eine Bereicherung für die Arbeit waren meine beiden Patenkinder Sara und Simona, die mich mit ihren strahlenden Gesichtern von den Fotos in meiner Studierklausur unterstützten. Meinen beiden Mitbewohnern Stephan Toggweiler und Manuela Bruderer danke ich herzlich dafür, dass das Studentenhaus auch zu meinem Zuhause wurde und für manche spontane Unternehmung, die es neben dem Schreiben braucht. Während dem Studium waren Andi und Doris Schürpf-Wohlfender mein oft spontaner Zufluchtsort im Thurgau, wenn die Stadt und das Studium zu hektisch wurden. Für ihre Freundschaft und dass sie auf dem Land wohnen blieben, danke ich an dieser Stelle herzlichst. Von Fernerkundung und Geographischen Informationssystemen hätte ich vor dem Studienbeginn nichts gewusst, gäbe es nicht Albert Knöpfli. Sein eigenes Studium und meine romantische Vorstellung von Geographie brachten mich erst auf die Idee, dieses Fach zu studieren. Meinen Eltern sei gedankt für ihr Vertrauen, meinen Weg selbst zu bestimmen, auch wenn ich erst als Zweitweg-Maturand auf die Idee gekommen bin zu studieren.

Das Thema der Arbeit ist das Dynamische von Merkmalsräumen, und im konkreten Fall handelt es sich um den Weltanschauungsraum, um einen sozialwissenschaftlichen Raum. Es werden Interpolationsmethoden entwickelt, die den sozialen Wandel aufzeichnen. Wandel hat offenbar etwas mit Zeit zu tun, ist aber nicht damit gleichzusetzen. Zeit ist, möchte man sie nicht als etwas Äusserliches betrachten, das Dynamische selbst. Die Arbeit war für mich persönlich die Gelegenheit, den Begriff der Zeit etwas zu erschliessen.

«Was also ist die Zeit? Wenn mich niemand fragt, so weiß ich es; will ich es aber jemandem auf seine Frage hin erklären, so weiß ich es nicht» (AURELIUS AUGUSTINUS).

Die Zeit ist wie eine wilde Stute, wenn man schnell genug ist, kann man ihr einen Sattel überwerfen und auf ihr davon reiten. Nach dem Schreiben der Arbeit hoffe ich, sicherer im Sattel zu sitzen. Den Lesern und Leserinnen wünsche ich, dass sich das Gefriergetrocknete beim Lesen lösen möge und es zu neuem Leben erwacht. Mir wünsche ich wieder etwas mehr Zeit, um die Cafés in der Stadt zu geniessen, dort wo sich der Duft des Kuchens mit jenem des frisch gebrühten Kaffees vermischt.

Zusammenfassung

Das Ziel der Arbeit ist, eine Methode zu entwickeln, die zeitliche Veränderungen in Merkmalsräumen beschreibt. Als konkreter Fall wird der Weltanschauungsraum verwendet. Dieser Merkmalsraum wird mit Hilfe einer Faktorenanalyse konstruiert. Als Datengrundlage werden die Ja-Stimmenanteile aller 3021 Gemeinden zu den 155 eidgenössischen Abstimmungsvorlagen von Juni 1981 bis Juni 1999 verwendet. Drei Faktoren der Analyse bilden das Koordinatensystem des Raumes, die auf der inhaltlichen Ebene als die Konfliktachsen ökologisch-technokratisch, links-rechts und liberal-konsevativ, bezeichnet werden.

Um zeitliche Veränderungen zu modellieren, werden Interpolationsmethoden verwendet, die in der Geographie hauptsächlich auf räumliche Phänomene angewendet werden. Da es sozialwissenschaftliche Daten betrifft, die durch handelnde Individuen entstanden sind, müssen Argumente aus der Sozialtheorie reflektiert und die daraus resultierenden Anforderungen an die Interpolationsmethoden aufgenommen werden. Es zeigt sich, dass Raum und Zeit ähnliche Strukturen aufweisen. Im Sinne Kants sind beides Kategorien, die vor jeder Erfahrung liegen und entsprechend für den sinnvollen Gebrauch definiert werden müssen. Raum und Zeit sind nach Kant nicht determinierend. Die Bedeutung bzw. der Sinn muss diesen Kategorien durch den Kontext der Handlungen zugeschrieben werden. Die zweite Idee des sozialen Wandels stammt von Popper und Giddens, die beide keine historischen universalen Entwicklungsgesetze der Gesellschaft erkennen können. Aus sozialwissenschaftlicher Überlegung sollten die Interpolationsmethoden deshalb lokale Funktionen sein. Zu vielfältig sind Diskontinuitäten, kurzfristige Ereignisse, Rückschritte oder Impulse, die dem Wandel unvermutet eine neue Richtung geben. Allerdings können trotzdem langfristige Entwicklungen mit lokalen Methoden verfolgt werden. Die Interpolationen sollten stochastische Funktionen sein, da Zeit keine determinierende Kraft aufweist. Kausalität existiert nur im Aufeinanderfolgen, nicht aber durch den Zeitpunkt.

Die Faktorenanalyse, welche als Analysemethode und als raumkonstruierende Methode verwendet wird, liefert als Ergebnis die Faktorladungen und Faktorwerte, die als Ausgangsbedingungen für die Interpolationsmethoden gelten. Das Ziel einer Faktorenanalyse ist es, die komplexe Struktur der Eingangsvariablen auf wenige synthetische Variablen zu reduzieren, die als Faktoren bezeichnet werden und auch als thematische Gruppen interpretiert werden können. Die Faktorladungen beschreiben, wie stark eine Variable (Abstimmungsvorlage) durch einen Faktor repräsentiert wird oder wie viel ein Faktor von einer Variablen erklären kann. Die Faktorwerte geben die Position der Objekte auf den Faktoren an. Die Faktoren bilden ein orthogonales Koordinatensystem der weltanschaulichen Konflikte. Auf diese Weise können die Gemeinden im Merkmalsraum positioniert werden. Das Problem für die Interpolationsmethoden ist, dass keine eigentlich realisierten Messwerte existieren, die die Weltanschauung beschreiben.

Die prozentualen Ja-Stimmenanteile der eidgenössischen Abstimmungsvorlagen sind die einzigen Messwerte, die existieren. Der Ja-Stimmenanteil ist undifferenziert, denn es kann keine Aussage darüber gemacht werden, aus welchen Konflikten er sich zusammensetzt. Dank der

Faktorladungen können die Abstimmungsresultate nach ihrer weltanschaulichen Zusammensetzung gewichtet werden. Die Faktorladungen und in etwas abgeänderter Form die *factor scores* bilden die inhaltlichen Gewichte. Jede Abstimmungsvorlage besitzt durch den Abstimmungstermin eine Zeitangabe. Damit ist die zeitliche Ordnung bekannt und kann für die Berechnung der zeitlichen Gewichte verwendet werden.

Das Ziel der Interpolationsmethoden ist, die Faktorwerte abhängig von der Zeit zu berechnen, so dass die Objekte abhängig von der Zeit im Raum positioniert werden können. Für einen Vergleich wurden zwei Methoden gewählt, die auf unterschiedlichen mathematischen Modellen beruhen. Die Trendanalyse – basierend auf einer Regressionsanalyse – ist ein globales und stochastisches Verfahren. Als zweite Methode wurde der Weighted Moving Focus – beruhend auf dem gleitenden und gewichteten Mittelwert – entwickelt, der ein lokales und deterministisches Verfahren darstellt.

Die Resultate der lokalen Methode sind gut zu interpretieren. Es ist möglich, die Breite der zeitlichen Gewichte zu verändern, so dass die Detailfülle oder der Generalisierungsgrad der Interpolation bestimmbar wird. Der globalen Methode wird eine im Voraus zu bestimmende Funktion unterstellt. Diese Funktion muss realisiert werden, die Messwerte beeinflussen mit ihrem Gewicht nur die Ausprägung der Funktion. Da nicht alle Gemeinden dem gleichen Muster von Wandel unterliegen, sind die Resultate nicht immer einfach zu interpretieren. Eine Trendanalyse mit einem Polynom dritten Grades ergibt die besten Resultate. Werden die beiden Methoden verglichen, zeigt sich, dass sie ähnliche Resultate ergeben; einzelne Unterschiede sind trotzdem schwer zu erklären. Im Vergleich zeigt sich, dass die lokale Eigenschaft der stochastischen Eigenschaft vorzuziehen ist. Dennoch ist es wünschenswert, wenn beide Eigenschaften – lokal und stochastisch – in einer Methode vereint wären, wie dies z. B. beim Kriging realisiert ist.

1 Einleitung

Merkmalsräume oder Parameterräume sind virtuelle bzw. metaphorische Räume. Objekte können in einem mit Koordinaten aufgespannten Raum positioniert werden. Das Koordinatensystem kann auf abstrakten Merkmalen beruhen. So lassen sich in diesen Räumen z. B. soziale oder politische Merkmale als Topologie darstellen. Merkmalsräume können mehrere Dimensionen umfassen und durch die Anwendung von Geographischen Informationssystemen analysiert oder durch den Einsatz von grafischer Software visualisiert und animiert werden. Arbeiten in Merkmalsräumen sind in der Geographie nicht generell neu, allerdings stand der räumliche Bezug früher stärker im Vordergrund. Zwei Ansätze können trotzdem als neu bezeichnet werden. Wenn früher das Ziel war, durch Merkmalsräume mit statistischen Methoden wie Clusteranalyse oder Faktorenanalyse etc. eine Typologie zu erstellen oder eine Klassifikationen vorzunehmen und diese in eine thematische Karte zu übertragen, so findet heute die Forschung vermehrt «in» diesen Räumen statt und es braucht nicht notwendigerweise eine Übersetzung in den geographischen Raum. Diese Entwicklung geht mit einer zunehmenden Sensibilisierung der Geographen und Geographinnen einher, dass räumliche Begriffe nicht ausreichen, um die soziale Wirklichkeit zu beschreiben. Das Repertoire der Geographie ist heute durch die gesellschaftswissenschaftlichen Theorien bereichert. Die Inhalte von Merkmalsräumen werden zunehmend zum Forschungsgegenstand der Geographie. In ihnen lassen sich z. B. soziale Realitäten geeigneter darstellen; Regionalisierungen und allgemeine Muster sind besser zu erkennen. Karten können anhand einer neuen Topologie erstellt werden, ohne einen impliziten Geodeterminismus zu unterstellen. Die Sprache der Karten bleibt weitgehendst dieselbe und so sind die neuen Produkte, die nicht mehr die vertrauten Geometrien aufweisen, durch geeignete Orientierungshilfen schnell zu erfassen. Diese neue Forschungsrichtung, in der ursprünglich nicht räumliche Daten zu räumlichen Kompositionen angeordnet werden, wird als *spatialization* bezeichnet (vgl. FABRIKANT 2001).

Der Weltanschauungsraum wurde von HERMANN (1998) in seiner Diplomarbeit konzipiert und konstruiert. Es handelt sich um einen Merkmalsraum, der die schweizerischen Gemeinden bezüglich ihrer weltanschaulichen Struktur beschreibt. Dieser Raum weist also auch einen geographischen Bezug auf, so dass eine Transformation vom virtuellen zum geographischen Raum möglich ist. Ähnlich dem geographischen Raum, wo nach Möglichkeiten der Beschreibung und Abbildung von Raum-Zeit-Prozessen gesucht wird, wird in den Merkmalsräumen ebenfalls nach Methoden gesucht, welche die Dynamik charakterisieren.

Merkmalsraum und Weltanschauungsraum

Der Weltanschauungsraum ist ein Merkmalsraum, in welchem die Gemeinden bzw. Aggregate davon auf gesellschaftlichen Konfliktachsen positioniert werden. Es handelt sich somit um einen politischen und sozialen Merkmalsraum. Die Konfliktachsen werden mittels einer Faktorenanalyse konstruiert. Als Grundlage für die Analyse wird der prozentuale Ja-Stimmenanteil der eidgenössischen Abstimmungsvorlagen von 1981 bis 1999 (insgesamt 155 Abstimmungs-

vorlagen) der 3021 Gemeinden verwendet. Aus der Analyse resultieren drei Faktoren, die auf inhaltlicher Ebene zu weltanschaulichen Konflikten werden. Wie die Anzahl der Faktoren auf Grund von statistischen Kennzahlen und Tests sowie inhaltlichen Überlegungen zu bestimmen ist, wird von HERMANN (1998:81-87) umfassend erklärt. Diese Faktoren bilden das Koordinatensystem des Weltanschauungsraums. Die drei Faktoren erklären 75.1% der gemeinsamen Varianz. In Abbildung 1-1 sind die drei Konflikte als Dimensionen des Weltanschauungsraums eingezeichnet. Die Konflikte werden als ökologisch-technokratisch, links-rechts und liberal-konservativ bezeichnet. HERMANN & LEUTHOLD (2001) beschreiben, wie sie durch ihr induktives Verfahren zu den Bezeichnungen der extrahierten Faktoren gelangen. Die Methoden, die den Wandel beschreiben, sind von der inhaltlichen Ebene unabhängig und können auf alle vorhandenen Faktoren angewendet werden.

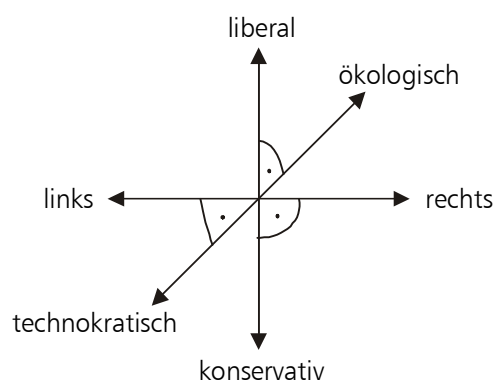


Abbildung 1-1 Die drei Konfliktachsen des Weltanschauungsraums

Die beiden Autoren Hermann und Leuthold bauen in ihrem Forschungsprojekt SOTOMO (Sozialtopologie und Modernisierung) den Weltanschauungsraum aus, in dem die Untersuchungsperiode ca. 100 Jahre in die Vergangenheit ausgeweitet wird. Bei einer solchen historischen Sicht ist es selbstverständlich, dass dem Wandel der Weltanschauung besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Aus der Literatur ist nicht bekannt, dass ein Verfahren der Faktorenanalyse existiert, welches Variablen mit zeitlichem Attribut berücksichtigen würde, d. h. die Faktorenanalyse stellt keine Methode für den zeitlich dynamischen Bereich zur Verfügung.

Zielsetzung und Fragestellung

In meiner Diplomarbeit geht es nun darum, die statische Betrachtungsweise des Weltanschauungsraums, der durch die Faktorenanalyse erzeugt wird, um den zeitlichen Aspekt zu erweitern. Durch die Dynamik sollen Wandel und Persistenz sichtbar gemacht werden.

Erstes Ziel der Arbeit ist es, eine Methode zur zeitlichen Interpolation der Weltanschauung zu entwickeln. Die Interpolationsmethode soll inhaltliche und zeitliche Lücken in der Zeitreihe mit interpolierten Werten schliessen. Es werden zwei mathematische Modelle formuliert, die auf zwei grundsätzlich verschiedenen Konzepten beruhen. Sie können gegenseitig in eingeschränktem Umfang zur Validierung und zum Vergleich verwendet werden. Das erste Modell

entspringt einer mathematischen Überlegung, Wandel als Trend darzustellen und wurde in Zusammenarbeit mit Martin Mächler und Werner Stahel, beide Statistiker an der ETH Zürich, entwickelt. Die Trendanalyse basiert auf der Regressionsanalyse und ist eine globale Methode.

Das zweite Modell beruht auf einer in der Geographie weitverbreiteten Interpolationsmethode, dem gleitenden und gewichteten Mittelwert. Die Methode wurde innerhalb der Projektgruppe SOTOMO erarbeitet und für die Anwendung im Weltanschauungsraum konkretisiert und verfeinert. Innerhalb dieses Forschungsprojektes ist auch die vorliegende Diplomarbeit zu sehen. Diese Methode gehört zu den lokalen Funktionen. Wandel soll mit diesen Methoden adäquat charakterisiert werden, dazu müssen sie – da es sich um einen gesellschaftlichen Merkmalsraum handelt – mit gesellschaftswissenschaftlichen Theorien übereinstimmen. Ein zweites Ziel der Arbeit ist es, mit theoretischen Überlegungen die Arten des sozialen Wandels zu erarbeiten, damit eine Diskussion geführt werden kann, über welches Erklärungspotenzial die Methoden verfügen und gegen welche Ereignisse sie immun sind. Kein Ziel dieser Arbeit ist es, inhaltliche Aussagen über die Veränderungen zu machen. Hingegen sollten Aussagen möglich sein, ob die Methoden sinnvolle Resultate liefern.

Zur empirischen Überprüfung der Methoden stehen Daten von Juni 1981 bis Juni 1999 zur Verfügung. Insgesamt liegen 155 Abstimmungen vor. Die Gemeindestruktur bezieht sich auf die Volkszählung von 1990 und umfasst 3021 einzelne Gemeinden. Die Daten jedes Abstimmungstermins sind für diese Gemeindestruktur aufbereitet. In den 90er Jahren fand vor allem in den Landregionen eine Konsolidierung der Gemeinden statt wie z. B. die Gemeindezusammenlegung im Kanton Thurgau oder der Kantonswechsel des Laufentals zu Baselland. Diese Probleme sind für die Untersuchungsperiode gelöst. Für die Validierung der Methoden ist es wichtig, dass eine genügend lange Zeitreihe zur Verfügung steht. Je mehr Daten vorhanden sind bzw. je grösser der Zeitraum ist, um so besser kann die Methode überprüft werden.

Aus der Problemstellung, die inhaltlichen und zeitlichen Lücken der Daten zu schliessen, dem sozialwissenschaftlichen Anspruch und den definierten Zielen ergeben sich die drei folgenden Fragen:

1. *Mit welchen Methoden kann die Dynamik der Weltanschauungen beschrieben werden?*
2. *Wie sind zeitlicher Wandel und Persistenz (Dynamik) fassbar?*
3. *Welche Veränderungen können mit den Methoden erklärt werden und wo sind sie immun?*

Die hier gestellten Fragen werden in den Schlussfolgerungen beantwortet, wo alle Erzählstränge der vorangegangenen Kapitel zusammengeführt werden.

Theoretische Position

Im heutigen Wissenschaftsbetrieb ist es notwendig, sein eigenes theoretisches Zuhause zu begründen, da die Wissenschaft auch aus gesellschaftlicher Sicht einem Wandel unterworfen ist. Selbst die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen können nicht mehr alle aktuellen Theorien im Überblick behalten. Als sozialtheoretische Grundlage verwende ich die Theorie der Strukturierung von GIDDENS (1997), in der Geographie auch bekannt als Strukturationstheorie. Es ist eine der soziologischen Theorien, die in der Geographie rezipiert wurden. Diese Reso-

nanz in den geographischen Wissenschaften liegt vor allem in der besonderen Bedeutung des Raums und der Regionalisierung in der Theorie von Giddens begründet. Gleichermassen wird die Kategorie der Zeit explizit in seiner Theorie diskutiert. Giddens geht davon aus, dass sowohl Raum als auch Zeit zwei fundamentale Bedingungen für das gesellschaftliche Leben sind. So sind für ihn Raum und Zeit keine blossen Nebenbedingungen (GIDDENS 1997:161). Neben den soziologischen Konstrukten webt Giddens diese beiden Kategorien konsequent in seine Theorie ein und lässt sie nicht unverbunden als einen Aspekt, den es noch unter anderem zu berücksichtigen gilt, stehen.

«Eine Ontologie von Raum und Zeit als konstitutives Prinzip sozialer Praktiken ist grundlegend für die Konzeption der Theorie der Strukturierung (...)» (GIDDENS 1997:53).

Für mich persönlich ist sein positiv formuliertes Menschenbild wichtig. TREIBEL (1997:236) meint dazu: «Giddens' «menschliche Wesen» sind sich ihrer selbst bewusst, sind wach, aktiv und (selbst)-reflexiv.»

Neben der Theorie der Strukturierung werden die Vorstellungen Kants, dass es sich bei Zeit und Raum um apriorische Kategorien handelt, die keine determinierende Kraft aufweisen, zur Erklärung herangezogen. Giddens (1997) gebraucht in seiner Theorie die soziale Zeit, eine erfüllte Zeit des Individuums von Bergson, der die Metrisierung und Objektivierung kritisierte. Eine Form der Objektivierung muss allerdings sein, da sonst das Zusammentreffen von verschiedenen Zeithorizonten gesellschaftlicher Teilsysteme in Zeit und Raum, welches Giddens (1997:308) als «Koinzidenz» bezeichnet, nicht zur Interpretation des sozialen Wandels genutzt werden kann. Es wäre verwegen, innerhalb meiner Diplomarbeit diesen kritischen Diskurs aufzunehmen, da ich eine objektive Zeit modelliere, eine Zeit der Institutionen. Der Diskurs über die soziale Zeit führte, würde die Systemtheorie einbezogen, dorthin, dass gesellschaftliche Teilsysteme eine eigene innere Zeit besitzen. Zeit ist dann nicht mehr eine kontinuierliche Gerade, sondern das eigentlich Dynamische.

Aufbau der Arbeit

Ein zentrales Anliegen ist mir, einen entschlossenen Bogen von den Theorien der Gesellschaftswissenschaften zu den abstrakten Formulierungen mathematischer Modelle zu schlagen. Von der Theorie soll der Weg gemeinsam mit den konkreten Daten des Weltanschauungsraums in die praktischen Anwendung münden. An die Interpolationsmethoden werden, wie in Abbildung 1-2 dargestellt, theoretische und praktische Anforderungen gestellt.

Aufgrund sozialtheoretischer Grundlagen muss berücksichtigt werden, wie gesellschaftlicher oder institutioneller Wandel beschrieben und analysiert werden kann. Wie sich sozialer Wandel zeigt und wie damit methodisch umgegangen werden darf. Eng damit verbunden ist die ontologische Betrachtung der Kategorie Zeit. Um diese Kategorie sinnvoll zu handhaben, ist ein konkretes Bild der Zeit bzw. der Zeitlichkeit in den Gesellschaftswissenschaften aufzuzeigen. Hier werden die Ideen Kants zur Zeit skizziert; dabei werden Parallelen zum Raum gesucht. Im Kapitel *Zeit und Wandel* werden diese beiden theoretischen Anforderungen formuliert und diskutiert. Ausserdem werden die verschiedenen Arten des Wandels der Objekte (Gemein-

den), des Inhalts (Abstimmungsvorlagen) und der Strukturen des Weltanschauungsraums betrachtet. Das Kapitel soll auch ein Gefäss zur Reflexion sein und Antworten liefern, was mit zeitlichen Methoden möglich ist und was nicht.

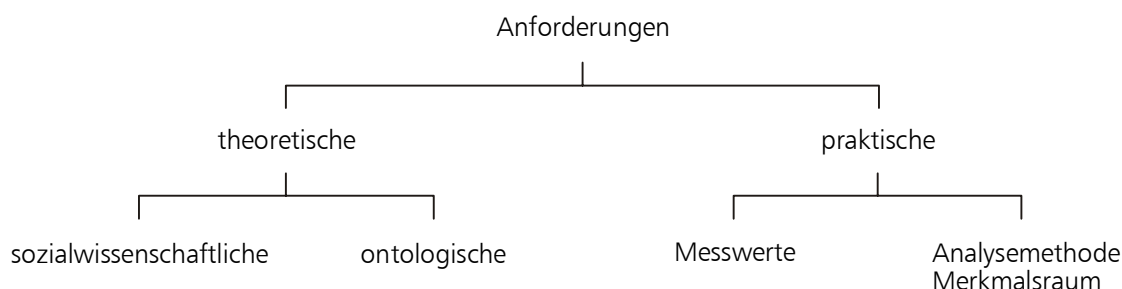


Abbildung 1-2 Anforderungen an die Methoden

Die praktischen Anforderungen an die Methoden stammen aus der Besonderheit der Messungen und der Faktorenanalyse zur Konstruktion des Merkmalsraums. Das besondere liegt darin, dass die Weltanschauung nicht direkt gemessen werden kann, sondern durch die Faktoren beschrieben wird. Die Faktoren sind synthetische Variablen, die nur mit Hilfe von inhaltlichen Gewichten in die Interpolationsmethoden einfließen. Die Messungen bzw. die Abstimmungen sind in zweierlei Hinsicht unregelmässig: a) die Abstimmungstermine sind mehr oder weniger beliebig über das Jahr verteilt b) die Abstimmungsvorlagen sind in inhaltlicher Sicht ebenfalls beliebig über die Untersuchungsperiode verteilt. Diese praktischen Anforderungen werden im Kapitel *Faktorenanalyse und Messmodell* beschrieben. Hier werden die Besonderheiten der Messungen und der Variablen betrachtet sowie die Resultate der Faktorenanalyse vorgestellt, die für die weitere Arbeit und die Entwicklung der Interpolationsmethoden wesentlich sind.

Im Kapitel *Entwicklung der Interpolationsmethoden* werden die Methoden zuerst anschaulich an einer Abbildung dargestellt. Anschliessend wird zur Beschreibung wegen der Prägnanz ein mathematischer Formalismus gewählt. BAHRENBURG, GIESSE & NIPPER (1992:227) loben die Eleganz und Kürze der Matrixschreibweise und bedauern, dass die Kenntnisse der Matrixalgebra unter den Geographiestudierenden nicht verbreiteter ist. Die Matrixalgebra hat trotz Bedenken der drei Autoren Eingang in diese Arbeit gefunden, da ich von der Eleganz und Kürze profitieren möchte. Es gibt jedoch zwei weitere Argumente für die Matrixschreibweise: a) Zusammenhänge sind einfacher darzustellen b) die Notation der Matrixalgebra kann heute direkt in Mathematik- und Statistikprogramme eingegeben werden. Im Anhang sind die wichtigsten Operationen beschrieben. Im letzten Abschnitt dieses Kapitels werden die Methoden mit Hilfe des empirischen Materials verglichen und einander beschreibend gegenübergestellt.

In den *Schlussfolgerungen* werden die drei Fragen, die in der Einleitung formuliert worden sind, beantwortet. Die Antworten geben Aufschluss darüber, was erreicht wurde und was nicht. Dafür werden die Anforderungen, die in den ersten beiden Kapitel formuliert worden sind, zusammengeführt. Der Methodenvergleich des letzten Kapitels wird nochmals aufgenommen, damit die Methoden einer Kritik unterworfen werden können. Im letzten Abschnitt wird eine Aussicht gegeben, in welche Richtung anschliessende Arbeiten gehen können.

2 Zeit und Wandel

Beim Weltanschauungsraum handelt es sich um einen Merkmalsraum, der durch sozialwissenschaftliche Daten konstruiert wird. Diese Gegebenheit verlangt, dass in der weiteren Betrachtung Überlegungen zu sozialwissenschaftlichen Theorien berücksichtigt werden. Der Einbezug des zeitlichen Aspektes in sozialen Merkmalsräumen legt generell Fragen nach sozialem Wandel nahe. Diese Überlegungen weisen darauf hin, dass Merkmalsräume nicht losgelöst von ihren Inhalten betrachtet und quasi einem Standardverfahren unterzogen werden können. Es bedarf immer Überlegungen zum abgebildeten Inhalt.

Wandel ist einer der zentralen Begriffe in den Gesellschaftswissenschaften und Zeit «vielleicht der geheimnisvollste Zug menschlicher Erfahrung» (GIDDENS 1997:88). Es wäre kühn, im Umfang einer Diplomarbeit in diesen weitreichenden philosophischen Diskurs einzusteigen. Obwohl sehr verlockend, ist es nicht das vordringlichste Problem der vorliegenden Arbeit. Der Begriff des sozialen oder institutionellen Wandels wird hier konkret auf die Anwendbarkeit von quantitativen Methoden untersucht. Es wird eine Antwort gesucht, ob diese Methoden spezifische Eigenschaften aufweisen sollen, um sozialen Wandel adäquat abzubilden.

Der Begriff der Zeit wird in einem objektiven Kontext beschrieben und verliert deswegen das Geheimnisvolle, welches die Zeit zu einer der ergiebigsten Quellen tiefgreifender Überlegungen zur menschlichen Existenz macht. Ich versuche mit Kant zu argumentieren und nähere mich der Kategorie Zeit über die Kategorie Raum an, da beide ähnliche Strukturen aufweisen. Anthony Giddens ist einer der wenigen Soziologen, der die beiden Kategorien Raum und Zeit konsequent in seine Theorie einbezieht und sie als Grundlagen sozialwissenschaftlicher Analysen betrachtet. Seine Theorie der Strukturierung leistet deshalb einen grossen Beitrag zur Klärung der Begriffe Zeit und Wandel. Mit den Überlegungen zum Begriff Zeit soll vor allem das Ziel verfolgt werden, Anforderungen an die quantitativen Methoden zu stellen.

Abschliessend geht es um die konkreten Veränderungen des Weltanschauungsraums. Es verändern sich nicht nur die darin dargestellten Gemeinden, sondern der Raum selbst, die Gemeindestruktur mit ihren diversen sozialen Merkmalen und die inhaltliche Bedeutung von Abstimmungsvorlagen. Alle Aspekte des Weltanschauungsraums sind einem Wandel unterworfen, und möchte man verlässliche Aussagen über den Wandel der Weltanschauung machen, müssen die anderen Veränderungen beobachtet werden.

2.1 Zeit

Wer den Begriff der Zeit darlegt, muss den Kontext angeben, auf den sich der Begriff bezieht. Zeit wird von Kant als etwas zu Definierendes betrachtet, dem jede empirische Realität fehlt. Trotzdem widerspricht seine Meinung nicht der sozialwissenschaftlichen Ansicht, dass Zeit keine leere Dimension ist und ihr im Fluss des alltäglichen Handelns reflexiv Sinn zugewiesen wird. Zeit ist kein einfacher Parameter, der in sozialwissenschaftlichen Fragestellungen wie in der klassischen Physik behandelt werden kann.

Kant versteht die Begriffe Zeit und Raum als Kategorien a priori, die vor jeder Erfahrung liegen. Zeit (und Raum) wird nicht als empirische Realität aufgefasst, sondern als «Form unseres Bewusstseins vor jeder Erfahrung», um überhaupt Beobachtungen machen zu können (MAINZER 1999:39). Mit anderen Worten: Die beiden Kategorien sind Voraussetzung, um Erfahrungen zu machen. Raum und Zeit schaffen geordnete Strukturen durch räumliches Nebeneinander und zeitliches Nacheinander. Urteile über die Welt werden über die Modi der Zeit wie Beharrlichkeit, Aufeinanderfolge und Gleichzeitigkeit festgelegt (MAINZER 1999:40-41). Nach Kant müssen die Kategorien Zeit und Raum willkürlich, aber zweckmässig definiert werden, damit sie der empirischen Realität geöffnet werden können. Das wesentliche Postulat Kants Theorie ist, dass weder Raum noch Zeit über eine determinierende Kraft verfügen. So ist ein Ereignis, das in der Zeit situiert ist, nicht zum Ereignis geworden, weil es die Zeit bzw. der Zeitpunkt so gewollt hat, sondern weil es aus dem Kontext der gesellschaftlichen und individuellen Situation bzw. aus der inhaltlichen Ebene heraus entstanden ist. Erst die reflektierenden Menschen haben ein Ereignis zu dem gemacht, was es ist. Die sozialtheoretische Perspektive widerspricht den Ansichten Kants nicht, sie geht aber einen Schritt weiter, wenn sie behauptet, Zeit wird unablässig durch die handelnden Individuen mit Sinn gefüllt. Oder wie es Giddens (1997:292) formuliert: «Die Menschen machen ihre Geschichte in Kenntnis eben dieser Geschichte, d. h. als reflexive Wesen eignen sie sich die Zeit mehr denkend an, als daß sie einfach in ihr <lebten>.» Gerade weil Zeit a priori ohne Bedeutung ist, muss ihr Sinn zugewiesen werden.

Bergson kritisierte als prominentester Vertreter die aus den Naturwissenschaften in die Sozialwissenschaften importierte verräumlichte und metrisierte Zeitvorstellung (FUCHS-HEINRITZ 1994:153). Die Behauptungen Bergsons müssen geklärt werden, denn die Interpolationsmethoden, die zur Aufzeichnung des Wandels im Weltanschauungsraum verwendet werden, stammen aus der Geographie. Diese Methoden werden normalerweise auf räumliche Gegebenheiten angewendet. Zeit und Raum zeichnen sich unter anderem beide durch diskontinuierliche Phänomene aus. Ereignisse in der Zeit wirken als Impulse für den Beginn neuer Entwicklungen, ohne die bestehenden Strukturen gänzlich zu zerstören. Der Berliner Mauerfall 1989 kann als ein solches einschneidendes Ereignis betrachtet werden, und trotzdem sind elf Jahre nach dem Zusammenschluss der beiden deutschen Länder nicht alle Spuren und Strukturen des alltäglichen Lebens der ehemaligen DDR verschwunden. Diskontinuität zeigt sich auch im geographischen Raum, wo z. B. nationale Grenzen der abrupte Übergang zu unterschiedlichen politischen Systemen sein können. Räumliche Veränderung wie die Aufhebung der Grenze zwischen den beiden deutschen Staaten zeigt, dass auch im Raum bestehende Strukturen durch Ereignisse aufgehoben werden, ohne dass dadurch das räumliche Muster gänzlich zerstört wird. So ist z. B. die PDS, die Nachfolgepartei der kommunistischen Einheitspartei (SED), auch heute nur im Gebiet der ehemaligen DDR verbreitet. Raum und Zeit sind aber nicht nur bestimmt durch Diskontinuität, sondern weisen auch Kontinuität durch lokale bzw. kurzfristige Trends auf und zeigen durchaus globale und weitreichende Erscheinungen. Räumliche und zeitliche Distanz sind ohne Bedeutung, wenn man sie nicht in Beziehung zu Wirklichkeiten anderer gesellschaftlichen Teilsysteme setzt. Erst das Zusammentreffen dieser Teilsysteme in Zeit und Raum und das dar-

aus entstandene und rezipierte Ereignis geben einen Sinn, und nicht zwangsläufig die Distanz zwischen zwei Ereignissen. Der offensichtlichst grösste Unterschied zwischen Zeit und Raum ist, dass man sich im Raum mehr oder weniger frei bewegen und Orte auch mehrmals aufsuchen kann; im Gegensatz dazu die Zeit:

«Man kann nichts zurückholen, was auch nur einen Moment vergangen ist – doch jede Handlung wird gleichsam für immerdar im Protokoll der Zeit vermerkt» (FLEMING zit. in BLAISE 2001:68).

Der Kritik Bergson, dass Zeit für soziologische Fragestellungen nicht metrisiert werden kann, ist berechtigt. Aus geographischer Sicht ist aber die Kritik an der verräumlichten Zeit falsch, denn dieser Auffassung von Bergson liegt zu Grunde, dass es sich bei Raum immer um Distanz handelt. Auch der Raum kann für sozialwissenschaftliche Fragen nicht metrisiert werden. Die Konzepte von Raum und Zeit bestehen beide ohne Metrisierung und weisen damit in einem wesentlichen Punkt Ähnlichkeit auf, so dass die Anwendung von räumlichen Methoden auf zeitliche Phänomene gerechtfertigt ist.

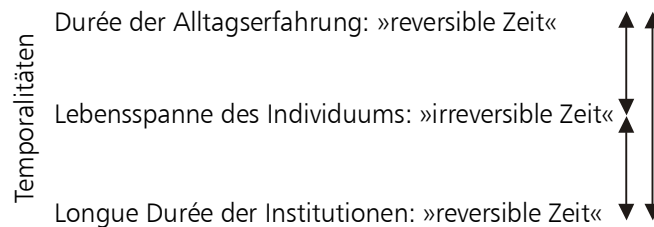
Die Aussage, dass Zeit verräumlicht wird, beruht auf der Reifikation (Vergegenständlichung; theoretischer Begriff wird mit der Wirklichkeit verwechselt), Raum stelle Distanz dar. Aber Raum ist wie Zeit eine Kategorie vor jeder Wahrnehmung und nicht ein Objekt. Auch BACKHAUS (1999:66) macht auf diesen Sachverhalt aufmerksam, da der Raum per se niemandem etwas bedeute. Relevant wird er erst, wenn man Distanz überwinden möchte oder sich auf ein territoriales Prinzip wie z. B. die nationale Gesetzgebung beruft. Diese Ungenauigkeit der Begriffsbestimmung rührt daher, dass Zeit und Distanz mit Geschwindigkeit über die Funktion

$$v = \frac{s}{t}$$

verknüpft ist. OECHSLIN (1999:50) schreibt, dass Raum und Zeit «lediglich zwei Aspekte desselben Phänomens sind» und führt Beispiele auf wie «eine Stunde Weg» oder «ein Tagesmarsch entfernt». Er schliesst daraus, «dass Zeit durch Raumangaben und Raum durch Zeitanangaben umschrieben werden können, wenn etwas in Bewegung ist» (OECHSLIN 1999:47) und übersieht, dass es sich um Geschwindigkeiten handelt. OECHSLIN (1999:42) erwähnt: «Eine mechanische Uhr hat nicht a priori mit Zeit zu tun. Sie ist bloss eine Maschine, die gleichmässig Zeiger bewegt. Erst im Kopf wird aus den Winkeln dazwischen die Zeit. (...). Der Begriff Uhr steht deshalb, ebenso wie Zeit, für einen erstaunlich komplexen geistigen Sachverhalt.» Oechslin vollzieht bei der Zeit nicht die Reifikation mit der Uhr, wie dies beim Raum und der Geschwindigkeit der Fall ist. Die mangelnde Sensibilität gegenüber dem Raum rührt vielleicht daher, dass der Raum nichts Geheimnisvolles an sich hat oder wie GIDDENS (1995:421-422) meint, besitzt das Konzept des Raums im Vergleich zur Zeit scheinbar die grössere Transparenz.

GIDDENS (1995:161) kritisiert wie Bergson: «Die meisten Sozialwissenschaften behandeln Raum und Zeit als bloße Randbedingungen des Handelns und akzeptieren unbedacht eine Konzeption der Zeit als meßbare Uhrzeit, wie sie für die moderne westliche Kultur charakteristisch ist» und nimmt die Bedenken Bergson in seine Theorie auf. Als Alternative zur Parameterzeit führt Bergson den Begriff der *durée* ein. «Die Dauer meint insbesondere in wissenschaftlichen

(philosophischen, historischen) Zusammenhängen die gelebte, die erfüllte Zeit im Gegensatz zur chronometrisch quantifizierten Zeit» (FUCHS-HEINRITZ et al. 1994:153). Giddens erweitert dieses Konzept von Bergson in seiner Theorie der Strukturierung um das Konzept der *longue durée* von Braudel. Die Begriffe der reversiblen Zeit und der irreversiblen Zeit übernimmt Giddens von Lévi-Strauss.



Quelle: GIDDENS (1995:89)

Abbildung 2-1 Soziale Zeit und ihre Temporalitäten

In Abbildung 2-1 werden drei Temporalitäten bzw. Zeitlichkeiten unterschieden: a) die *durée* auf der Ebene des Individuums als den Lebenslauf, die täglichen Wiederholungen sozialer Aktivitäten b) die Lebensspanne des Individuums von Geburt bis Tod und c) die *longue durée* der Institutionen, die weit in Raum und Zeit ausgreifen (TREIBEL 1997:240). Zeit kann somit auch als Phänomen des Sich-Wiederholens verstanden werden.

«Die *durée* des täglichen Lebens – man braucht nicht allzuviel Phantasie, um dies zu sagen – funktioniert ungefähr in einer Weise, die mit dem verwandt ist, was Lévi-Strauss die «reversible Zeit» nennt. Ob Zeit, als solche (was immer dies auch wäre) reversibel ist oder nicht, die Ereignisse und Routinen des täglichen Lebens fließen nicht nur in einer Richtung. Die Begriffe «soziale Reproduktion», «Rekursivität» usw. weisen auf den repetitiven Charakter des Alltagslebens hin, dessen Routinen in den Begriffen der Überschneidung von vorübergehenden (aber kontinuierlich wiederkehrenden) Tagen und Jahreszeiten gebildet sind. Das Alltagsleben hat eine Dauer; es ist ein Fließen, aber es fließt nirgendwo hin» (GIDDENS 1995:88).

Die *longue durée* ist die «Langzeit-Existenz von Institutionen», sie repräsentiert die «überindividuelle» Zeit und «ist sowohl die Bedingung als auch das Ergebnis der Praktiken, die in der Kontinuität des täglichen Lebens organisiert sind (...)» (GIDDENS 1995:89).

Das Individuum verknüpft die verschiedenen Ebenen der Zeit. Es werden Routinen des täglichen Lebens realisiert. Diese Strukturen werden über die Zeit hinweg reproduziert, werden aus der Vergangenheit in die Gegenwart geholt und reichen auch mit einiger Wahrscheinlichkeit in die Zukunft.

«Das Leben des Individuums ist dem gegenüber nicht nur endlich, sondern auch irreversibel, ein «sein zum Tode». (...). Die Zeit ist in diesem Fall die Zeit des Körpers, eine Grenze der Gegenwart, die ganz anders ist als das Verflüchtigen von Raum und Zeit in der Dauer des Alltagshandelns. Unser Leben «geht hin» in einer irreversiblen Zeit mit dem Vergehen des lebenden Organismus» (GIDDENS 1995:89).

Aus den getroffenen Aussagen über die Zeit ergibt sich eine Anforderung an quantitative Methoden für Zeitreihen. Die Methoden sollten so arbeiten, dass sie den Verlauf von Zeitreihen nicht auf deterministische Weise bestimmen, sondern diesen durch stochastische Verfahren berech-

nen. Es soll aus den Daten selbst hervorgehen, wie stark gewichtet diese in die Berechnung einfließen sollen und nicht zum Vornherein durch eine Annahme festgelegt werden, zumal diese nicht verlässlich überprüft werden kann.

Aus dem Modell in Abbildung 2-1 geht hervor, dass das Individuum die Instanz zur Produktion und Reproduktion von Strukturen ist, die ihm nicht etwas Äusserliches sind, sondern innere Handlungsorientierung. Im Moment der Handlung werden Strukturen vom Individuum als etwas Gegebenes erfahren und nicht als veränderlich. Und trotzdem sind Strukturen einem ständigem Wandel unterworfen, da sich gesellschaftliche Bedingungen verändern und das Individuum den Handlungsfluss reflexiv steuert. Handlungsweisen wurden in einer bestimmten Vergangenheit angeeignet, werden in der Gegenwart assoziiert und fließen mit in die Zukunft. Reproduktion von Strukturen und Bewusstseinsinhalten heisst, dass diese sich erst mit der Zeit verändern und somit zeitlich Nahes ähnlicher ist. Dabei muss die Frage gestellt werden, was zeitliche Nähe bedeutet und ob nicht für verschiedene soziale Systeme unterschiedliche Zeithorizonte gelten. Mit anderen Worten: Aus der Sicht eines beliebigen Zeitpunktes sind Strukturen der nahen Vergangenheit und der nahen Zukunft gleich oder ähnlich. Wie weit sich diese Ähnlichkeit über die Zeit erstreckt, sollte aus den Daten bestimmt werden können. Diese strukturellen Ähnlichkeiten über die Zeit sind deshalb so wesentlich, weil eine der Interpolationsmethoden sich diesen Sachverhalt zunutze macht.

2.2 Sozialer Wandel

Wandel ist in den Sozialtheorien ein zentraler, aber auch einer der allgemeinsten Grundbegriffe. Der Begriff Wandel wird dem Begriff Ordnung in einem dialektischen Sinn gegenübergestellt. So besteht auch in der modernen Soziologie eine grundsätzliche Auseinandersetzung, ob es sinnvoll ist, von «Ordnung oder Wandel als Einstieg in die gesellschaftliche Analyse auszugehen» (ZAPF 1998:427-428). Eine Auseinandersetzung über die Hierarchie von Wandel und Ordnung bzw. Stabilität wäre nicht nötig, würde man sich die Aussagen von Parmenides: «Es gibt nichts Neues unter der Sonne» und Heraklit: «Alles fließt, nichts besteht» vergegenwärtigen. In einer allgemein verwendbaren Definition bezeichnet ZAPF (1998:427) sozialen Wandel als

«die prozessuale Veränderung der Sozialstruktur einer Gesellschaft in ihren grundlegenden Institutionen, Kulturmustern, zugehörigen sozialen Handlungen und Bewußtseinsinhalten.»

Was der Begriff sozialer Wandel darstellt, ist selbst dem Wandel unterworfen, so dass es neben den unterschiedlichen theoretischen Positionen in der aktuellen Diskussion auch eine Unterscheidung hinsichtlich der historischen Dimension existiert. Kant sieht im Lichte der Aufklärung den gesellschaftlichen Wandel als Fortschritt zu einer «vollkommenen bürgerlichen Vereinigung der Menschengattung» (MAINZER 1999:111). Hegel betrachtet die Weltgeschichte als einen dialektischen Prozess, in dem sich der Geist zu immer grösserer Freiheit selbstverwirklicht (MAINZER 1999:111). Diesen Gedanken von Hegel schliesst sich Marx bekanntlich an und sieht am Ende der dialektischen Schritte die klassenlose Gesellschaft. Comte, der den Begriff der Soziologie geprägt hat, geht von einer linearen Entwicklung aus und propagiert ein Dreista-

diengesetz, wonach die Menschheit das theologische, metaphysische und wissenschaftliche Stadium nacheinander durchläuft. Spencer – ebenfalls ein Klassiker der Soziologie – ist der Auffassung, dass die soziokulturelle Evolution eine lineare Fortsetzung der biologischen Evolution darstellt. Er ist durch die im 19. Jahrhundert entdeckten zeitlichen Entwicklungsgesetze der Naturwissenschaften – biologische Evolution und Thermodynamik – beeinflusst. Noch Anfang des 20. Jahrhunderts kommt Spengler zu der erstaunlichen Idee, die Entwicklung der Menschheit beruhe auf einem organistischen Gesetz, welches Anlehnung an die vier Jahreszeiten findet (MAINZER 1999:112)

Den aufgezählten Ideen liegt gemeinsam zu Grunde, dass es sich um historische Entwicklungsgesetze der Menschheit bzw. der Gesellschaft handelt, die unabhängig von Rahmenbedingungen formuliert werden und gleich den naturwissenschaftlichen Gesetzen auf alle Fälle anwendbar und über Raum und Zeit ihre Gültigkeit bewahren. Zusätzlich wird die soziale Wirklichkeit auf mechanische, organische, evolutionäre oder dialektische Vorstellungen reduziert. Das Individuum wird durch die zwingende Formulierung des Gesetzes zur Marionette von historischen Mächten. Popper ist wohl der prominenteste Kritiker dieser Fundamentaltheorien. Er kritisiert vor allem die mangelnde Überprüfbarkeit von einmaligen Ereignissen. «Was eine Generation an Boden gewinnt, kann von der nächsten wieder verloren gehen» (FISHER zit. in POPPER 1997:158). Diese Überlegungen führen dazu, dass auch keine Voraussagen gemacht werden können, wie POPPER (1997:156) seine Überzeugung treffend in einem Bonmot formuliert: «Was die Zukunft bringen wird, weiß ich nicht; und denen, die es zu wissen glauben, glaube ich nicht.» Auch die Einwände Giddens können durchaus in dieser Tradition der Kritik betrachtet werden. MAINZER (1999:114) meint, es sei zwischen den allgemeinen Aussagen über den Zeitverlauf der Geschichte, diesen unbedingten, von Randbedingungen unabhängigen Prognoseungen, die von Popper kritisiert werden und den Prognosen auf Grund von hypothetisch-empirischen Gesetzen der Sozialwissenschaft zu unterscheiden. Geschichte strebt keinem Ziel zu; es ist kein teleologischer Prozess. Giddens wie Popper bezeichnen aber Geschichte nicht als sinnlos. Für GIDDENS (1995:257) hat Geschichte zwei Bedeutungsmomente: das Entfalten und Vergehen des Lebens mit seinen Ereignissen in der Zeit und die Interpretation eben dieser Ereignisse. In diesem Sinne versteht Giddens die Feststellung von Marx, dass Menschen ihre «Geschichte machen». POPPER (1997:157) beruft sich auf Lessing, der Geschichte als «Sinnggebung des Sinnlosen» versteht. «Anstatt nach einem verborgenen Sinn der Geschichte zu fragen, müssen wir der Geschichte einen Sinn geben» (POPPER 1997:151).

Gibt es trotzdem eine Grundlage, auf der gesellschaftliche Veränderung verallgemeinert dargestellt werden kann? Ist sozialer Wandel mit allgemeinen Begriffen erfassbar? Die Evolutionstheorie könnte eine mögliche Erklärung bieten. GIDDENS (1995:284-288) ist jedoch der Meinung, dass sozialer Wandel nicht mit einem allgemeinen Modell erklärt werden kann. Die Kernidee seiner Theorie der Strukturierung weist dennoch einen evolutionären Gedanken auf, den er nicht explizit als solchen ausweist. Im Gegenteil: Er argumentiert vor allem gegen die gesellschaftliche Systemtheorie von Parson und Luhmann, in der implizit der Evolutionsgedanke enthalten sei. Systeme differenzieren sich in ihren Funktionen und Strukturen im Laufe der Entwicklung immer weiter aus; dieser Gedanke aus der Systemtheorie ist der Evolutionstheorie

sehr ähnlich. Mit anderen Worten: Die gesellschaftliche Entwicklung differenziert sich in Nischenplätzen – ein Konzept, das aus der Ökologie stammt. Giddens reitet einen heiligen Krieg gegen diesen Evolutionsgedanken. Damit Giddens diesen Krieg führen kann, setzt er mindestens zwei Prämissen, die nicht zwangsläufig hingenommen werden müssen. Erstens sieht er im Evolutionsgedanken eine teleologische Weltsicht, so dass Entwicklung einem Ziel zustrebt. Nicht einmal die biologische Evolutionstheorie spricht von einer Höherentwicklung (WUKETITS 2000:50-53). Die zweite Prämisse ist, dass einer der zentralen Begriffe der Evolution – die Anpassung – ein Bestandteil des gesellschaftlichen Wandels sein muss. «Man darf deshalb davon ausgehen, daß der Evolutionismus viel von seiner Anziehungskraft verliert, wenn sich der Begriff Anpassung für die Erklärung des sozialen Wandels als wertlos erweisen sollte» (GIDDENS 1997:288). Die zentrale Aussage von Giddens über sozialen Wandel ist, dass verschiedenste Mechanismen existieren, die sozialen Wandel herbeiführen können, ohne dass die eine Möglichkeit der anderen vorzuziehen ist.

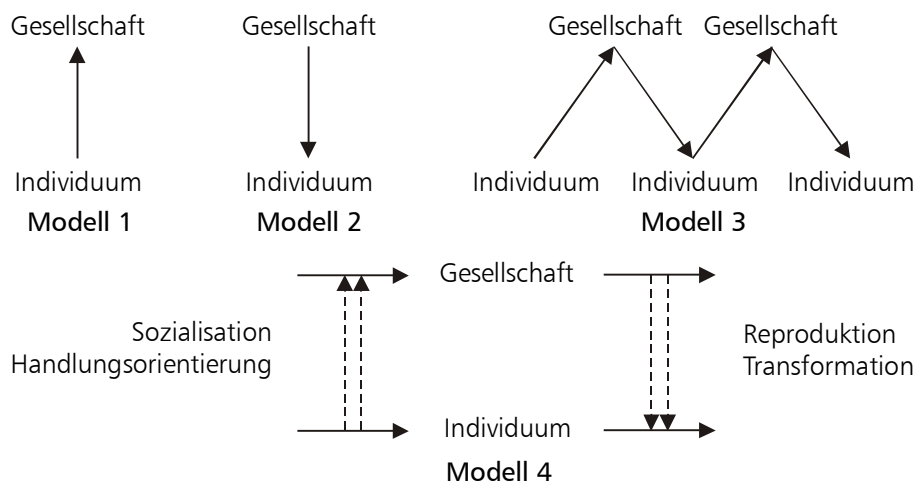
«Es läßt sich für die Erklärung sozialen Wandels kein einziger und überlegener Mechanismus festmachen: Es gibt keinen Schlüssel, der uns damit den Zugang zu den Geheimnissen der menschlichen sozialen Entwicklung eröffnen könnte, daß er diese Perspektive die wichtigsten Übergänge zwischen verschiedenen Gesellschaftsformen zu erklären vermöchte» (GIDDENS 1997:300).

So kann man Giddens interpretieren, dass es sehr wohl auch evolutionäre Mechanismen gibt; die Ansicht aber, dass der gesamte soziale Wandel mit Evolution zu erklären ist, sieht er als *pièce de résistance* in den sozialen Theorien. So plädiert er für die Dekonstruktion dieser Theorien (TREIBEL 1997:242) und will an Beispielen zeigen, dass die allgemeinen Theorien nicht zutreffen.

Evolutionäre Modelle sind in der modernen Soziologie ein gängiger Versuch, Wandel zu erklären, wie BORNSCHIER (1998:77-100) ein zeitgenössischer Soziologe in seinem Hauptwerk zeigt. Er beschreibt Wandel mit Hilfe der Zyklentheorie des zu Beginn des 20. Jahrhunderts lebenden Ökonomen Schumpeter und verknüpft diesen Gedanken mit einem evolutionären Modell. Durch den unterschiedlichen Entwicklungsstand verschiedener gesellschaftlicher Teilsysteme und deren gegenseitige Abhängigkeit integrieren die Teilsysteme die Innovationen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Reicht ein Gesellschaftsmodell nicht mehr zur Erklärung der gesellschaftlichen Realität aus, kommt es zu einem Paradigmawechsel. Dabei geht eine Gesellschaft bei jedem Zyklus durch eine bestimmte Abfolge von Stadien und versucht die neuen Bedingungen ins gesellschaftliche Modell zu integrieren. Bornschieer sieht innerhalb dieser Zyklen ein Streben nach höherer Legitimität. Mit anderen Worten: Phasen des Übergangs werden abgelöst durch Phasen der Ordnung. Wesentliche Begriffe in Bornschieers Theorie sind Innovation, Diffusion und diskontinuierlicher Wandel. In den Sozialwissenschaften finden Begriffe der Evolutionstheorie eine zweckmässige Anwendung, entgegen der Meinung von Giddens. Evolution ist nicht ein organisches Entwicklungsgesetz, sondern eine Sammlung von Metabegriffen. Evolution kann im wesentlichen mit den Begriffen der Innovation (und in raumzeitlicher Hinsicht als Diffusion), Selektion, Reproduktion und Kommunikation beschrieben werden. Diese Begriffe sagen nichts über die konkreten Mechanismen aus, die ihnen zugrunde liegen und nach denen Giddens sucht. Die Schwierigkeit liegt darin, ob der Erklärungsgehalt

dieser Begriffe für eine Gesellschaftsanalyse genügend aussagekräftig ist. Inwiefern Metabegriffe das sinnvolle Handeln von Menschen beschreiben, führt an den Rand des Postmodernen diskurs. Die Kritik von Giddens scheint mehr ein Problem der richtigen Ebene bzw. des Abstraktionsniveaus zu sein.

Zeit ist in der Theorie der Strukturierung fundamental und wird nicht einseitig als Grenze sozialen Handelns betrachtet, sondern Zeit (und Raum) ermöglicht erst die Situierung von Handlungen. Giddens kritisiert zwar den «Evolutionismus», und doch beruhen seine Vorstellungen auf den Metabegriffen Reproduktion, Innovation, Kommunikation und Selektion. Sein Modell kann trotz seiner Kritik als evolutionär oder transformatorisch bezeichnet werden. Sozialer Wandel ist elementar für die Theorie der Strukturierung. In Abbildung 2-2 sind vier verschiedene Modelle der Gesellschaft dargestellt. Das Modell 1 stellt eine atomistische Sichtweise der Gesellschaft dar, d. h. die Summe der Individuen machen die Gesellschaft aus. Die entgegengesetzte Auffassung vertreten die Strukturalisten, dargestellt in Modell 2. Die Strukturalisten gehen davon aus, dass individuelles Handeln durch Strukturen vorgegeben und determiniert ist. Modell 3 stellt den dialektischen Ansatz dar, der wie Modell 4 ein Versuch darstellt, die Modelle 1 und 2 zu verbinden.



Quelle: Bhaskar zit. in Steiner (1998a:9)

Abbildung 2-2 Gesellschaftsmodelle

Die Theorie der Strukturierung von Giddens kann dem Modell 4 zugeordnet werden. STEINER (1998a:10) fasst die Idee Giddens gut zusammen und arbeitet heraus, weshalb es zu sozialem Wandel kommen kann:

«Indem Interaktionen regelkonform vor sich gehen, werden Strukturen auch reproduziert. Mit anderen Worten: Sie können nur solange existieren, wie es auch Menschen gibt, die sich daran halten. Oft lässt die genaue Art der Reproduktion aber einen gewissen Spielraum offen, d. h. mit der Befolgung von Regeln ist ein bestimmtes Mass an Interpretation verbunden. <The discursive formulation of a rule is already an interpretation of it>, sagt Giddens. Abweichungen von den Regeln können Sanktionen nach sich ziehen, aber u. U., wenn sie wiederholt in der gleichen Art auftreten und schliesslich akzeptiert werden, auch zur Transformation von Strukturen beitragen.»

Aus der Theorie der Strukturierung und in etwas verkürzter Form auch aus den Aussagen Steiners kann abgeleitet werden, dass gleiche soziale Handlungen, die zeitlich nahe stattfinden, auch ähnlich sind. Mit anderen Worten: Reproduktion von Strukturen und Bewusstseinsinhalten heisst, dass diese sich erst mit der Zeit verändern und somit zeitlich Nahes ähnlicher ist. Dabei muss natürlich die Frage gestellt werden, was zeitliche Nähe überhaupt bedeutet – und kann es nicht sein, dass für verschiedene soziale Systeme unterschiedliche Zeithorizonte gelten. Auf diese Frage wird noch in Abschnitt 2.3 genauer eingegangen.

Damit Wandel auf Grund von sozialen Daten – im konkreten Fall durch den Ja-Stimmenanteil der eidgenössischen Abstimmungsvorlagen – quantitativ beschrieben werden kann, muss eine Anforderung formuliert werden, die aus dem oben Dargestellten abgeleitet wird. Da sozialer oder auch institutioneller Wandel weder geradlinig noch harmonisch in Zyklen verläuft und auch sonst keinen allgemeinen Gesetzen folgt, sondern durch Diskontinuitäten, Zäsuren, Richtungsänderungen, aber auch durch langfristige Entwicklungen usw. bestimmt ist, muss eine quantitative Methode diese Formen sichtbar machen. Mit Zeitreihen zu arbeiten bedeutet auf kurzfristige Ereignisse, aber auch auf langfristige Entwicklungen Rücksicht zu nehmen. Ein solcher Kompromiss kann mit lokalen Interpolationsmethoden erreicht werden.

2.3 Veränderungen des Weltanschauungsraums

Es können drei Komplexe der Veränderung des Weltanschauungsraums lokalisiert werden. Erstens sind die Gemeinden (Objekte) durch eine innere Dynamik gekennzeichnet. Zweitens sind die Abstimmungsvorlagen (Inhalt) einer Veränderung der Wahrnehmung ausgesetzt. Drittens kann sich der Merkmalsraum in seiner gesamten Struktur verändern, indem neue Dimensionen hinzukommen oder bestehende verschwinden.

Für die Untersuchungseinheiten, die Gemeinden, sind drei Dimensionen des Wandels zu erkennen: a) die soziokulturelle b) die soziostrukturelle und c) die sozioökonomische. Ein typisches Beispiel des soziokulturellen Wandels ist das zunehmende Auseinanderdriften des «Röstigrabens». Eine mögliche Rolle spielt dabei die verstärkte Identifikation mit dem eigenen Sprachraum oder der zunehmend unterschiedlich geführte politische Diskurs in den Sprachregionen, der mangels gegenseitiger Bezüge autark bleibt. Ein Beispiel für städtische Gebiete ist die Gentrifizierung von einzelnen Quartieren oder Kreisen.

Unter *soziostrukturellem Wandel* der Untersuchungsobjekte wird die Veränderung des Bevölkerungsaufbaus verstanden. Zum Beispiel zeigt die aktuelle Diskussion in den Medien, dass die zunehmende Überalterung eine nicht zu unterschätzende Rolle für die Abstimmungsergebnisse spielt. Aber auch veränderte Ausländer- und Ausländerinnenanteile sind bezüglich der Wahrnehmung von Problemen ein wesentliches Argument. In diese Kategorie gehören allgemein Veränderungen des sozialen Status wie Einkommen, Beruf usw.

Der *sozioökonomische Wandel* betrifft meist ganze Regionen, wie das Beispiel der Uhrenkrise entlang des Juras gezeigt hat. Wirtschaftliches Wachstum hat möglicherweise einen generellen Einfluss auf die Perzeption der Welt und deren Möglichkeiten. Rezessionen, unter den Landesteile unterschiedlich leiden, haben ebenfalls einen Einfluss auf das Abstimmungsver-

halten der jeweiligen Region, wie dies die Wirtschaftskrise in den 90er Jahren, von der die Westschweiz härter als die Deutschschweiz getroffen wurde, zeigt.

Neben den Objekten kann sich auch der *Untersuchungsinhalt* verändern. Den Inhalt bzw. die Variablen bilden im Weltanschauungsraum die Abstimmungsvorlagen. Die Messungen werden durch den Ja-Stimmenanteil objektiv durchgeführt. Die Interpretation der Abstimmungsvorlagen liegt aber bei den Abstimmenden, die in ihre Entscheidungen auch veränderte Umweltbedingungen (z. B. das Ende des Kalten Krieges) miteinbeziehen. Die Konnotation der Abstimmungsvorlagen kann sich somit während der Zeit verändern, wie das Beispiel der Diskussion zum Beitritt der Schweiz zur UNO veranschaulichen soll. Die erste Abstimmung fand zu Beginn der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts, also mitten im Kalten Krieg statt. Es war vor allem die bürgerliche Wählerschaft, die sich gegen einen Beitritt der Schweiz wehrte. Als Argument gegen einen Beitritt wurden die zentralistischen und bürokratischen Entscheidungsmechanismen und die starke Dominanz der Dritten Welt verwendet. Heute zu Beginn des 21. Jahrhunderts steht demnächst eine neue Abstimmung bevor. Der Kalte Krieg ist vergessen und es sind die bürgerlichen Kreise, die die Schweiz öffnen und in die UNO führen wollen. Die UNO-Vorlage ist eine der wenigen Vorlagen, die den selben Inhalt wie vor 20 Jahren hat. Hier kann veranschaulicht werden, dass sich auch die Beurteilung der Vorlagen ändert. Ein anderes Beispiel ist die Liberalisierung der Drogenpolitik. Einst auf Repression aufbauend, sind heute alternative Programme wie die Abgabe von Methadon kein Tabu mehr. Das Schreckgespenst der 80er Jahre hat sich zähmen lassen und in der Diskussion über weiche Drogen sind die Fronten nicht mehr so verhärtet.

Der letzte Komplex von Veränderungen betrifft den *Merkmalsraum* selbst. Mit den Daten von 1981 bis 1999 kann ein Raum konstruiert werden, der drei Konfliktachsen aufweist. Die Analogie zum physischen dreidimensionalen Raum ist rein zufällig. Es ist aber nicht voraus sagbar, ob – würde man weitere Daten von vergangen Abstimmungen oder fortlaufend die aktuellsten respektive nur Teilbereiche der Schweiz einbeziehen – der Merkmalsraum instabil würde. Denkbar ist auch, dass eine andere, weiter in der Vergangenheit zurückliegende Untersuchungsperiode weniger Konfliktachsen produzieren würde, der Raum also kollabierte. Genauso möglich wäre, dass der Raum in Zukunft weitere Konfliktachsen erhalten könnte. In der Theorie von komplexen, dynamischen und nicht-linearen Systemen würde eine solche Veränderung, die mit einem Sprung vergleichbar ist, als Stufe einer neuen Emergenz bezeichnet. Durch die Emergenz bekommt der Raum mittels bestimmten Nebenbedingungen eine neue «Gestalt» bzw. «Organisationsform» (MAINZER 1999:115). Ob diese neue Gestalt irreversibel wäre wie die Phasenübergänge von Emergenz, müsste untersucht werden. Als Beispiel sei eine mögliche pazifistische Weltanschauung erwähnt, die man auf Grund der öffentlichen Diskussion zu erkennen meint. Es zeigt sich aber, dass aus den aktuellen Daten kein «pazifistischer-militaristischer» Konflikt extrahiert werden kann. Dieser gesellschaftliche Anspruch geht in der Diagonale der Konflikte links-liberal und rechts-konservativ auf. In Zukunft könnte sich ein solches gesellschaftliches Anliegen als eigenständiger Konflikt manifestieren.

Eine eigentliche Immunität der Interpolationsmethoden besteht darin, dass die relative Bewegung aller Objekte gemeinsam in eine spezifische Richtung nicht abgebildet werden. Diese

Immunität liegt bereits im Weltanschauungsraum begründet. Der Weltanschauungsraum ist ein relativer Raum, d. h. man weiss über die positionierten Objekte nur, wie ausgeprägt sie vom Mittelwert des Konfliktes abweichen. In Abbildung 2-3 ist dieser Sachverhalt dargestellt. Es wäre nicht möglich festzustellen, dass die gesamte Schweiz z. B. eine Bewegung nach links macht.

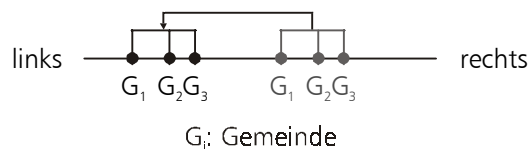


Abbildung 2-3 Relative Bewegung der Objekte im Weltanschauungsraum

Es zeigt sich, dass der Weltanschauungsraum ein hoch dynamisches System darstellt. Bei den Interpolationsmethoden handelt es sich um Verfahren, die den Wandel der Weltanschauungen der einzelnen Objekte beschreiben. Da sich die einzelnen Objekte nicht nur in Bezug auf die Weltanschauungen ändern, sondern eine innere Dynamik aufweisen und dies wiederum einen Einfluss auf deren Weltanschauung hat, ist es schwierig zu eruieren, ob es sich bei einer Veränderung der Weltanschauung um einen echten Wertewandel handelt oder ob sich die Strukturen der Objekte, also der Gemeinden, verändern. Korrelationen mit sozioökonomischen, -strukturellen und -kulturellen Variablen, die den Wandel der Gemeinden beschreiben, sollten dieses Problem lösen. Ob sich die Konnotation von ähnlichen Abstimmungsvorlagen über die Zeit verändert hat, ist ebenfalls schwer festzustellen, da selten Abstimmungen über den selben Inhalt stattfinden. Eine Ausnahme stellt z. B. die Vorlage über die Einführung des Herbstschulbeginns dar. Bei diesem Problem kann nur eine Einzelanalyse der betroffenen Abstimmungsvorlagen weiter helfen.

Der Merkmalsraum könnte, wenn grössere Zeiträume berücksichtigt werden, instabil werden, was besonders der Fall ist, wenn kaum Abstimmungsvorlagen vorhanden wären, die die Konflikte deutlich repräsentieren, oder wenn sich die Struktur des Raumes über die Zeit hinweg verändern würde. In diesem Fall müssten Methoden gefunden werden, die zuerst den Raum stabilisieren. Der Weltanschauungsraum zeigt sich während der Untersuchungsperiode als sehr stabil, wie dies in Abschnitt 3.2.1 beschrieben wird.

3 Faktorenanalyse und Messmodell

Die Basismethode zur Konstruktion des Weltanschauungsraums bildet die Faktorenanalyse. Mit ihr können die politischen Konflikte des Weltanschauungsraums aus den Resultaten der eidgenössischen Abstimmungen extrahiert werden. Ebenfalls können die Gemeinden gemäss ihrer Merkmalsausprägung auf den Konfliktachsen positioniert werden. Die Faktorenanalyse dient nicht nur der Konstruktion des Raumes, sie liefert auch Ergebnisse für die dynamische Betrachtung. In diesem Kapitel wird die Begrifflichkeit der Faktorenanalyse erarbeitet, soweit es für das Verständnis der dynamischen Betrachtung relevant ist. Die Faktorenanalyse ist – wie in anderen Sozialwissenschaften – auch in der Geographie ein Standardverfahren im statistischen Methodenspektrum, selbst wenn sie seit der zunehmenden Kritik Ende der 70er Jahren in der Regionalforschung zurückhaltend eingesetzt wird. HERMANN (1998:78-87) beschreibt die weltanschauliche Raumkonstruktion in seiner Diplomarbeit und argumentiert sorgfältig, welche Techniken der Faktorenanalyse zu bevorzugen sind. Ich werde mich deshalb hauptsächlich an die Ausführungen von Hermann halten.

Im ersten Abschnitt wird das Konzept der Faktorenanalyse erklärt. Die Schwerpunkte liegen auf dem Modell, dem Ablaufschema und den Ergebnissen der Faktorenanalyse. Ein etwas weiterreichender Abschnitt bildet die Diskussion über die Systematik der Faktorenanalyse. Diese Systematik ist wichtig, da es für Einsteiger schwierig ist, die verwendeten Begriffe einzuordnen.

Im zweiten Abschnitt werden die Besonderheiten der Daten, Messungen und Messwerte dargestellt. In einem weiteren Schritt werden diese einzelnen Teile mit den Ergebnissen der Faktorenanalyse verbunden und zu einem Messmodell zusammengestellt. Im Anschluss daran werden die sogenannten pragmatischen Anforderungen für die Interpolationsmethoden formuliert, die im anschliessenden Kapitel Entwicklung der Interpolationsmethoden Anwendung finden.

3.1 Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse besitzt vor allem in den Sozialwissenschaften einen wichtigen Stellenwert. Die Geographie kennt ebenfalls eine faktorenanalytische Tradition vor allem im Gebiet der Regionalforschung. Durch die zunehmende Kritik scheint diese Anwendung in Vergessenheit zu geraten, obwohl nicht am Anwendungsgebiet der Methode Kritik geübt wurde, sondern an der Verwendung der Hauptkomponentenanalyse an Stelle der Faktorenanalyse. Die Faktorenanalyse, welche bereits Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde, zählte vor allem in der Zeit der quantitativen Revolution in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts zu den beliebtesten Verfahren der quantitativen Geographie im deutschsprachigen Raum (BATHELT & ERB 1991:241). Die Faktorenanalyse scheint der holistischen Sicht – alles ist mit allem verbunden – und dem induktiven Denken der Disziplin gerecht zu werden. BAHRENBERG, GIESE & NIPPER (1992:276) stellen fest, dass in geographischen Forschungen vor allem ein Interesse an den Faktorwerten – den Ausprägungen der Objekten auf den Faktoren – besteht, um eine Clustera-

nalyse durchzuführen und anschliessend eine Typologie von Regionen zu erstellen. Die Faktorenladungen scheinen jedoch eine untergeordnete Bedeutung zu haben. In dieser Arbeit, wie auch für die Konstruktion des Weltanschauungsraums, sind es gerade die Faktorladungen, denen eine grosse Bedeutung zukommt, wie später gezeigt wird.

Die Faktorenanalyse gehört neben der multiplen Regressionsrechnung, der Diskriminanzanalyse, der Varianzanalyse und anderen zu den multivariaten statistischen Verfahren. Bei multivariaten Methoden werden an jeder Untersuchungseinheit mehrere Variablen gemessen und diese für eine Menge von Untersuchungseinheiten in der statistischen Analyse gleichzeitig betrachtet und gemeinsam ausgewertet (ÜBERLA 1977:81-89).

Unter dem Begriff der Faktorenanalyse werden heute verschiedene statistische Verfahren zusammengefasst, die je nach Fragestellung zur Anwendung gelangen. Neben der Faktorenanalyse existiert ein verwandtes Verfahren: die Hauptkomponentenanalyse (*Principal Component Analysis*), welches vor allem in der psychologischen Literatur als wichtiges Verfahren bezeichnet wird (BORTZ 1993:472). Die beiden Analyseverfahren gehen von unterschiedlichen Modellen der Varianz aus, wie in Abschnitt 3.1.2 erklärt wird.

Mit faktoranalytischen Verfahren können a) Hypothesen gewonnen oder geprüft b) Daten reduziert c) unabhängige Einflussgrössen erzeugt und d) Hintergrundinformationen identifiziert werden. HIRSIG (1997:11.1) bezeichnet die hauptsächliche Aufgabe der faktoranalytischen Verfahren als «die Suche nach Ordnung und Struktur». Mit anderen Worten: Es soll die Komplexität von vielen Variablen, die gegenseitige Beziehungen aufweisen, in ein einfaches Erklärungsmodell überführt werden, so dass die «Variablen gemäss ihrer korrelativen Beziehung in voneinander unabhängigen Gruppen klassifiziert werden» (BORTZ 1993:473). Je höher die Variablen miteinander korrelieren, umso ähnlicher ist die Information, die die Variablen repräsentieren. Diese Redundanz kann durch das Einführen von synthetischen Variablen, die einen Teil der gemeinsamen Varianz der gemessenen Variablen erklären, reduziert werden.

Es resultieren im besten Falle einige wenige so genannte synthetische oder hypothetische Variablen, die als Faktoren bezeichnet werden (vgl. Abbildung 3-1). Ein Faktor repräsentiert somit eine Gruppe hoch korrelierender Variablen. Dem Faktor wird entsprechend unterstellt, dass er in einem wesentlichen Bezug zu den Variablen steht. Das Ziel der Faktorenanalyse ist es folglich, wechselseitig voneinander unabhängige Faktoren, die die Zusammenhänge zwischen den Variablen erklären, zu finden (BORTZ 1993:474). Umgekehrt trägt eine Variable, die mit dem Faktor hoch korreliert, mehr zu dessen Erklärung bei. Die Korrelation zwischen einer gemessenen Variable und einem Faktor wird als Faktorladung bezeichnet (vgl. Abschnitt 3.1.1). In Abbildung 3-1 entspricht die Stärke der Verbindungslinien der Grösse der Faktorladung. Typisch für eine Faktorenanalyse ist, dass die gemeinsame Varianz der Variablen auf die Faktoren zurückgeführt wird. Theoretisch könnten so viele Faktoren extrahiert werden wie Variablen in die Analyse einfließen. Je höher die Variablen korrelieren, desto weniger Faktoren werden für die Erklärung benötigt. Mit wie vielen Faktoren gearbeitet werden soll, entscheidet der Anwender auf Grund von Kenn- und Masszahlen des statistischen Verfahrens. Wenn nicht eine möglichst hohe Varianz erklärt werden muss, kann durch eine Kombination von Kennzahlen und

inhaltlicher Interpretation der Faktoren ein begründbarer Entscheid für das Abbruchkriterium gefällt werden.

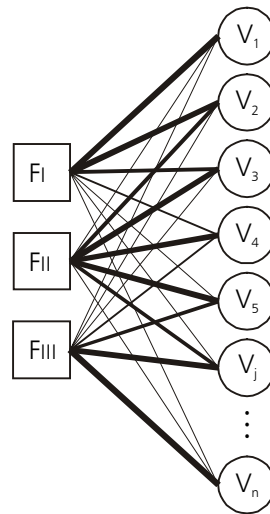


Abbildung 3-1 Faktorenmuster mit Faktorladungen

Zusammenfassend können die Ziele der Faktorenanalyse prägnant formuliert werden:

«Gesucht ist eine möglichst geringe Anzahl wechselseitig unabhängiger Faktoren, welche die Zusammenhänge zwischen den zahlreichen erhobenen Variablen zu erklären vermögen. Das Ergebnis einer Faktorenanalyse ist eine auf wenigen Faktoren beruhende Beziehungsstruktur, die die in den erhobenen Daten aufscheinenden Zusammenhänge zu erklären vermag» (HIRSIG 1997:11.2).

3.1.1 Lösungsschritte der Faktorenanalyse

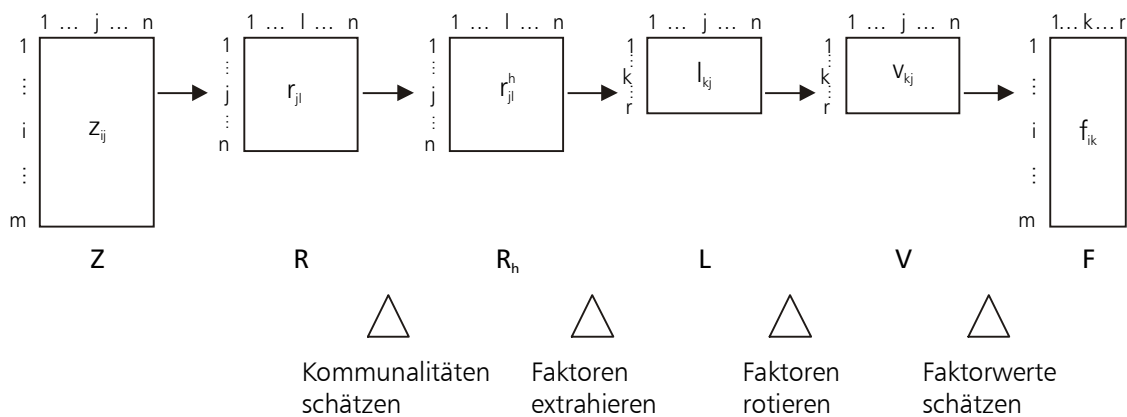
ÜBERLA (1977:62-63) bezeichnet die in Abbildung 3-2 dargestellten Schritte des Ablaufschemas als die Hauptprobleme der Faktorenanalyse. Es sind wie beschrieben a) die Kommunalitätsschätzung b) die Faktorextraktion c) die Faktorenrotation d) die Schätzung der Faktorwerte. Die Problematik liegt nicht in der Suche einer mathematischen Lösung, sondern in der Wahl des geeigneten Verfahrens. Die Faktorenanalyse ist nicht eine geschlossene Technik, sondern der Anwender oder die Anwenderin müssen sich gemäss ihrer Fragestellung für die passenden Techniken entscheiden.

Der erste Schritt einer Faktorenanalyse ist unabhängig vom weiteren Vorgehen, die Ausgangsdaten – häufig mit \mathbf{Y} bzw. y_{ij} bezeichnet – zu z-standardisieren, damit der Mittelwert auf 0 und die Standardabweichung auf 1 einer Variablen zu liegen kommt. Deshalb wird nachfolgend die Ausgangsmatrix als \mathbf{Z} und die Elemente als z_{ij} bezeichnet.

Das Schätzen der Kommunalitäten ist das erste Hauptproblem, das gemäss Abbildung 3-2 zu lösen ist. Für das Schätzen der Kommunalität gibt es alleine zwölf verschiedene Lösungstechniken (Überla 1977:157). Die Kommunalität sagt aus, wie viel Varianz alle extrahierten Faktoren zusammen bei einer Variablen aufklären. Für die Hauptkomponentenanalyse wird die Kommunalität für alle Variablen auf 1 gesetzt, was bedeutet, dass die gesamte Varianz durch

die Hauptkomponenten aufgeklärt werden kann. Bei der Faktorenanalyse wird die Kommunalität auf Grund der Korrelationsmatrix geschätzt und liegt zwischen 0 und 1, da das Modell der Faktorenanalyse davon ausgeht, dass nicht die gesamte Varianz auf die Faktoren zurückführbar ist (vgl. 3.1.2). In die Korrelationsmatrix \mathbf{R} werden die Kommunalitäten gemäss Schätzung als Diagonalelemente von \mathbf{R} gesetzt, woraus man \mathbf{R}_h erhält.

Die Faktorenextraktion stellt eigentlich keine Schwierigkeit dar. Heute werden hauptsächlich die Hauptachsenmethode oder iterative Verfahren angewendet. Die Faktoren werden derart extrahiert, dass sie sukzessiv maximale Varianz erklären. Der erste Faktor wird so in die Variablen gelegt, dass er einen grösst möglichen Anteil der gemeinsamen Varianz erklärt. Der zweite Faktor wird so gelegt, dass er den grössten Teil der gemeinsamen Varianz der Residuen erklären kann usw. Die Zentroidmethode ist eine einfache Näherung an die Hauptachsenmethode und gehört in die Blütezeit der Tischrechner (ÜBERLA 1977:113).



$\mathbf{Z} = (z_{ij})$ standardisierte Datenmatrix

$\mathbf{R} = (r_{jl})$ Korrelationsmatrix

$\mathbf{L} = (l_{kj})$ Matrix der Faktorladungen

$\mathbf{R}_h = (r_{jl}^h)$ Reduzierte Korrelationsmatrix

$\mathbf{V} = (v_{kj})$ Rotiertes Faktormuster

$\mathbf{F} = (f_{ik})$ Matrix der Faktorwerte

$i = 1, \dots, m$ Gemeinden (Beobachtungen)

$j, l = 1, \dots, n$ Abstimmungsvorlagen (Variablen)

$k = 1, \dots, r$ Faktoren

Quelle: *Veränderte Darstellung nach ÜBERLA (1977:62)*

Abbildung 3-2 Ablaufschema der Faktorenanalyse

Durch die Extraktion der Faktoren entsteht ein erstes wichtiges Teilergebnis, die sogenannten *Faktorladungen* \mathbf{L} . Die Ladung l_{kj} ist der Korrelationskoeffizient zwischen einer gemessenen Variablen und einem Faktor. Die Ladung ist ein Mass dafür, wie gut ein Faktor durch die Variablen repräsentiert wird. Durch hochladende Variablen auf den jeweiligen Faktoren ist es möglich, den Faktoren ihre inhaltliche Bedeutung zuzuweisen. Umgekehrt können die Ladungen als Güte interpretiert werden, welche bestimmt, wie viel ein einzelner Faktor an einer Variable erklärt. Diese Interpretation der Ladungen wird im Abschnitt *Daten und Messmodell 3.2* für die Interpolationsmethoden zu Nutze gemacht und dabei als Gewichte verwendet.

Nach der Extraktion der Faktoren werden diese rotiert. Mit der Rotation wird versucht, die Varianz gleichmässiger auf die Faktoren zu verteilen, ohne dass sich dadurch die Gesamtvarianz ändert. Dabei wird eine Einfachstruktur der Ladungen angestrebt, so dass die Ladungen entweder nach 1 bzw. -1 streben oder nahe Null sind (BATHELT & ERB 1991:244). Dadurch können die Faktoren besser interpretiert werden, als wenn die Ladungen alle etwa die gleichen Werte aufweisen. Die rotierten Faktorladungen werden mit v_{kj} bezeichnet, die Matrix entsprechend mit \mathbf{V} . Es existieren grundsätzlich zwei Rotationsverfahren: Bei der *orthogonale Rotation* werden alle Faktoren derart gedreht, dass sie auch nach der Rotation alle zueinander einen Winkel von 90° bilden. Damit bleiben die Faktoren unabhängig voneinander. Die *schiefwinklige Rotation* entspricht eher der Realität. BAHRENBURG, GIESE & NIPPER (1992:249) meinen deshalb, es sei nicht einsehbar, weshalb in der Praxis nicht immer die schiefwinklige Rotation verwendet werde. Bei dieser Kritik müssen jedoch zwei mögliche Anwendungsbereiche der Faktorenanalyse in der Geographie unterschieden werden. Bahrenberg, Giese und Nipper gehen in ihren Überlegungen davon aus, dass die Faktorwerte für Regressions- und Korrelationsanalysen weiter verwendet werden. In diesem Fall können sich bei orthogonaler Rotation lokale Abweichungen ergeben, die nicht aus den Daten erklärbar sind und auf die gewählte Methode zurückgeführt werden müssen (vgl. BATHELT & ERB 1991). Wird die Faktorenanalyse als raumkonstruierende Methode eingesetzt, ist es hingegen zweckmässig, ein rechtwinkliges Koordinatensystem zu wählen, um die Objekte im Raum besser zu visualisieren.

Ein zweites wichtiges Teilergebn sind die *Faktorwerte* in der Matrix \mathbf{F} . Die Faktorwerte f_{ik} geben die Position einer Untersuchungseinheit – im konkreten Fall, die einer Gemeinde – auf einem Faktor an. Auf diese Weise können die Gemeinden im Raum der Weltanschauungen positioniert werden, wobei die Faktoren als Koordinaten dienen. Der Faktorwert beschreibt also die Ausprägung eines Objektes auf den synthetischen Variablen. Die Faktorwerte sind z-standardisiert.

3.1.2 Systematik

Die Faktorenanalyse wurde seit ihrer Entwicklung zu Beginn des 20. Jahrhunderts fortwährend ausgebaut. Dabei ging es nicht nur um die Optimierung des Verfahrens, sondern um die Ergänzung neuer Techniken für spezifische Probleme. Die Konzeption beruht also nicht auf einer geschlossenen statistischen Methode, sondern stellt eine Sammlung von Verfahren dar, die gleichberechtigt angewendet werden. Mit dem Aufkommen von Computern erlebte die Faktorenanalyse durch bessere Näherungen mittels rechenintensiven Algorithmen eine Renaissance. Die stetige Weiterentwicklung führte dazu, dass verschiedene Bezeichnungen der Faktorenanalyse je nach Autor unterschiedlich interpretiert werden, was die konsequente Anwendung der Begriffe schwierig macht.

Ein erstes Missverständnis entsteht durch die Begriffe der *Faktorenanalyse* und der *Hauptkomponentenanalyse*. Diesen beiden Begriffen liegen zwei unterschiedliche mathematische Modelle zu Grunde, obwohl die Ziele der beiden Analysen verwandt sind. In diesem Sinne handelt es sich zwar um verwandte, aber eigenständige Analysen. HIRSIG (1997:11.3) z. B. differenziert aus «didaktischen» Gründen nicht weiter und BORTZ (1993:477) sieht die Faktorena-

nalyse als Sammelbegriff und ordnet die Hauptkomponentenanalyse dieser unter. BACKHAUS et al. (1990:87) sehen in der Hauptkomponentenanalyse einen Grenzfall der Faktorenanalyse. Für einige Autoren ist die Hauptkomponentenanalyse mit einer rechtwinkligen Rotation der Faktoren verbunden. Nachfolgend soll kurz erklärt werden, was unter den beiden Modellen verstanden wird und welche Annahmen jeweils vorausgesetzt werden. In Abbildung 3-3 sind die Modelle und die dazugehörigen Extraktionsverfahren in ihrer Beziehung zueinander positioniert.

In der *Hauptkomponentenanalyse* wird davon ausgegangen, dass die gesamte Varianz jeder gemessenen Variablen durch die Hauptkomponenten erklärt wird. Da die gesamte Varianz aller Variablen die gemeinsame ist und damit auf gemeinsame Ursachen zurückgeführt werden kann, wird die Hauptkomponentenanalyse als «varianzorientiert» bezeichnet (BAHRENBERG, GIESE & NIPPER 1992:207). ÜBERLA (1977:88) bezeichnet dieses Modell entsprechend als «unrealistisch».

In der Hauptkomponentenanalyse werden in der Korrelationsmatrix \mathbf{R} die Diagonalelemente mit 1 bestimmt; die Variablen besitzen deshalb keine spezifische Varianz.

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & & \\ & \ddots & \\ r_{lj} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Die Korrelationsmatrix kann durch die Ladungsmatrix \mathbf{L} reproduziert werden

$$\mathbf{R} = \mathbf{L}\mathbf{L}^T . \quad (3.1)$$

Normalerweise wird versucht, aus der Korrelationsmatrix die Ladungsmatrix zu gewinnen. Die Gleichung 3.1 wird als «fundamental Theorem» der Faktorenanalyse bezeichnet (ÜBERLA 1977:52). Obwohl das Modell nicht der Realität entspricht, besticht es durch seine Einfachheit, und BAHRENBERG, GIESE & NIPPER (1992:235) weisen darauf hin, dass ab 15 Eingangsvariablen die Unterschiede zwischen Faktorenanalyse und Hauptkomponentenanalyse verschwinden.

Dem Modell der Faktorenanalyse liegt zugrunde, dass die Faktoren nur einen Teil der gemeinsamen Varianz erklären können. Dadurch gliedert sich die Varianz in diesem Modell in drei Teile: gemeinsame Varianz, spezifische Varianz und Fehlervarianz. Die Faktoren erklären nur die Varianz, die sie mit anderen Variablen gemeinsam haben. Deshalb spricht man von einem «kovarianzorientierten» Modell (Bahrenberg, Giese & Nipper 1992:207). Die Diagonalelemente der Korrelationsmatrix werden durch die geschätzten Kommunalitäten h_j^2 ersetzt.

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} h_j^2 & & \\ & \ddots & \\ r_{lj} & \cdots & h_j^2 \end{pmatrix}$$

Die Kommunalitäten können Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Das Modell der Faktorenanalyse kann deshalb wie folgt formuliert werden (ÜBERLA 1977:60)

$$\mathbf{R} = \mathbf{L}\mathbf{L}^T + \mathbf{U}^2 . \quad (3.2)$$

Die Matrix U enthält die Varianz, die nicht durch die Faktoren erklärt werden kann. Es ist offensichtlich, dass dieses Modell der Realität näher kommt, und damit sind die Forderungen von diversen Autoren, der Faktorenanalyse den Vorzug zu geben, verständlich (BAHRENBURG, GIESE & NIPPER 1992 und ÜBERLA 1977).

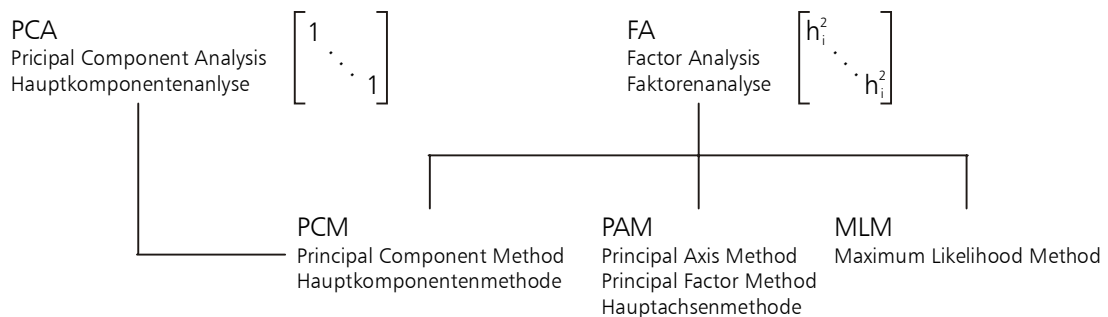


Abbildung 3-3 Systematik der Methoden der Faktorenanalyse

Eine weitere Schwierigkeit entsteht durch den Begriff Hauptkomponenten*methode*, welcher oft zu wenig vom Begriff der Hauptkomponenten*analyse* abgegrenzt wird. Die Hauptkomponentenmethode bezeichnet das Extraktionsverfahren für die Hauptkomponenten bzw. Faktoren, und nicht die Bestimmung der Kommunalitäten, wie oft irrtümlicher Weise bemerkt wird. Die Hauptkomponentenmethode kann auf Korrelationsmatrizen angewendet werden, die Kommunalitäten von 1 bzw. kleiner als 1 aufweisen.

Die Hauptkomponentenmethode gliedert sich nochmals in verschiedene Verfahren. ÜBERLA (1977:93-98) zählt die Hauptachsenmethode zur Hauptkomponentenmethode und bezeichnet die Zentroidmethode als numerische Annäherung an die Hauptachsenmethode. BAHRENBURG, GIESE & NIPPER (1992:234-235) ordnen die Zentroidmethode und die Maximierung der Eigenwerte bei der Hauptkomponentenmethode ein und führen die Hauptachsenmethode als eigenständiges Extraktionsverfahren auf. Die Hauptachsenmethode sei die Anwendung der Hauptkomponentenmethode auf eine Korrelationsmatrix, bei der die Kommunalitäten kleiner als 1 seien. Es kann also auch eine Faktorenanalyse mit einer Hauptkomponentenmethode durchgeführt werden und nicht nur eine Hauptkomponentenanalyse wie der Name suggeriert.

In der englischen Literatur ist ebenfalls die Bezeichnung Hauptachsenmethode *principal axes method* üblich. Die Autoren des SAS-Manuals verwenden entgegen der geläufigen Bezeichnung *principal factor method*.

Die erwähnten Methoden sagen nichts darüber aus, wie die *Kommunalitäten* für die Faktorenanalyse zu schätzen sind. Das einfachste Verfahren betrachtet den höchsten Korrelationskoeffizienten einer Spalte der Korrelationsmatrix als Kommunalität (ÜBERLA 1977:158). Eine weitere Methode ist das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten (SMC: *squared multiple correlation*). Dieser Korrelationskoeffizient repräsentiert die gemeinsame Varianz der untersuchten Variablen, jedoch nicht die gemeinsame Varianz zwischen Faktor und Variablen, was eigentlich die Kommunalität definiert. Diese Differenz zwischen den beiden Varianzen kann nur den Variablen zugeschrieben werden. Es wird deshalb vorgeschlagen, die SMC defi-

nitiv als Kommunalität zu wählen und damit einer «Reihe von Schwierigkeiten aus dem Weg zu gehen, die sich andernfalls ergeben» ÜBERLA (1977:157-160). Dementsprechend bezeichnet ÜBERLA (1977:157) die Situation als «unbefriedigend» und für die Theoretiker nicht ausreichend; wegen der häufig grösseren Anzahl verwendeter Variablen hat die ungenaue Schätzung der Kommunalitäten jedoch in vielen Fällen nur geringe Auswirkungen.

3.2 Daten und Messmodell

Wie aus den bisherigen Überlegungen bereits hervorgeht, ist die direkte Messung der Weltanschauungen nicht möglich. Sie können allerdings über die Ergebnisse einer Faktorenanalyse sichtbar gemacht werden. Die Faktorenanalyse liefert «nur» Faktoren. Werden diese interpretiert, entstehen daraus weltanschauliche Konflikte auf der inhaltlichen Ebene.

Der Sachverhalt, dass nur mit Gewichten gearbeitet werden kann und keine Messwerte für weltanschauliche Konflikte bestehen, ist Gegenstand des folgenden Abschnitts. Der Idealfall für mein Messmodell wäre, wenn in einem immer gleichbleibenden zeitlichen Intervall die schweizerische Bevölkerung zu jeweils identischen Abstimmungsvorlagen Stellung nehmen könnte, die zugleich Konflikte zu 100% repräsentierten. Aber genau dieser Idealfall liegt in keiner Art und Weise vor.

3.2.1 Raum der Weltanschauungen

Für die Konstruktion des Weltanschauungsraums wird eine Faktorenanalyse verwendet. Die Kommunalitäten werden mit der Methode der *squared multiple correlation* (SMC) geschätzt. Es wird eine Varimax Rotation durchgeführt, damit der erzeugte Faktorraum als orthogonales Koordinatensystem für die Darstellung des sozialen Raums verwendet werden kann und die Objekte darin besser visualisiert werden können (HERMANN 1998:83). Zusätzlich hat eine Überprüfung mit einem schiefwinkligen Verfahren ergeben, dass die Faktoren nach der Rotation nahezu senkrecht stehen. Die drei extrahierten Faktoren erklären 75.1% der gemeinsamen Varianz. Nach der Rotation werden durch den ersten Faktor 28.5%, durch den zweiten Faktor 24.8% und durch den dritten Faktor 21.8% erklärt.

Die Prüfgrösse MSA (*Kaiser's Measure of Sampling Adequacy*) gibt an, in welchem Umfang die Ausgangsvariablen zusammengehören (HERMANN 1998:79). Der MSA über die gesamte Matrix ist mit 0.97 ausgezeichnet, denn Werte ≥ 0.9 werden als «marvellous» bezeichnet. Wie bei solchen Prüfgrössen üblich kann er Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Keine Variable liegt unter dem Richtwert von 0.8 und nur zwei von 155 Variablen liegen unter 0.9.

Sowohl die hohe gemeinsame Varianz, die durch die ersten drei Faktoren aufgeklärt werden, als auch die hohen MSA-Werte lassen die Schlussfolgerung zu, dass der Weltanschauungsraum über die untersuchten 20 Jahre nicht zerfällt. Deshalb kann angenommen werden, dass die drei weltanschaulichen Konflikte in der Untersuchungsperiode die gleiche Bedeutung beibehalten haben und der Raum somit stabil geblieben ist. Eine Voraussetzung für die Anwendung der Interpolationsmethoden.

HERMANN & LEUTHOLD (2001) gelangen mit ihrem induktiven Verfahren, das auf der Textanalyse der Abstimmungsbotschaften von Befürwortern und Gegnern beruht, zu den Zielsetzungen der Abstimmungsvorlagen und damit zur Bedeutung der Variablen. Mit diesen Bedeutungen können die Faktoren benannt werden. Die Bezeichnungen der Faktoren spielen in dieser Diplomarbeit eine untergeordnete Rolle und dienen nur einer paxisbezogenen Orientierung im Weltanschauungsraum. Die Faktoren entstehen nicht durch die Interpretation, sondern beruhen auf dem statistischen Verfahren. Die Interpolationsmethoden könnten auf weitere beliebige Faktoren angewendet werden. In dieser Arbeit werden hauptsächlich Kombinationen von zwei Faktoren verwendet, die sich am einfachsten und besten in der Ebene darstellen lassen.

3.2.2 Datenbasis

Als Datengrundlage werden die Resultate der eidgenössischen Abstimmungen von Juni 1981 bis Juni 1999 verwendet. In diesem Zeitraum konnten die Stimmberechtigten zu 155 Vorlagen ihre Meinung abgeben. Die Abstimmungsergebnisse sind auf Stufe der Gemeinden aggregiert. Die Gemeindestruktur bezieht sich auf das Jahr der Volkszählung von 1990. Zu diesem Zeitpunkt existierten 3021 Gemeinden in der Schweiz.

3.2.3 Messmodell

Wenn man von einem designten Messsystem ausgeht, kann häufig der Forscher den Zeitpunkt und die Merkmale einer Messung bestimmen. Mit Vorteil wird er, wenn es sich um eine Zeitreihe handelt, die zeitlichen Abstände konstant halten. Auch bei den zu messenden Merkmalen wird er versuchen, immer die gleichen Merkmale mit den gleichen Methoden zu messen.

Bei Zeitreihen von Abstimmungsergebnissen, in Abbildung 3-4 schematisch dargestellt, werden in unregelmässigen Zeitabständen Messungen durchgeführt. Heute ist es Usanz, dass auf Bundesebene vier Abstimmungswochenende in etwa gleichmässig verteilt über das Jahr (März, Juni, September, November/Dezember) bestehen. Pro Termin gelangen meist mehrere Vorlagen zur Abstimmung mit meist thematisch verschiedenen Sachverhalten. Je nach Anfall von Abstimmungsvorlagen werden Abstimmungstermine fallengelassen. Durchschnittlich wird pro Abstimmungswochenende über 3 Vorlagen abgestimmt. Mit sieben Vorlagen am Abstimmungswochenende im Mai 1992 wurde das Maximum in der Untersuchungsperiode¹ erreicht. Die Abbildung 3-4 zeigt schematisch, auf der Zeitachse angeordnet, die unregelmässigen Abstände der Abstimmungstermine. Die dünnen Striche sind die Abstimmungsvorlagen pro Termin und sind gleichbedeutend mit den eigentlichen Messungen, die durchgeführt werden. In der chronologischen Abfolge entstehen Informationslücken, die einerseits durch die unregelmässigen Abstimmungstermine und andererseits durch die beliebige thematische Variation der Abstimmungsvorlagen entstehen. Es ist möglich, dass über längere Zeit keine Abstimmung zu ei-

¹ In der Nachkriegszeit wurde teilweise nur über eine Vorlage pro Termin abgestimmt, dafür gab es zum Teil fast jeden Monat eine Abstimmung, wie die Recherche in der schweizerischen Landesbibliothek ergeben hat.

nem weltanschaulichen Konflikt durchgeführt wird. Sollen Wandel oder Persistenz kontinuierlich beschrieben werden, müssen diese Lücken durch Interpolation geschlossen werden.

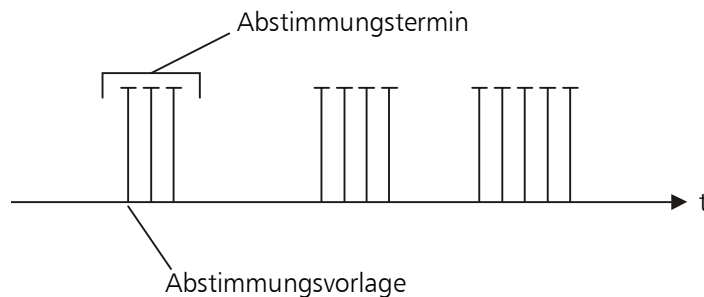


Abbildung 3-4 Messungen, Abstimmungstermin und Abstimmungsvorlagen

Der eigentliche Messwert ist der Ja-Stimmenanteil, der pro Abstimmungsvorlage erhoben wird. Messfehler kommen durch falsches Zählen der Stimmen zustande. In Abbildung 3-5 sind die dickeren Striche die prozentualen Ja-Stimmenanteile. Die dünne Linie mit dem Querstrich ist die 100%-Marke.

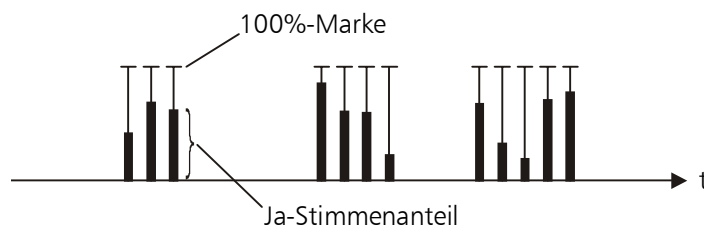


Abbildung 3-5 Messwert und Ja-Stimmenanteil

Die Ausprägungen der Weltanschauungen können durch das Einfließen der prozentualen Ja-Stimmenanteile aller Gemeinden zu einer Abstimmungsvorlagen aller Gemeinden in einer Faktorenanalyse ermittelt werden. Die Faktorenanalyse bündelt die Abstimmungsvorlagen über die Faktorladungen zu thematischen Gruppen. Die Ladung sagt dabei aus, wie stark diese Variable in Beziehung zur Gruppe bzw. zum Faktor steht. Die Gruppen können somit über die Ladung der Abstimmungsvorlagen interpretiert werden. Mit der Ladung wird deshalb genauso die Güte einer Variablen bzw. der Abstimmungsvorlage zu einem Faktor bezeichnet. In Abbildung 3-6 wird die Beziehung zwischen den gemessenen Variablen – hier mit V_j wie Vorlage bezeichnet – und den latenten, zu erklärenden Variablen, den Faktoren (F_I, F_{II}, F_{III}) dargestellt. Durch die Interpretation gelangt man von den Faktoren zu den Konflikten auf der inhaltlichen Ebene. Im chronologischen Verlauf ist schliesslich eine Gemeinde mit den Abstimmungsvorlagen und den dazugehörigen Faktorladungen gezeigt.

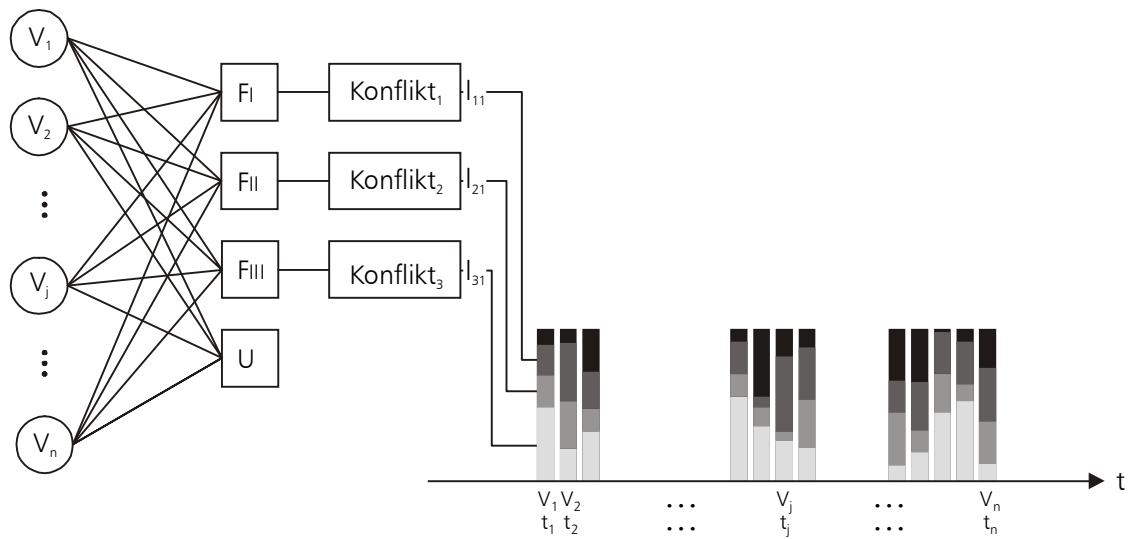


Abbildung 3-6 Faktormodell und Messmodell

Im faktorenanalytischen Modell wird die Beziehung der Faktoren (FI, FII, FIIL) zu den Variablen V_j durch die Faktorenladungen beschrieben, die als Verbindungslinien dargestellt sind. In dieser Abbildung ist ersichtlich, dass die Variablen untereinander keine Relationen aufweisen, wie dies z. B. in einer Pfadanalyse typisch wäre. Die gemeinsame Varianz wird in der Faktorenanalyse auf die Faktoren zurückgeführt. Der Übergang von Faktoren zu Konflikten zeigt den Übergang von der statistisch methodischen Umgebung in den inhaltlich thematischen Kontext. Die Faktoren werden auf der inhaltlichen Ebene als weltanschauliche Konflikte interpretiert. Die gleich hohen Balken sind die z-standardisierten Ja-Stimmenanteile mit Mittelwert 0 und Standardabweichung 1. Dank der Ladung ist bekannt, wie viel ein Faktor zur Aufklärung des Ja-Stimmenanteils einer Variablen beiträgt bzw. wie ausgeprägt ein weltanschaulicher Konflikt in einer Abstimmungsvorlage zum Ausdruck kommt. Die Ladungen sind durch die Balkenanteile angedeutet. Die schwarze Restfläche bezeichnet den Anteil der Varianz, der nicht durch die drei Faktoren aufgeklärt werden kann. Die Restvarianz steht mit der Kommunalität und die Kommunalität mit der Ladung in Zusammenhang. Diese Restvarianz wird für die Trendanalyse in Kapitel 4 weiter verwendet. Der Bezug zwischen Ladung l_{jk} und Kommunalität h_j^2 lässt sich wie folgt formulieren:

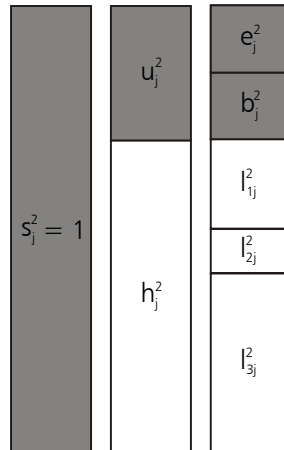
$$h_j^2 = \sum_k l_{kj}^2, \tag{3.3}$$

und der Zusammenhang zur Restvarianz u_j^2 als

$$u_j^2 = 1 - h_j^2. \tag{3.4}$$

Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3-7 graphisch dargestellt; er ist vom Aufbau her gleich gehalten wie die Vorlagen auf der Zeitachse in Abbildung 3-6. Alle Säulen stellen die Einheitsvarianz $s_j^2 = 1$ dar. Die Kommunalität ist die Varianz, die durch alle Faktoren auf einer Varia-

ble erklärt werden kann (Gl. 3.3), und sagt aus, wie viel eine Variable zur Erklärung des Gesamtmodells beiträgt. Die Restvarianz kann bei einer Faktorenanalyse in die spezifische Varianz b_j^2 und die Fehlervarianz e_j^2 aufgeteilt werden.



Quelle: *Veränderte Darstellung nach ÜBERLA 1977:57*

Abbildung 3-7 Zusammenhang von Varianz, Kommunalität und Ladung

Erst durch die Ladungen entsteht eine inhaltliche Differenzierung der Abstimmungsvorlagen. Im Interesse des Messmodells sollten die Konflikte über die Zeit wiederholt mit hohen Ladungen erscheinen, damit verlässliche Aussagen über den Zustand der Weltanschauung zu einem Zeitpunkt möglich sind. Fehlen hochladende Variablen zu einem Konflikt über einen längeren Zeitraum, entstehen inhaltliche Lücken.

Im Kapitel über sozialen Wandel wurden die theoretischen Anforderungen an die Interpolationsmethoden formuliert. Abschliessend werden nun die praktischen Anforderungen festgehalten, die aus der Anwendung der Faktorenanalyse resultiert. Das Ziel der Interpolationsmethoden ist es, eine Gemeinde zu einem beliebigen Zeitpunkt gemäss ihrer Weltanschauung im Merkmalsraum zu positionieren. Die Weltanschauung einer Gemeinde entspricht ihren Faktorwerten. Es wird versucht die Faktorwerte abhängig von der Zeit zu berechnen, damit für jede Gemeinde, für jeden Konflikt und für jeden beliebigen Zeitpunkt innerhalb der Untersuchungsperiode ein Faktorwert resultiert. Es können zwei praktische Anforderungen an die Interpolationsmethoden formuliert werden, die aus dem Messmodell resultieren. Erstens müssen die Ergebnisse der Faktorenanalyse weiter verwendet werden, da nur über die Faktorenanalyse die synthetischen Variablen, d. h. die Faktoren extrahiert werden können. Zweitens kann einzig über den Bezug der Faktorladung bestimmt werden, wie ausgeprägt ein Faktor eine Variable erklärt. Die Ja-Stimmenanteile sind inhaltlich undifferenziert. Erst in Kombination mit den Faktorladungen ist bekannt, wie der Ja-Stimmenanteil mit den Konflikten erklärt werden kann. Die Faktorladung kann deshalb als inhaltliches Gewicht bezeichnet werden. Der Einbezug der Ergebnisse der Faktorenanalyse bietet eine Menge Vorteile für die Interpolation, aber auch

Nachteile, die mit den Ergebnissen der Interpolationsmethoden in den Schlussfolgerungen diskutiert werden.

4 Entwicklung der Interpolationsmethoden

Ähnlich der Faktorenanalyse sind auch die Interpolationsmethoden ein Thema, das seit langer Zeit von Geographen und Erdwissenschaftlerinnen bearbeitet wird und dem heute noch grosse Aufmerksamkeit zukommt (BURROUGH 1986:147). Der Versuch mit Messwerten fehlende Werte innerhalb des gemessenen Bereichs zu schätzen, wird als *Interpolation* bezeichnet. Wird ein Wert ausserhalb des Wertebereichs geschätzt, wird dies als *Extrapolation* bezeichnet. BURROUGH (1986:147) bezeichnet das Hauptproblem der Interpolation als «(...) a problem of choosing a plausible model to suit data.» Dies bedeutet, dass eine adäquate Interpolationsmethode auf Grund der Daten und der Problemstellung gefunden werden muss und nicht ein beliebiges oder ein bevorzugtes Verfahren gewählt werden kann. Denn jede Interpolationsmethode hat seine Vorteile, aber auch seine Nachteile. Eine plausible Erklärung ist wichtiger als ein kategorisches Richtig oder Falsch, denn häufig bestimmt die Art der Daten, was sinnvoll ist. Durch die Beschreibung von zwei grundsätzlich verschiedenen Methoden in diesem Kapitel soll diesem Argument Rechnung getragen werden.

Interpolationen können auf räumliche, zeitliche oder sonstige Datenreihen, wie z. B. die Regressionsanalyse zwischen zwei Variablen, angewendet werden. Eines der Ziele ist es, die in der Geographie verwendeten, also vornehmlich räumlichen Interpolationsmethoden auf Zeitreihen abzubilden. Im ersten Abschnitt *Systematik* werden die beiden Methoden in ihrem Zusammenhang mit anderen Interpolationsmethoden dargestellt, damit die wesentlichen Eigenschaften solcher Methoden ersichtlich werden und eine systematische Einordnung möglich wird. In Abschnitt 4.2 werden die Interpolationsmethoden in einem mathematischen Formalismus beschrieben, damit die Ideen transparent dargelegt werden können. Ein Vergleich der Ergebnisse der beiden Methoden bildet den Abschluss dieses Kapitels.

4.1 Systematik

Die Interpolationsmethoden können nach BURROUGH (1986:164) hauptsächlich durch vier Eigenschaften unterschieden werden. Die erste Unterscheidung betrifft die exakten bzw. unexakten Interpolationen. Bei einer exakten Interpolation stimmen Messwerte und Schätzungen überein. Als Beispiel für eine exakte Interpolation kann B-Splines angeführt werden, für eine nicht exakte die Trendanalyse. Weiter unterscheidet Burrough zwischen diskreten und kontinuierlichen Übergängen der Interpolationsschritte. Hier erwähnt er die Thiessenpolygone als diskret und der gleitende Mittelwert als kontinuierlich. Für meine Arbeit ist die Unterscheidung der in Abbildung 4-1 dargestellten Eigenschaften global/lokal und deterministisch/stochastisch von besonderer Bedeutung.

Bei globalen Interpolationen werden alle Messwerte verwendet, um die fehlenden Werte zu schätzen. Die Messwerte werden über die gesamte Messreihe mit gleichem Gewicht berücksichtigt. Die gefundenen Parameter sind entsprechend für den gesamten untersuchten Wertebereich gültig. Bei lokalen Interpolationen werden Ausschnitte des Wertebereichs betrachtet. Die Daten werden wie durch ein Fenster fokussiert, und der Rest wird ausgeblendet oder unscharf

wahrgenommen. In Abschnitt 4.2 werden zwei Methoden beschrieben. Dabei handelt es sich bei der Trendanalyse um eine globale und beim Weighted Moving Focus um eine lokale Funktion. Der Name des Weighted Moving Focus ist eine Analogie zum *Weighted Moving Average* und dem *Moving Window* mit der Betonung, dass durch die Gewichtung der lokalen Funktion ein Fokus auf einen Zeitpunkt gesetzt wird.

Eine weitere Eigenschaft von Interpolationsmethoden ist, dass sie die Schätzung der fehlenden Werte auf Basis von Wahrscheinlichkeiten (stochastisch) oder auf Grund von vorgegebenen Funktionen (deterministisch) vornehmen. In Abbildung 4-1 zeigt die horizontale Dimension dieses Eigenschaften. Die Trendanalyse ist eine stochastische Funktion. Ihre Parameter werden auf Grund der Messwerte geschätzt, die als Strichprobe betrachtet werden. Der WMF ist eine deterministische Funktion. Die zeitlichen Gewichte werden durch eine Glockenkurve vorgegeben. Auch beim gleitenden Mittelwert steht von Vornherein fest, wie der Mittelwert berechnet werden muss.

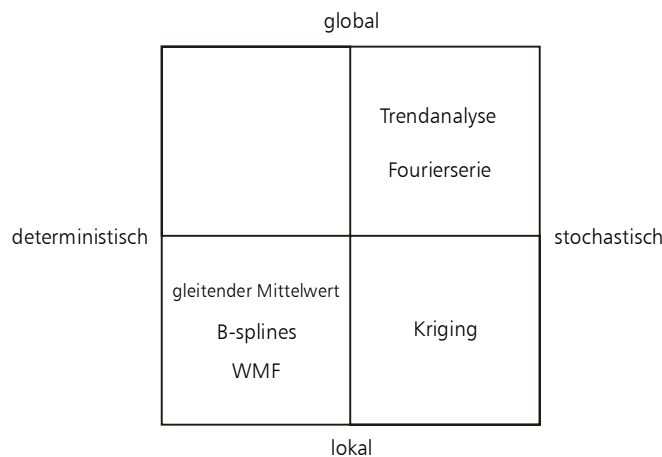


Abbildung 4-1 Systematik der Interpolationsmethoden

In Abbildung 4-1 ist das linke obere Feld (deterministisch-global) leer. BURROUGH (1986:164) nennt zwei Methoden mit diesen Eigenschaften. Eine der beiden Methoden, *Eyeball*, ist eher subjektiv als deterministisch. Unter *Eyeball* versteht er, das Zeichnen einer Kurve in die Messwerte von Hand. Der *edge finding algorithm* findet eher in räumlichen Bereichen seine Anwendung. Obwohl es sich auch in Zeitreihen vorstellen liesse, Zäsuren oder Ähnliches aufzuspüren. Die restlichen Interpolationsmethoden können sowohl auf räumliche als auch auf zeitliche Daten angewendet werden. Der augenfälligste Unterschied ist, dass räumliche Methoden zwei Dimensionen x und y berücksichtigen müssen, was die Algorithmen häufig aufwändiger gestaltet. Die zeitlichen Interpolationen berücksichtigen nur eine Dimension t . Es gibt aber Verfahren wie die Thiessenpolygone, die nicht auf zeitliche Phänomene abgebildet werden können. Die Tabelle 4-1 enthält nur räumliche Interpolationen, die auch auf zeitliche Probleme angewendet werden können. Die Tabelle versteht sich als Zusammenfassung. Es werden die wichtigsten Eigenschaften, Einschränkungen und geeigneter Einsatz dargestellt.

Tabelle 4-1 Methoden der räumlichen und zeitlichen Interpolation

Method	Deterministic/ stochastic	Local/ global	Exact interpolator	Limitations of the procedure	Best for	Assumption of inter- polation model
Trend analysis	Stochastic	Global	No	Edge effects, outliers, complex polynomials do not necessarily have meaning; (...)	Demonstrating broad features and removing them prior to other methods of interpolations	Multiple regression – phenomenological explanation of trend surface; independent Gaussian errors
Fourier series	Stochastic	Global	No	Not applicable to data lacking periodicity	Periodic features	Strict periodicity in phenomenon of interest
B-splines	Deterministic	Local	Yes	No estimates of errors; masks all uncertainties in surface	Very smooth surfaces or lines	Absolute smoothness of variation
Moving average	Deterministic	Local	No unless constrained	Results depend on configuration of data points and size of window; simple versions assume isotropy; no error estimates unless retrospectively calculated	Quick contour plots of moderately smooth data	Continuous, differentiable surface is appropriate
Optimal interpolation (kriging)	Stochastic	Local	Yes	Practical and theoretical problems of non-stationarity in data; (...)	Situations where the most detailed estimates and their errors are required	Intrinsic hypothesis (homogeneity of first differences); average local values can be represented by a continuous surface

Quelle: Tabelle angepasst nach BURROUGH (1986:164)

4.2 Beschreibung der Methoden

Der Faktorwert beschreibt die Ausprägung eines Objektes auf der synthetischen Variablen, dem Faktor. Für ein Objekt existieren so viele Faktorwerte wie Faktoren vorhanden sind. Die Faktorwerte bezeichnen im konkreten Fall die Position der Gemeinden auf den weltanschaulichen Konflikten. Möchte man wissen, wie sich die Weltanschauung über die Zeit in den Gemeinden verändert, muss ein Faktorwert abhängig von der Zeit generiert werden. Die Faktorenanalyse kennt keine Technik, die Variablen handhaben kann, die in einer chronologischen Relation zueinander stehen. Mit den Interpolationsmethoden soll versucht werden, Faktorwerte zu einem beliebigen Zeitpunkt innerhalb der Untersuchungsperiode zu berechnen. Dadurch sollte es möglich sein, die Weltanschauung über die Zeit zu verfolgen.

Die Hauptschwierigkeit besteht darin, dass es sich nicht um Messwerte handelt, sondern um synthetische Variablen, die nur als Gewichte angewendet werden können (vgl. Abschnitt 3.2.3). Bei den folgenden Beschreibungen der Methoden wird sowohl ein inhaltliches Gewicht – dabei handelt es sich um die Faktorladungen oder die *factor scores* – als auch ein zeitliches Gewicht berücksichtigt. Das Interesse an zwei verschiedenen Interpolationsmethoden besteht darin, dass die Anwendung der beiden Gewichten je nach Methode unterschiedlich ist. Die erste Interpolationsmethode, die beschrieben wird ist eine Trendanalyse, sie basiert auf einem Regressionsmodell. Die zweite Methode ist der Weighted Moving Focus und basiert auf dem gleitenden und gewichteten Mittelwert.

4.2.1 Trendanalyse

Regressionsanalysen, die als Variable die Zeit verwenden, werden als Trendanalysen bezeichnet. Bei der Trendanalyse handelt es sich um ein globales und stochastisches Verfahren, dem die Methode der kleinsten Quadrate zu Grunde liegt. Dabei wird versucht, eine gegebene mathematische Funktion in die Datenpunkte hineinzulegen, wobei hauptsächlich Polynome verwendet werden. Die Regression ist um so besser, je kleiner der Abstand zwischen den Messwerten und den berechneten Werten der Kurve ist. Das mathematische Verfahren, um diese Abstände zu minimieren, wird als Methode der kleinsten Quadrate bezeichnet, da die Summe der Quadrate der Abstände minimiert wird. Die bekannteste Regressionsanalyse ist die lineare Regression mit zwei Variablen und einem Fehlerterm ε . Die unabhängige Variable wird mit x und die abhängige mit y bezeichnet. Die Variable α bildet die Regressionskonstante und β ist der Regressionskoeffizient.

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon . \quad (4.1)$$

Das multivariate Regressionsmodell 4.2 berücksichtigt mehrere Variablen $x_1 \dots x_n$ gleichzeitig, um eine abhängige Variable y zu erklären. Dabei sind $\beta_1 \dots \beta_n$ die Regressionskoeffizienten und β_0 die Regressionskonstante

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon . \quad (4.2)$$

Um einen linearen Trend zu berechnen, kann die Gleichung 4.1 verwendet werden, dabei muss allerdings die Variable x durch die Zeit t ersetzt werden. Wird ein Trend mit einem Polynom höheren Grades vermutet, so wird das multivariate Regressionsmodell verwendet

$$y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \dots + \beta_q t^q + \varepsilon . \quad (4.3)$$

Normalerweise wird versucht, den Grad des Polynoms klein zuhalten, da sonst Verzerrungen an den Grenzen des Messbereichs auftreten.

Das eigentliche Problem, mit dem Messmodell eine Trendanalyse durchzuführen, liegt in der Herstellung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Messwert und Zeit, wie es in Gleichung 4.3 beschrieben ist. Wenn eine Funktion $f_{ik}(t)$ formuliert wird, so hat sie einen hypothetischen Charakter, der unabhängig überprüft werden muss. In Abbildung 4-2 wird dieser Zusammenhang für einen linearen Trend schematisch dargestellt. Anders als bei normalen Trendanalysen muss nicht nur die Zeit berücksichtigt werden, sondern auch das inhaltliche Gewicht, d. h. die Faktorladung.

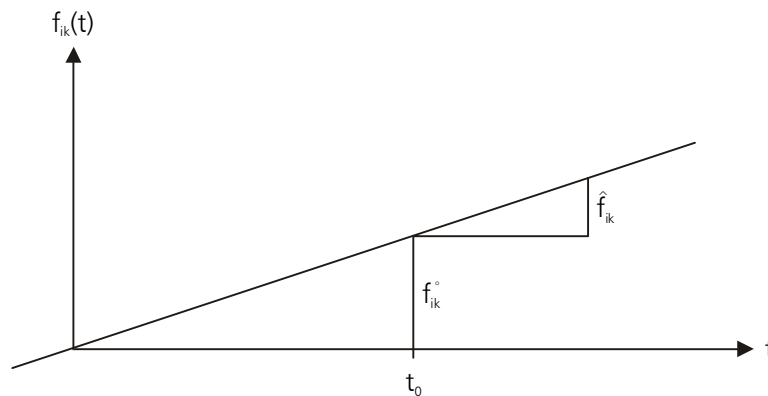


Abbildung 4-2 Zusammenhang zwischen Faktorwert und Zeit für einen linearen Trend

In Abbildung 4-2 ist der Trend für eine Gemeinde und einen Faktor eingezeichnet. Dabei ist f_{ik}° die Regressionskonstante bzw. der Faktorwert zur Zeit t_0 . Die Variable \hat{f}_{ik} ist der Regressionskoeffizient und gibt die Steigung des Trends an.

Der ursprüngliche Faktorwert, der aus der Faktorenanalyse stammt, wird grundsätzlich über den Zusammenhang

$$\mathbf{F} = \mathbf{ZL}^T \quad (4.4)$$

berechnet, wobei \mathbf{L} die Faktorladungen und \mathbf{Z} die standardisierten Ausgangsdaten sind (ÜBERLA 1977:235). Bei der Faktorenanalyse ist keine direkte Ermittlung der Faktorenwerte – wie bei der Hauptkomponentenanalyse – möglich, da Einzelrestfaktoren existieren und dadurch nicht die gesamte Varianz erklärt werden kann. (ÜBERLA 1977:241). Die Faktorwerte

$$\hat{\mathbf{F}} = \mathbf{ZS}^T \quad (4.5)$$

werden deshalb mit Hilfe einer multiplen Regression geschätzt. Die Matrix \mathbf{S} enthält die *factor scores*, die durch die Gleichung

$$\mathbf{S}^T = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{V}_{fs}^T \quad (4.6)$$

gewonnen werden. Die *factor scores* sind die Lösung einer Regressionsrechnung. Die Matrix \mathbf{V}_{fs}^T enthält die Faktorstruktur, die aber nur bei schiefwinkligen Rotationen eine Rolle spielt. Bei orthogonaler Rotationen gilt Faktorstruktur (*factor structure*) gleich Faktormuster (*factor pattern*), also $\mathbf{L} = \mathbf{V}_{fs}$, womit für den Fall einer orthogonalen Rotation

$$\mathbf{S}^T = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{L}^T \quad (4.7)$$

gilt. Die Matrix \mathbf{R}^{-1} ist die Inverse der Korrelationsmatrix der Eingangsvariablen.

In Gleichung 4.8 zeigt sich nochmals der selbe Sachverhalt wie in Gleichung 4.7, mit dem Unterschied, dass der Faktorwert $f_{ik}(t)$ abhängig von der Zeit formuliert ist. Die Bedingung, dass mit den Faktorwerten und den Faktorladungen die Eingangsvariablen erklärt werden müssen, muss natürlich auch dann noch gelten, wenn die Faktorwerte abhängig von der Zeit formu-

liert werden. Es wird aber nicht möglich sein, eine exakte Schätzung durchzuführen, so dass immer ein Fehlerterm e_{ij} berücksichtigt werden muss

$$z_{ij} = \sum_k f_{ik}(t)l_{kj} + e_{ij}. \quad (4.8)$$

Der Zusammenhang für einen linearen Trend kann gemäss Gleichung 4.3 wie folgt formuliert werden

$$f_{ik}(t) = f_{ik}^\circ + \hat{f}_{ik}(t - t_0). \quad (4.9)$$

In Abbildung 4-2 ist die Gleichung 4.9 graphisch dargestellt. Diese Darstellung bildet das Grundmodell, denn im weiteren wird mit Polynomen gearbeitet. Wird Gleichung 4.9 in Gleichung 4.8 eingesetzt, resultiert folgende Gleichung

$$z_{ij} = \sum_k f_{ik}^\circ l_{kj} + \sum_k \hat{f}_{ik} \underbrace{l_{kj}(t_j - t_0)}_{\hat{l}_{kj}} + e_{ij}. \quad (4.10)$$

Anders als in normalen Regressionsmodellen wird nicht mit Messwerten gearbeitet, sondern mit Gewichten. So existiert ein zeitliches und ein inhaltliches Gewicht. Beide müssen in der Regressionsrechnung berücksichtigt werden. Benennt man die Multiplikation der beiden Gewichte als Faktorladung l_{kj} und die zeitliche Differenz $(t_j - t_0)$ als \hat{l}_{kj} , so stellt die Variable \hat{l}_{kj} analog zum allgemeinen Regressionsmodell (Gleichung 4.3) die unabhängige Variable dar. Um nicht lineare Anteile des Trends zu erfassen, kann die Gleichung 4.10 durch die Addition von Summanden höheren Grades gemäss Gleichung 4.3 erweitert werden, und es kann eine polynomiale Trendanalyse durchgeführt werden

$$z_{ij} = \sum_k f_{ik}^\circ l_{kj} + \sum_k \hat{f}_{ik} l_{kj}(t_j - t_0) + \sum_k \hat{f}_{ik}^2 l_{kj}(t_j - t_0)^2 + \dots + \sum_k \hat{f}_{ik}^q l_{kj}(t_j - t_0)^q + e_{ij}. \quad (4.11)$$

Diese Gleichung kann in der Schreibweise von Matrizen besser beschrieben werden. Dafür müssen allerdings einige zusätzliche Begriffe eingeführt werden. Die Matrizen $\mathbf{L}^\circ, \hat{\mathbf{L}}, \hat{\mathbf{L}}^2$ usw. sind alle $k \times j$ -Matrizen und enthalten gemäss ihrem Index die verschiedenen Summanden des Polynoms. So enthält \mathbf{L}° die Elemente, die für die Regressionskonstante nötig sind. Die Matrix $\hat{\mathbf{L}}$ enthält den linearen Summanden, $\hat{\mathbf{L}}^2$ den quadratischen Summanden usw. Diese Matrizen mit unterschiedlichen Graden der Zeit werden zu einer Supermatrix \mathbf{L}^* aufgebaut

$$\mathbf{L}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{L}^\circ \\ \hat{\mathbf{L}} \\ \hat{\mathbf{L}}^2 \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{L}}^q \end{bmatrix}.$$

Die Supermatrix \mathbf{F}^* ist die Ergebnismatrix der Regressionsrechnung. Sie ist gleich aufgebaut wie die Matrix \mathbf{L}^*

$$\mathbf{F}^* = [\mathbf{F}^\circ \quad \hat{\mathbf{F}} \quad \hat{\mathbf{F}}^2 \quad \dots \quad \hat{\mathbf{F}}^q].$$

Die Matrix \mathbf{F}° enthält die Regressionskonstante bzw. den Faktorwert bei t_0 . Die Matrizen $\hat{\mathbf{F}}, \hat{\mathbf{F}}^2$ usw. enthalten die Regressionskoeffizienten für die verschiedenen Grade des Polynoms. Werden Teilmatrizen zu einer Supermatrix aufgebaut, sind die Rechenregeln der Matrixalgebra weiterhin gültig

$$\mathbf{F}^* \cdot \mathbf{L}^* = \sum_k f_{ik} l_{kj} + \sum_k \hat{f}_{ik} \hat{l}_{kj}.$$

Die Trendanalyse bzw. die Regressionsanalyse kann nun vereinfacht als

$$\mathbf{Z} = \mathbf{F}^* \mathbf{L}^* + \mathbf{E} \quad (4.12)$$

formuliert werden. Das Gleichungssystem 4.12 ist überbestimmt und besitzt im Normalfall keine Lösung. Damit solche Systeme gelöst werden können, wird mit der Methode der kleinsten Quadrate eine Näherungslösung, die aber eindeutig ist, gesucht. Es wird versucht, Lösungen zu finden, die die Summe der quadratischen Abweichung von den Messwerten bzw. den Residuen minimiert.

Zuerst wird kurz der allgemeine Fall² betrachtet, um ein überbestimmtes Gleichungssystem mit Matrizen zu lösen. Ein konsistentes und kolineares Gleichungssystem – in dem die Messpunkte auf der gesuchten Gerade liegen – wird mit $\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} = \mathbf{y}$ beschrieben. Analog dazu ist die Gleichung

$$\mathbf{X}^T \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}_i = \mathbf{X}^T \mathbf{Y}_i \quad (4.13)$$

zu verstehen. Sie wird als Normalengleichung bezeichnet und wird für das Lösen von überbestimmten Gleichungssystemen verwendet. Die Elemente von \mathbf{X} sind die unabhängigen Variablen und $\boldsymbol{\beta}_i$ die gesuchten Koeffizienten. Es handelt sich dabei um eine multiple Regressionsanalyse, in der gleichzeitig mehrere unabhängige Variablen verwendet werden, um eine abhängige Variabel \mathbf{Y}_i zu erklären. Aus diesem Grund wird die Matrix \mathbf{Y} als \mathbf{Y}_i bezeichnet, da es sich eigentlich um einen Spaltenvektor einer Variablen handelt. Wird die Gleichung 4.13 nach $\boldsymbol{\beta}_i$ aufgelöst, resultiert die Gleichung

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_i = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}_i. \quad (4.14)$$

Der Ausdruck $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$ ist die Invertierung einer Matrix und kann als Division interpretiert werden (siehe Anhang B.4).

Eine Bedingung der Regressionsanalyse fordert die Homogenität der Zufallsfehlervarianzen bzw. die Variablen müssen gleiche Varianz aufweisen (BAHRENBERG, GIESE & NIPPER 1990:155-158). Die Restvarianz der Variablen ist die Ergänzung ihrer Kommunalität auf 1 ($\sigma_j^2 = 1 - h_j^2$). Die Kommunalität bewegt sich bei den 155 verwendeten Variablen zwischen 0.41 und 0.97.

² Die Gleichungen für den allgemeinen Fall sind aus Howard (1995:493-500)

Damit dieser grosse Unterschied in der Berechnung berücksichtigt werden kann, wird die Regressionsrechnung mit dem Reziprokwert der Restvarianz gewichtet

$$w_j = \frac{1}{\sigma_j^2} = \frac{1}{1-h_j^2}.$$

Zu diesem Zweck wird die Gewichtungsmatrix \mathbf{W} eingeführt. Ihre Elemente w_j sind in der Diagonalen angeordnet. Die Normalengleichung 4.14 wird mit der Gewichtungsmatrix ergänzt

$$\hat{\beta}_i = (\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{Y}_i.$$

Werden in der allgemein formulierten Gleichung die Matrizen mit den vorbereiteten Matrizen aus der Faktorenanalyse substituiert, sieht die Gleichung wie folgt aus

$$\mathbf{F}_i^* = \underbrace{(\mathbf{L}^* \mathbf{W} \mathbf{L}^{*T})^{-1} \mathbf{L}^* \mathbf{W} \mathbf{Z}_i^T}_{\mathbf{C}}.$$

Damit die Matrizen für die Matrixmultiplikation richtig positioniert sind, müssen \mathbf{Z} und \mathbf{L}^* transponiert werden. Die Variable \mathbf{F}_i^* enthält alle Koeffizienten und die Regressionskonstante für eine Gemeinde. Da sich der geklammerte Ausdruck \mathbf{C} während der Berechnung der verschiedenen \mathbf{Z}_i nicht ändert, kann dieser als Konstante zusammengefasst werden. So vereinfacht sich die Gleichung, und der Zusammenhang wird besser sichtbar

$$\mathbf{F}^* = (\mathbf{C} \mathbf{Z}^T)^T.$$

4.2.2 Weighted Moving Focus

Die Idee des *Weighted Moving Focus* (WMF) basiert auf dem gewichteten und gleitenden Mittelwert. In Abbildung 4-3 ist diese Vorstellung schematisch dargestellt. Die Abstimmungstermine sind in unregelmässigen Abständen über die Zeitskala verteilt. Die grauen Balken repräsentieren die Zugehörigkeit einer Abstimmungsvorlage zu einem spezifischen Faktor, also die Ladungen der Variablen. Die Ladung sagt aus, wie viel der einzelne Faktor zur Erklärung des Ja-Stimmenanteils beiträgt. Diese Ladung wird verwendet, um den Ja-Stimmenanteil inhaltlich zu gewichten. Beim WMF soll auf einen beliebigen Zeitpunkt ein Fokus gesetzt und so der Faktorwert für diesen Zeitpunkt bestimmt werden. Vom Fokus ausgehend, nimmt die zeitliche Gewichtung stetig ab und zwar in der Art, dass die nächste zeitliche Umgebung einen grösseren Einfluss auf den Faktorwert des fokussierten Zeitpunkts erhält. Um eine Zeitreihe zu erhalten, wird der Fokus über die Zeitachse bewegt. Je kleiner die zeitlichen Intervalle, um so feiner wird die Interpolation. Im Extremfall entsteht eine kontinuierliche Interpolation. Ausgehend von der Überlegung im theoretischen Teil der Arbeit (Kapitel 2 und 3), wird sowohl die Vergangenheit als auch die Zukunft aus der Perspektive des Fokus berücksichtigt, denn Institutionen sind ähnlicher, je näher sie zeitlich beieinander liegen.

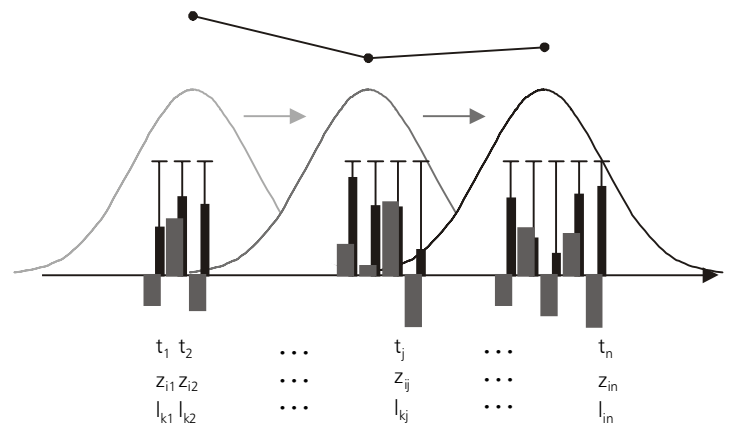


Abbildung 4-3 Schema des Weighted Moving Focus

Im Gegensatz zur Trendanalyse werden beim WMF nicht die Ladungen für die inhaltliche Gewichtung verwendet, sondern die *factor scores*. Die Faktorwerte werden eigentlich mit Hilfe der *factor scores* bestimmt, wie es in Gleichung 4.5 beschrieben ist. Beim WMF wird der Faktorwert als gewichteter Mittelwert interpretiert, wie dies auch BAHRENBERG, GIESE & NIPPER (1992:236-237) in ähnlicher Weise tun. Die Formel für den gewichteten Mittelwert lautet

$$\bar{z}_{ik} = \frac{\sum_j z_{ij} w_{jk}}{\sum_j w_{jk}}.$$

Würden in diese Formel die Ladungen oder die *factor scores* als Gewichte w_{jk} eingesetzt, ergäbe sich eine ähnliche Verteilung, wie die der ursprünglichen Faktorwerte. Die Verteilung, die aus dem gewichteten Mittelwert entsteht, weist aber eine stärkere Klumpung auf und verliert an Ähnlichkeit, je weniger der entsprechende Faktor an der gemeinsamen Varianz erklärt. Die Gleichung 4.15 zeigt wie aus den *factor scores* die Faktorwerte berechnet werden (vgl. Gleichung 4.5). Die Faktorwerte werden mit einer Linearkombination durch die geschätzten *factor scores* s_{jk} gewonnen.

$$f_{ik} = \sum_j z_{ij} s_{jk} \quad (4.15)$$

Es ist leicht zu zeigen, dass der gewichtete Mittelwert mit den *factor scores* s_{jk} als Gewichten niemals die Faktorwerte ergibt, denn es gilt $\sum_j z_{ij} s_{jk} \neq \sum_j z_{ij} s_{jk} \cdot \sum_j s_{jk}$, ausser die s_{jk} wären alle gleich 1. Da die Formel für den gewichteten Mittelwert nicht die gewünschte Verteilung ergibt und nicht der Berechnung der Faktorwerte entspricht, wird mit der ursprünglichen Gleichung 4.15 weitergearbeitet. Werden die beiden Matrizen \mathbf{S} und \mathbf{Z} ausmultipliziert, erhält man alle Faktorwerte

$$\begin{aligned}
 f_{11} &= z_{11}s_{11} + z_{12}s_{21} + \dots + z_{1j}s_{j1} + \dots + z_{1n}s_{n1} \\
 &\quad \vdots \\
 f_{ik} &= z_{i1}s_{1k} + z_{i2}s_{2k} + \dots + z_{ij}s_{jk} + \dots + z_{in}s_{nk} \quad . \\
 &\quad \vdots \\
 f_{mr} &= z_{m1}s_{1r} + z_{m2}s_{2r} + \dots + z_{mj}s_{jr} + \dots + z_{mn}s_{nr}
 \end{aligned}$$

Ein Faktorwert wird für eine Gemeinde und einen Faktor berechnet, so dass im konkreten Fall 3021x3 Faktorwerte existieren. Diese Linearkombinationen können mit einem zusätzlichen zeitlichen Gewicht τ pro Summand versehen werden. Sind die Summanden chronologisch geordnet, kann ihnen ein zeitliches Gewicht gemäss einer mathematischen oder stochastischen Funktion zugewiesen werden. Die Gewichte τ entsprechen im konkreten Fall einer Glockenkurve, wie in Abbildung 4-3 dargestellt ist. Wird diese Gewichtung zuerst einmal für einen einzigen Zeitpunkt berechnet, so kann dies wie folgt formuliert werden

$$f_{ik} = z_{i1}\tau_1s_{1k} + z_{i2}\tau_2s_{2k} + \dots + z_{ij}\tau_js_{jk} + \dots + z_{in}\tau_ns_{nk} .$$

Die zeitliche Gewichtung ist für jeden Faktor und jede Gemeinde gleich. Die Gewichtung mit den *factor scores* s_{jk} unterscheidet sich pro Gemeinde und Faktor. Das Zeitgewicht unterscheidet sich durch jeden gerechneten Interpolationsschritt, denn das Gewicht bzw. der Fokus «wandert» der Zeitachse entlang. Vorerst wird nur eine einzige Glockenkurve berücksichtigt, so dass der Faktorwert für diesen Zeitpunkt als

$$\mathbf{F} = \mathbf{Z}(\mathbf{TS}^T) \tag{4.16}$$

beschrieben werden kann. Dabei ist

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \tau_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \ddots & \tau_j & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \tau_n \end{bmatrix}$$

eine Diagonalmatrix, die die zeitlichen Gewichte enthält. Fasst man die beiden Gewichte zusammen $\mathbf{W} = (\mathbf{TS}^T)$, kann man die Linearkombination übersichtlicher formulieren als

$$f_{ik} = z_{i1}w_{1k} + z_{i2}w_{2k} + \dots + z_{ij}w_{jk} + \dots + z_{in}w_{nk} .$$

Wie in Abbildung 4-3 ersichtlich ist, wird eine Glockenkurve für die zeitliche Gewichtung nach der Formel für die Normalverteilung

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

modelliert. Da es sich hier nicht um eine Wahrscheinlichkeitsverteilung im engeren Sinne handelt, sondern nur um die Form, die der Vorstellung eines Fokus am nächsten kommt, ist die Formel entsprechend abgeändert in

$$T : \tau_{jt} = \varphi(t_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b}} e^{-\frac{(t_j - t^\circ)^2}{2b^2}}.$$

Die Gewichte τ_{jt} werden mit den Parametern b und t° gebildet, wie in Abbildung 4-4 illustriert ist. Die Variable t_j ist der Zeitpunkt einer Messung. Der Parameter b ist die Breite der Glockenkurve. Er bestimmt, wie stark die zeitliche Nachbarschaft mit in die Berechnung des Faktorwertes fließt bzw. die Schärfe oder Unschärfe des Fokus. Da eine Normalverteilung gegen Null strebt, aber nie Null wird, werden auch zeitlich weit entfernte Messwerte zur Berechnung des Faktorwertes berücksichtigt, dies aber mit einem sehr kleinen Gewicht. Mit dem Parameter t° wird der Fokus auf der Zeitachse positioniert.

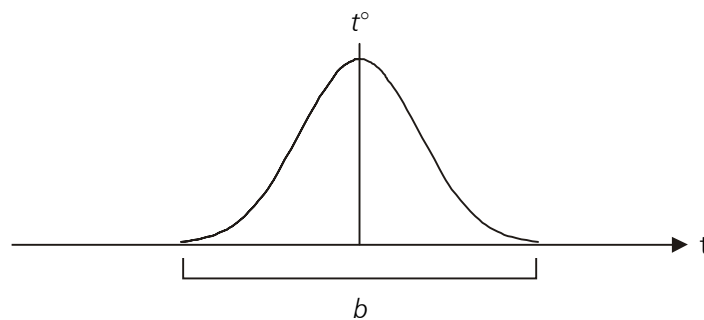


Abbildung 4-4 Parameter der Glockenkurve

Die Glockenkurve soll nun über die Zeitachse wandern, damit Faktorwerte zu verschiedenen Zeitpunkten berechnet werden können. Für diesen Zweck enthält die Matrix \mathbf{T} in den Spalten die Gewichte für die verschiedenen Positionen des Fokus – wie in Abbildung 4-5 dargestellt – und sie ist nicht mehr eine Diagonalmatrix wie in Gleichung 4.16.

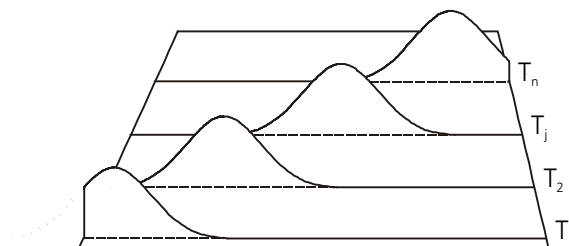


Abbildung 4-5 Zeitliche Gewichte in Matrix \mathbf{T}

Wird der Fokus auf verschiedene Zeitpunkte gesetzt, dann ist t° ein Element aus der Menge der möglichen Fokusse und kann Werte vom Zeitpunkt der ersten bis und mit der letzten Messung annehmen, so dass gilt $t^\circ \in [t_1, t_n]$. Da die Menge der Fokusse normalerweise diskret formuliert ist, gilt für $t^\circ \in \{t_1^\circ, t_2^\circ, \dots, t_i^\circ, \dots, t_p^\circ\}$.

Möchte man die Faktorwerte für alle Gemeinden und alle Faktoren zu einem bestimmten Zeitpunkt, so wird die Gleichung 4.16 ergänzt und neu durch verschiedene Zeitpunkte unterschieden

$$\mathbf{F}^{(t)} = \mathbf{Z}(\text{diag}(\mathbf{T}_t)\mathbf{S}^T). \quad (4.17)$$

Der Index t in Gleichung 4.17 bezeichnet nicht den Zeitpunkt, sondern die Spalte der Matrix \mathbf{T} . Dies gilt auch für den Index bei $\mathbf{F}^{(t)}$. Wird ein Spaltenvektor \mathbf{T}_t verwendet, muss dieser in eine Diagonalmatrix mit der Funktion $\text{diag}()$ umgewandelt werden, damit die restlichen Matrizen gewichtet werden können. Das zeitliche und das inhaltliche Gewicht können zu einem bestimmten Zeitpunkt mit

$$\mathbf{W}^{(t)} = \text{diag}(\mathbf{T}_t)\mathbf{S}^T \quad (4.18)$$

zusammengefasst werden, so dass für jeden Zeitpunkt, auf den ein Fokus gesetzt wurde, eine Gewichtungsmatrix $\mathbf{W}^{(t)}$ existiert. Somit ist für jeden gewünschten Zeitpunkt ein Faktorwert $f_{ik}^{(t)}$ pro Gemeinde und Faktor vorhanden

$$f_{ik}^{(t)} = z_{i1}\tau_{1t}s_{1k} + z_{i2}\tau_{2t}s_{2k} + \dots + z_{ij}\tau_{jt}s_{jk} + \dots + z_{in}\tau_{nt}s_{nk}.$$

Durch die Verwendung der zeitlichen Gewichte τ_{jt} entspricht die Summe der neuen Gewichte nicht mehr der Summe der ursprünglichen Gewichte. Die linke Seite der Gleichung 4.19 ist im Normalfall kleiner als die rechte Seite, da die Gewichte τ_{jt} aus einer Normalverteilung stammen und mehrheitlich kleiner als 1 sind. Die rechte Seite kann man auch so interpretieren, dass das verwendete Gewicht 1 beträgt und somit in einer Multiplikation verschwindet. Wird die Ungleichung

$$\sum_j \tau_{jt}s_{jk} \neq \sum_j s_{jk} \quad (4.19)$$

nicht ausgeglichen, stimmt die Verteilung der Faktorwerte, die von der Zeit abhängig ist, nicht mehr mit der Verteilung der ursprünglichen Faktorwerte aus der Faktorenanalyse überein. Dass aber die zeitlichen Faktorwerte nahe an den ursprünglichen Faktorwerten liegen sollen, war eine Bedingung aus Kapitel 3. Damit dieser Unterschied zwischen neuer und ursprünglicher Gewichtung ausgeglichen werden kann, muss ein Korrekturfaktor δ eingeführt werden. Die beiden Summen werden gleich, wenn der Faktor auf der linken Seite berücksichtigt wird

$$\delta_{kt} \cdot \sum_j \tau_{jt}s_{jk} = \sum_j s_{jk}.$$

Der Korrekturfaktor δ_{kt} wird als Betrag verwendet. Aufgelöst ergibt sich der Quotient

$$\delta_{kt} = \left| \frac{\sum_j s_{jk}}{\sum_j \tau_{jt}s_{jk}} \right|.$$

Der Faktorwert $f_{ik}^{(t)}$ wird mit dem Faktor δ_{kt} korrigiert

$$f_{ik}^{(t)} = (z_{i1}\tau_{1t}s_{1k} + z_{i2}\tau_{2t}s_{2k} + \dots + z_{ij}\tau_{jt}s_{jk} + \dots + z_{in}\tau_{nt}s_{nk})\delta_{kt}.$$

Dadurch wird die Verteilung der $f_{ik}^{(t)}$ an die Verteilung der ursprünglichen Faktorwerte f_{ik} aus der Matrix \mathbf{F} angepasst.

Zusammengefasst ergibt sich für die Methode WMF folgende Gleichung

$$\mathbf{F}^{(t)} = \mathbf{Z}(\text{diag}(\mathbf{T}_t)\mathbf{S}^T)\text{diag}(\mathbf{\Delta}_t).$$

Die Matrizen $\mathbf{F}^{(t)}$ enthalten die zeitlich abhängigen Faktorwerte; es existiert also für jeden Zeitpunkt, auf den ein Fokus gesetzt wurde, eine Matrix der Faktorwerte. Zu Gleichung 4.17 ist zusätzlich die Multiplikation der Matrix $\mathbf{\Delta}$ mit den Korrekturfaktoren hinzugekommen. Der Spaltenvektor $\mathbf{\Delta}_t$ wird als Diagonalmatrix auf den restlichen Term angewendet.

4.3 Vergleich der Methoden

In diesem Abschnitt werden die Resultate den beiden Methoden gegenübergestellt und diskutiert. Dabei werden die Resultat auf dem Aggregationsniveau von Kantonen dargestellt, da dies übersichtlicher ist als bei 3021 Gemeinden. Die Resultate werden für den ersten und zweiten Faktor gezeigt, da hier die Objekte mehr segregieren als auf den Darstellungen der anderen Faktoren, was ebenfalls zu einer besseren Lesbarkeit führt. Die Abbildung 4-6 zeigt eine Übersicht aller Kantone im Weltanschauungsraum für die Konflikte Ökologisch vs. Technokratisch auf der vertikalen und Links vs. Rechts auf der horizontalen Achse. Die Dynamik der Objekte wird mit Zeitspuren oder sogenannten Trajektorien dargestellt. Um Besonderheiten der Methoden zu illustrieren, werden häufig nur Ausschnitte des Merkmalsraums dargestellt. Die Spuren entsprechen der Zeit von 1981 bis 1999.

In Abbildung 4-6 wurde ein lineare Trend berechnet. Bei der Trendanalyse bzw. bei der Regressionsrechnung bestehen zwei methodische Probleme. Erstens wird bei der Trendanalyse die Form der Kurve durch eine Funktion – in den meisten Fällen durch ein Polynom – vorweggenommen. Dies führt dazu, dass die Form der Funktion realisiert werden muss, auch wenn sie auf Grund von Schätzungen bestmöglich an die Messwerte angeglichen wird. Da im vorliegenden Fall nicht mit realen Messwerten gearbeitet wird, sondern nur mit Gewichten, ist es schwierig, die Qualität optisch zu überprüfen. Stimmt der polynomiale Trend nicht mit den Daten überein, kommt es zu Verzerrungen an den Randbereichen des Intervalls, wie dies in Abbildung 4-7 bei der Realisierung von Polynomen höheren Grades der Fall ist. Zweitens basiert die Trendanalyse auf einem globalen Modell. Dies bedeutet, dass alle Messpunkte gleichzeitig in die Berechnung einfließen, so dass die Kurve für den Bereich des gesamten Intervalls berechnet wird. So können kurzfristige aber markante Trends nicht dargestellt werden. Zäsuren oder zyklische Phänomene werden übergangen. Gerade beim linearen Trend wird vorgegeben, es handle sich um ein festes Fortschreiten.

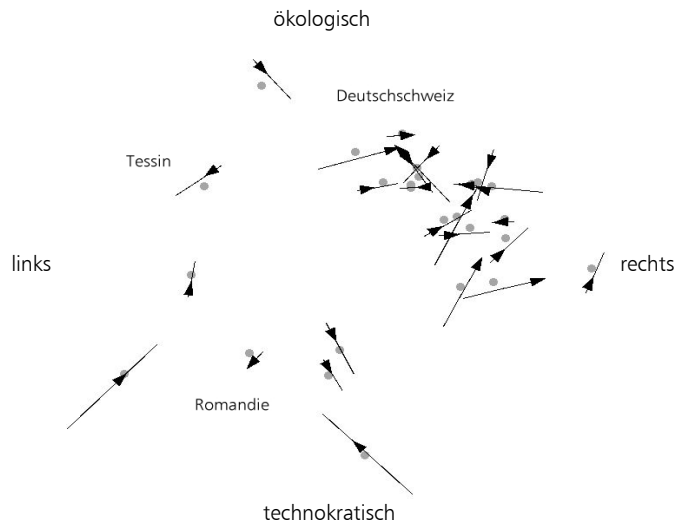


Abbildung 4-6 Linearer Trend für alle Kantone

Bei Trendanalysen wird versucht, den Grad des Polynoms tief zuhalten, um Verzerrungen am Rand des Intervalls vorzubeugen. Abbildung 4-7 zeigt, dass es zu absurden Resultaten führen kann, wenn Polynome zu hohen Grades verwendet werden. Es führt nicht zu einer besseren Anpassung der Kurve an die Messwerte, wie man vielleicht intuitiv annehmen könnte, weil ein weiterer Summand des Polynoms berücksichtigt wird. In diesem Beispiel wurde der Trend für ein Polynom 5. Grades berechnet.

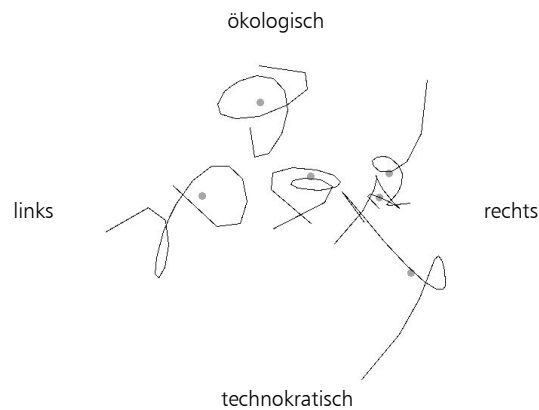


Abbildung 4-7 Trend mit Polynom 5. Grades, Ausschnitt Westschweiz

In Abbildung 4-8 ist der lineare Trend für die ersten neun und die darauffolgenden neun Jahre der Untersuchungsperiode separat berechnet worden. Deshalb sind zwei Zeitspuren pro Kanton sichtbar. Es zeigt sich, dass die lineare Regression sehr sensibel auf die Themenhäufung reagiert. Die Trends der beiden Zeitintervalle laufen nicht diametral entgegen, weichen jedoch häufig deutlich ab. So gibt es Bewegungen bei Kantonen, die nach links-ökologisch und nach rechts-ökologisch führen. Dies entspricht zum Teil einer Veränderung der Bewegung von 90°. Vergleicht man die Abbildung 4-6 und die Abbildung 4-8, so zeigt sich in den meisten Fällen,

dass der lineare Gesamttrend für die 18 Jahre wie ein resultierender Vektor der einzelnen Trends von 9 Jahren interpretiert werden kann.

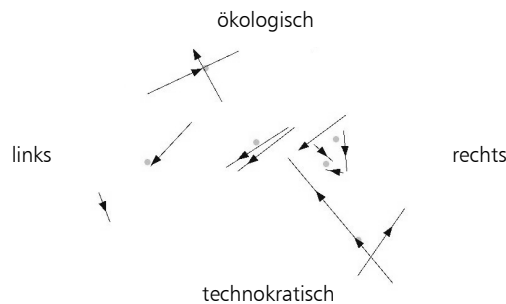


Abbildung 4-8 Linearer Trend für jeweils 2x9 Jahre, Ausschnitt Westschweiz

Das am besten zu interpretierende Ergebnis der Trendanalyse liefert das Polynom dritten Grades, wie in Abbildung 4-9 dargestellt. Einerseits suggeriert es nicht ein kontinuierliches Fortschreiten eines Trends, sondern zeigt die Entwicklung in verschiedene Richtungen auf. Dieser Trend stimmt am besten mit den Resultaten des Weighted Moving Focus überein, auch wenn in einzelnen Fällen Abweichungen der Zeitspuren bestehen, die schwer zu interpretieren sind.

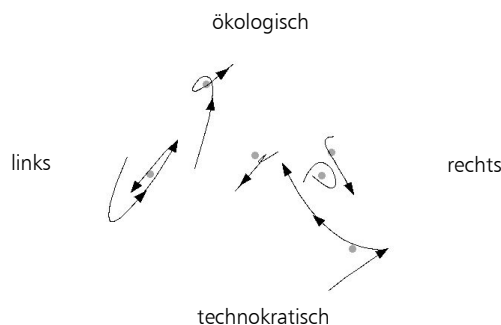


Abbildung 4-9 Trend mit Polynom 3. Grades, Ausschnitt Westschweiz

Das Ergebnis der Trendanalyse müsste mit externen Variablen, die gute Indikatoren z. B. für Zentralität oder sozialen Wandel sind, überprüft werden, damit eine genaue Validierung der Methode möglich ist. Eine andere Möglichkeit ist, ein Modell zu erstellen, das die weltanschaulichen Milieus mittels sozio-ökonomischen, -kulturellen und -strukturellen Variablen erklären könnte. Mit diesem Modell kann eine Plausibilisierung der weltanschaulichen Zeitreihen durchgeführt werden.

Die Methode Weighted Moving Focus basiert, wie bereits erklärt wurde, auf der Grundidee des gleitenden und gewichteten Mittelwertes. Der WMF beinhaltet ebenfalls zwei methodische Probleme, die diskutiert werden müssen. Erstens können die zeitlichen Gewichte beliebig oder mit einer mathematischen Funktion gewonnen werden; sie werden aber in jedem Fall von vornherein bestimmt und wirken so determinierend auf die Interpolation. Diese determinierenden Eigenschaften der Gewichte wird mit der Form einer Glockenkurve gemildert, aber nicht aufgehoben. Der Vorteil der Methode liegt darin, dass lokale Ereignisse wie Zäsuren, zyklische Erscheinungen und kurzfristige Entwicklungen sichtbar werden und langfristige Entwicklungen

trotzdem erkennbar bleiben. Zweitens ist die Breite der Glockenkurve, die als Parameter b bezeichnet wird, wesentlich für die Gestalt der Zeitspur bzw. für das Rauschen oder für die Glättung dieser Spur. Mit diesem Parameter ist es möglich zu bestimmen, welche Details abgebildet und welche gefiltert werden. Es ist mit einer geringeren Breite möglich, Zäsuren und kurzfristige Veränderungen besser herauszumodellieren. Wird die Breite des Fokus enger, so dass nur noch ein Jahr oder ein Abstimmungstermin berücksichtigt wird, kippt die Spur ins Rauschen. Mit einem zu grossen Fokus können alle lokalen und länger andauernden Entwicklungen so weit eingeebnet werden, dass ein Punkt resultiert. Es ist wichtig, dass dieser Parameter gut gewählt wird, so dass ein Kompromiss zwischen Generalisierung und Detailfülle entsteht, wobei der Generalisierungsgrad für verschiedene Anwendungszecke durchaus variiert werden darf.

In Abbildung 4-10 sind die Zeitspuren mit der Methode Weighted Moving Focus für alle Kantone der Westschweiz berechnet. Es wurden 19 Interpolationsschritte durchgeführt. Dies entspricht einem Faktorwert pro Jahr in der Untersuchungsperiode. Der Parameter b wurde auf 50 gesetzt, was einem Hauptgewicht von ca. vier Jahren rechts und vier Jahren links vom Fokus entspricht. Mit anderen Worten: Diese acht Jahre berücksichtigen etwa 66% des Gewichts.

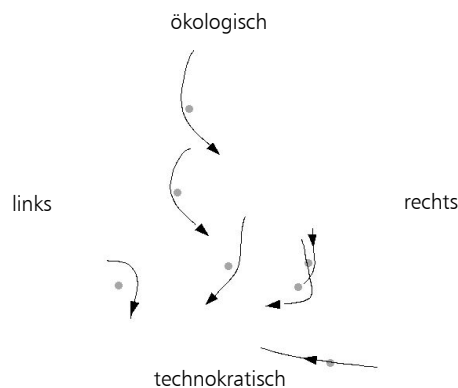


Abbildung 4-10 WMF, Hauptgewicht 8 Jahre, Ausschnitt Westschweiz

Was in Abbildung 4-10 durch die grössere Breite des Fokus nur angedeutet wurde, kann in Abbildung 4-11 mit einem grösseren Reichtum an Details gezeichnet werden. Lokale Ereignisse treten deutlicher hervor. Das Hauptgewicht liegt hier bei vier Jahren.

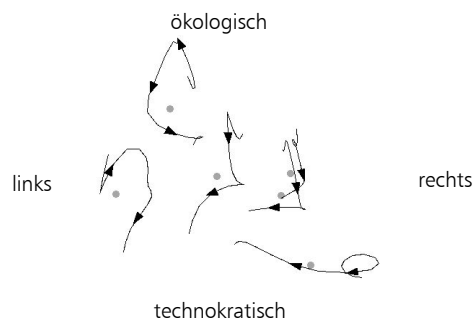


Abbildung 4-11 WMF, Hauptgewicht 4 Jahre, Ausschnitt Westschweiz

Werden beide Methoden mit Hilfe von Abbildung 4-9 und 4-10 miteinander verglichen, fällt auf, dass in vielen Fällen ähnliche Resultate auftreten. Insofern kann die eine Methode für die

Plausibilisierung der anderen Methode verwendet werden, da die Resultate durch grundlegend verschiedene Verfahren zustande gekommen sind. Hingegen gibt es Unterschiede in den Zeitspuren, die schwierig zu erklären sind. Für die Validierung dürfte deshalb das Modell mit den externen Variablen in Frage kommen. Eine weitere Möglichkeit, um die Plausibilität abzuschätzen, ist die Zeitspuren für verschiedene Regionen zu vergleichen. Sind innerhalb einer Region die Bewegungen der Objekte überwiegend gleich, so ist mindestens kein Rauschen abgebildet.

Der Weighted Moving Focus weist einige Vorteile gegenüber der Trendanalyse auf. Die Berechnung ist transparenter. Die zeitlichen Gewichte fließen unmittelbar und kontrolliert in das Verfahren ein. Der gleitende Mittelwert ist in der Geographie als Methode gut bekannt, auch wenn er vor allem auf räumliche Punktdaten angewendet wird. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass der Generalisierungsgrad durch die Variation eines Parameters festgelegt werden kann.

5 Schlussfolgerungen

In den Schlussfolgerungen werde ich die Fragen aus der Einleitung aufgreifen und beantworten. Die verschiedenen Stränge, die sich aus den Anforderungen an die Methoden und der Beschreibung der Methoden ergaben, werden zusammengeführt und mit meinen Erkenntnissen verglichen. Es soll aufgezeigt werden, was erreicht werden konnte und was nicht, wohin die Erkenntnisse führen können und wo neue Überlegungen ansetzen müssen.

5.1 Antworten

Die Fragen werden so beantwortet, dass daraus hervorgeht, was erreicht wurde und was nicht. Die Antworten geben Raum, um das Erarbeitete in einem anderen Verhältnis darzustellen. Deshalb wird in den Antworten auf die betreffenden Abschnitte im Text verwiesen.

Methode zur Beschreibung der Dynamik

Meine erste Frage lautete: *Mit welchen Methoden kann die Dynamik der Weltanschauungen beschrieben werden?*

Die Problematik dieser Frage liegt vor allem darin, dass keine eigentlichen Messwerte vorhanden sind und dass mit Gewichten, die aus dem Merkmalsraum stammen, gearbeitet werden muss. Es war bei beiden Interpolationsmethoden – der Trendanalyse und dem Weighted Moving Focus – möglich, die im Messmodell (Kapitel 3) formulierten Anforderungen und die aus der Faktorenanalyse stammenden Resultate zu verwenden. Insofern sind beide Methoden gleichwertig.

Die Trendanalyse ist eine globale Methode, d. h. die Werte werden über die untersuchte Zeitdauer gleichermassen berücksichtigt, so dass ein allgemeiner Trend über die untersuchte Periode resultiert. Globale Modelle sind für sozial-zeitliche Phänomene ungeeignet – wie in 2.2 dargestellt wurde – solange nicht auf Grund der Daten eine solche Annahme gerechtfertigt ist. Da im konkreten Fall des Weltanschauungsraums mit synthetischen Variablen gearbeitet wird, ist die Annahme, es könnte sich um einen allgemeinen Trend über die gesamte Untersuchungsperiode handeln, schwierig zu treffen und vor allem schwierig zu verifizieren. Sozialem Wandel kann nur hypothetisch eine allgemeine bzw. globale Entwicklungsrichtung unterstellt werden. Damit keine Fehlinterpretation geschieht, müssen Trends und Regressionen mit Kennzahlen oder statistischen Tests überprüft werden, was bei synthetischen Variablen aber schwierig sein dürfte. Die Trendanalyse basiert auf einem Polynom, das in seiner Form zwingend realisiert werden muss. Die Daten bestimmen nur, wie stark das Polynom ausgebildet wird, d. h. es wird immer ein Trend gemäss dem Polynom unterstellt. Mit anderen Worten: Die verwendete Methode müsste auf Veränderungen geeignet reagieren. Eine lokales Modell für Zeitreihen ist entsprechend den theoretischen Überlegungen sinnvoller, da kurzfristige Ereignisse, Diskontinuitäten, mittelfristige Wendungen usw. nicht unterdrückt und langfristige Entwicklungen trotzdem sichtbar bleiben.

Aus theoretischen Überlegungen wurde an die Methoden eine weitere Anforderung gestellt: sie sollten stochastisch sein, d. h. auf Wahrscheinlichkeiten beruhen, und nicht deterministisch. Die Zeit ist nicht determinierend, sondern hat nach Kant einen ordnenden Charakter. Das bedeutet, dass nur die Daten der Zeitreihen uns offenbaren können, welche zeitlichen Relationen ihnen innewohnen. Denn was für das eine soziale System als langfristig betrachtet wird, kann für das andere einen Augenblick darstellen. Möchte man die Zeit nicht bloss als Parameter verwenden, muss dieser Sachverhalt berücksichtigt werden. Das stochastische Modell bezieht die Ausgangsdaten in die Berechnung der Form der Interpolation mit ein. Die Trendanalyse ist eine stochastische Funktion. Es wird auf Grund der Messwerte versucht, die Kurve bzw. die Funktion so gut wie möglich an die Daten anzupassen. Dabei wird bei der Regressionsanalyse, die einer Trendanalyse zu Grunde liegt, angenommen, dass es sich bei den verwendeten Messwerten um eine Stichprobe handelt, so dass die Restbeträge – die Residuen –, die nicht durch das Modell erklärt werden, eine Normalverteilung aufweisen müssen. Der Weighted Moving Focus ist eine deterministische Interpolationsmethode. Die zeitlichen Gewichte sind vorbestimmt und fließen über die gesamte Untersuchungsperiode unveränderlich in die Berechnung ein und sind auch nicht auf Grund der Daten gewonnen worden. Diesem Problem wurde versucht durch eine günstige Gewichtungsfunktion entgegenzutreten. Als Gewichtungsfunktion wurde dafür eine Glockenkurve in der Form einer Normalverteilung gewählt. Messwerte nahe dem Fokus werden stärker gewichtet, da angenommen werden kann, dass sich gleiche soziale Handlungen, Strukturen und Institutionen umso ähnlicher sind, je näher sie sich zeitlich befinden.

Die Methoden weisen neben der Frage nach stochastisch/deterministisch oder global/lokal auch grundlegende Probleme bezüglich ihrer Konzeption auf. Die Trendanalyse zeigt drei problematische Verhalten: a) Spitzeneffekte werden nicht abgebildet, sondern innerhalb der Funktion geglättet b) Ausreiser können nicht angemessen ins Modell einbezogen werden, obwohl gerade bei sozialwissenschaftlichen Daten spezielle Ereignisse als Anfang einer Episode im Sinne Giddens verstanden werden können, deren Impuls für weitere Ergebnisse bedeutend sind c) komplexe bzw. höher gradige Polynome weisen nicht zwangsläufig einen Sinn auf; oft sind dabei die Randbereiche der Intervalle schwer zu interpretierende Zonen.

Der Weighted Moving Focus zeichnet sich durch ähnliche Probleme wie der gleitende Mittelwert aus: a) die Resultate hängen von der Verteilung der Messwerte und der Breite der Gewichtungsfunktion ab, je weniger Zeit berücksichtigt wird um so mehr Rauschen wird erzeugt und je mehr Zeit einbezogen wird, um so mehr wird geglättet b) eine Fehlerschätzung ist nicht möglich.

Der Vergleich der Ergebnisse der Interpolationsmethoden in Abschnitt 4.3 hat ergeben, dass die Eigenschaft «lokal» für ein gut zu interpretierendes Ergebnis wichtiger ist als die Eigenschaft «stochastisch». Aus meiner Untersuchung geht daher hervor, dass für die Daten der eidgenössischen Abstimmungsvorlagen gemeinsam mit den Ergebnissen der Faktorenanalyse die Methode Weighted Moving Focus zu bevorzugen ist, da sie plausiblere Resultate liefert. Die mangelnde Fehlerschätzung beim WMF kann nicht als Minuspunkt gewertet werden, da auch bei der Trendanalyse mit synthetischen Variablen ein geeignetes Verfahren zur Überprüfung

der Validität fehlt. Welche Tests dennoch durchgeführt werden können, wird bei der Beantwortung der zweiten Frage erörtert.

Trotz der bevorzugten Stellung der lokalen Methode vor der stochastischen Methode wäre es wünschenswert, diese beiden Eigenschaften zu verbinden, da sie bis jetzt getrennt in den beiden Interpolationsmethoden realisiert sind. Könnte die Verteilung der Daten miteinbezogen werden, wäre es möglich, die Breite der zeitlichen Gewichtungsfunktion zu schätzen, womit ein «objektiver» Kompromiss zwischen Rauschen und Glätten erreicht werden könnte. Zusätzlich könnte man auch die Form der Gewichtungsfunktion schätzen; dann wäre alles Perfekt, wobei hier der Optimierungsaufwand kaum gerechtfertigt sein dürfte.

Vergleicht man Abbildung 4-1, so existiert eine Interpolationsmethode, die beide Eigenschaften – lokal und stochastisch – vereinigt. Kriging ist eine Interpolationsmethode, die für räumliche Daten, und zwar für geologische Daten, entwickelt wurde. Kriging wird auch auf Zeitreihen angewendet (vgl. GUOPING 1996). Mit Kriging könnte sowohl die Breite der zeitlichen Gewichte geschätzt als auch die Form der Gewichtungsfunktion bestimmt werden. Will man die Form der Glockenkurve beibehalten und nur die Breite der Gewichte bestimmen, könnte dies auch experimentell über ein Mass für das Rauschen bestimmt werden. Eine erweiterte Möglichkeit wäre, dass die Breite der Gewichte auf Grund der lokalen Datenlage variieren würde (vgl. LOADER 1999). So könnten Zonen mit grösseren zeitlichen Lücken anders behandelt werden als Zonen mit höherer Datendichte.

Zeitlicher Wandel und Persistenz

Die zweite, in der Einleitung formulierte Frage lautete: *Wie sind zeitlicher Wandel und Persistenz fassbar?*

Die wichtigste Voraussetzung, um Dynamik zu bestimmen, ist dass der Merkmalsraum – hier im speziellen Fall der Faktorenraum, der durch drei Faktoren aufgespannt wird – über die gesamte Zeit der Untersuchungsperiode stabil bleibt. Im gewählten Beispiel des Weltanschauungsraums wird diese ausserordentlich wichtige Voraussetzung erfüllt, wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben wurde.

Die Resultate der Interpolationsmethoden werden als Zeitspuren bzw. Trajektorien in den Weltanschauungsraum gezeichnet. Dabei werden die Darstellungen in der Ebene mit zwei Faktoren verwendet. Diese Darstellung ermöglicht eine grundlegende Interpretation. Es hat sich aber, wie weiter unten noch ausgeführt wird, gezeigt, dass Animationen einen höheren Informationsgehalt aufweisen.

Die Resultate der Faktorenanalyse bzw. die Werte der synthetischen Variablen, die Faktorwerte, sind relative Werte, so dass auch die Darstellung des Wandels im Merkmalsraum relativ ist. Mit anderen Worten: Die Ergebnisse müssen sorgfältig interpretiert werden, da mögliche Bewegungen eines Objektes eine Gegenbewegung eines anderen Objektes auslöst. So kann z. B. die ganze Romandie «linker» werden, und dadurch die Deutschschweiz «rechter».

Eine weitere Einschränkung durch die relative Konfiguration des Raumes ist, dass die Abstände der Objekte und die Länge der Zeitspuren nur ordinal verglichen werden können. So ist die längere Zeitspur eines Objektes verglichen mit der Zeitspur eines anderen ein Indiz auf eine

höhere Dynamik. Absolut betrachtet kann die Länge der Zeitspur nicht interpretiert werden. Aus dieser Einschränkung lässt sich ableiten, dass sich über die Beträge der Abstände von Objekten nichts weiter aussagen lässt als, dass z. B. ein Objekt im Vergleich zu einem anderen links-liberaler ist. Die Aussagen sind immer relativen Inhalts, was bereits in der Struktur des Faktorraums begründet liegt. Relative Aussagen sind nicht minderwertige Aussagen vor allem in diesem speziellen Fall des Weltanschauungsraums nicht, da es sich hier um Inhalte handelt, die sich dauernd verändern, und es unmöglich sein dürfte, eine absolute Skala der weltanschaulichen Konflikte zu entwerfen. So sind Aussagen von Größenrelationen wie «grösser als», «gleich als» usw. sehr interessant.

Im engeren Sinn handelt es sich bei den verwendeten und weiterentwickelten Interpolationen um quantitative Methoden. Im Gebrauch mit «normalen» Messwerten ist es möglich, die Ergebnisse dieser Methoden quantitativ zu interpretieren. Im konkreten Fall der Weltanschauungen sind die Eingangsdaten sehr wohl quantitativer Natur; durch die spezielle Struktur des Merkmalsraum sind die Ergebnisse jedoch hauptsächlich qualitativ zu interpretieren. So gesehen sind die angewendeten Interpolationsmethoden in ihrem Ergebnis quantitativ, die grosse Datenmengen reduzieren und interpretierbar machen.

Die Richtung des Wandels ist eine wesentliche Information, die aus den Zeitspuren gewonnen wird. Ein Versuch, den Wandel mittels einer Animation darzustellen, hat gezeigt, dass dadurch die Interpretierbarkeit bedeutend steigt. Synchrone Richtungsänderungen und vergleichbare Muster sind deutlicher zu erkennen. Stagnation, Aufeinanderfolge und Gleichzeitigkeit sind besser zu beobachten. Die Geschwindigkeit kommt hinzu, so dass Dynamisches auch dynamisch dargestellt werden kann.

Der relative Aufbau des Merkmalsraums, die eingeschränkte visuelle Überprüfbarkeit der Validität und das Fehlen von Fehlertests verlangen nach besonderen Validierungsmethoden. Die erste mögliche Methode beruht auf einem externen Referenzsystem, das auf Variablen aufbaut, die unabhängig von den Abstimmungsvorlagen sind. Ist es möglich, Indikatoren zu finden, die gesellschaftlichen Wandel erklären und auch Merkmale von Zentralität enthalten, können diese mit den Werten des Weltanschauungsraums getestet werden. Die zweite Möglichkeit beruht auf einer visuellen Überprüfung. Die Objekte werden in geographisch relevante Regionen klassifiziert, wie z. B. die Sprachregionen, um damit die Bewegungsmuster innerhalb der Regionen zu vergleichen. Ist das Muster innerhalb der definierten Regionen weitgehend homogen und können Abweichungen erklärt werden, ist mindestens eine qualitative Validierung möglich, die zeigt, ob es sich um zufällige oder sinnvolle Bewegungen handelt.

Erklärbare und nicht erfassbare Veränderungen

Die dritte und letzte Frage lautet: *Welche Veränderungen können mit den Methoden erklärt werden und wo sind sie immun?*

Der erste wesentliche Unterschied der beiden Interpolationsmethoden wurde bereits in der ersten Frage behandelt. Die globale Methode (Trendanalyse) zeigt vor allem langfristige Entwicklungen und kann immun gegenüber Kurzfristigem sein. Sie kann sozialen Wandel nur bedingt modellieren. Die lokale Methode (Weighted Moving Focus) ist dagegen in der Lage, die-

se kurzfristigen Ereignisse zu modellieren, ohne das Langfristige auszublenden. Durch die Parametrisierung der zeitlichen Gewichtung ist es möglich, auf die Form der Zeitspur Einfluss zu nehmen, so dass mehr Details oder eine geglättete Kurve abgebildet wird. In Abbildung 4-11 ist diese Tatsache dargestellt. Auf der einen Seite kann der Detailreichtum in Rauschen übergehen und auf der anderen Seite in einen von jeglicher Störung befreiten Punkt. Die Freiheit zu bestimmen, welchen Detailgrad die Interpolation aufweisen soll, ist einerseits ein Vorteil und andererseits ein Nachteil. Der Nachteil besteht darin, dass es kein objektives Mass für die Breite der Gewichte gibt und diese somit von der Ansicht des Benutzers oder der Benutzerin abhängt. Der Vorteil liegt aber gleichzeitig in dieser Subjektivität, wie beim Generalisieren einer Karte. Trotz dieser subjektiven Komponenten ist der lokalen Methode den Vorrang zu geben. Wie in Frage 1 bereits beantwortet, existiert eine Methode, die eine objektive Breite der Gewichte liefern könnte.

Die Trendanalyse weist eine weitere Schwierigkeit auf; für alle Gemeinden wird global die gleiche Form des Trends angenommen bzw. die gleiche Entwicklung des Wandels vorausgesetzt. Entscheidet man sich für einen linearen Trend, wird dieser allen 3021 Gemeinden unterstellt. Der Trend unterscheidet sich in diesem Fall nur durch die Ausprägungen wie Steilheit und Richtung. Es ist nicht plausibel anzunehmen, dass sich die Veränderung für verschiedenste Typen von Gemeinden gleich darstellt. Möchte man den Wandel möglichst adäquat beschreiben, kann dies nur gelöst werden, wenn für jede Gemeinde individuell der passende Trend gefunden wird oder Gemeindetypen auf Grund von Merkmalen gebildet werden, die eine gemeinsame Art des Wandels der zugehörigen Gemeinden annehmen lassen. Diese Problematik, dass alle Gemeinden über die gleiche Leiste geschlagen werden, ist nicht in der Trendanalyse verankert und auch nicht in der multivariaten Regressionsanalyse, die ihr zu Grunde liegt. Sie liegt hauptsächlich in der Verwendung von synthetischen Variablen, die es erschweren zu testen, ob die Kurven optimal passen. Ausserdem können auf Grund der Eigenschaften der Gemeinden und deren inneren Dynamik a priori keine verallgemeinernden gesetzmässigen Aussagen gemacht werden.

Die beiden Methoden sind generell immun bei absoluten Aussagen des Wandels. Der Weltanschauungsraum ist in den 19 Jahren, in der die Daten vorhanden sind, äusserst stabil, wie die Kennwerte in Abschnitt 3.2.1 zeigen. Betrachtet werden aktuell drei Faktoren, die auf Grund der Variablen, die darauf laden, und durch verschiedene Masszahlen ausgewählt wurden. Es ist aber möglich, dass sich die Konstruktion des gesamten Weltanschauungsraums durch Einbezug von längeren Untersuchungsperioden grundlegend verändert. Faktoren verlieren oder gewinnen an Bedeutung. Veränderungen, die den Raum betreffen, erfassen die Interpolationsmethoden nicht und müssen anders gelöst werden.

5.2 Ausblick

Die lokale Methode, der Weighted Moving Focus, liefert Resultate, die gut interpretierbar sind. Trotzdem kann die Methode optimiert werden, wie schon bei der Beantwortung der Fragen erwähnt wurde. Soll die Breite der zeitlichen Gewichte und die Form der Gewichtungsfunktion

aus den Daten gewonnen werden, muss Kriging als Interpolationsmethode angewendet werden. Soll nur die Breite der zeitlichen Gewichte ermittelt werden, kann ein Mass kreiert werden, welches die Grenze zum Rauschen anzeigt. Es ist interessant, die Breite der zeitlichen Gewichte so eng wie möglich zu halten, damit wirklich nur lokale Phänomene abgebildet werden. Der einzelne interpolierte Wert sollte weitgehendst frei von Störungen sein, die von zeitlich weit entfernten Werten erzeugt werden, die nicht mehr viel zur Erklärung des aktuellen Wertes beitragen.

Aus diesem Grund muss auch eine Vorstellung entwickelt werden, was langfristige und kurzfristige Phänomene sind. Dies kann nur erreicht werden, wenn die Untersuchungsperiode erweitert wird, damit entschieden werden kann, ob die berechneten Zeitspuren Teile einer längeren übergeordneten Entwicklung sind. Giddens verlangt deshalb in seinen methodischen Betrachtungen, dass immer ein genügend grosser Zeitraum berücksichtigt wird. Man weiss sonst nicht, wo man sich im Wandel befindet: am Anfang, am Ende oder mittendrin?

Die Interpolationsmethode *Weighted Moving Focus* wird im Forschungsprojekt SOTOMO zur inhaltlichen Interpretation des weltanschaulichen Wandels der bestehenden Untersuchungsperiode von 1981 bis 1999 eingesetzt. Ein Ziel des Projektes ist, die neuesten Daten fortlaufend einzubeziehen und die Untersuchungsperiode in einem ersten Schritt bis in die Nachkriegszeit 1945 zu verlängern. In einem zweiten Schritt soll die Zeitdauer bis anfangs des 20. Jahrhunderts oder bis zur Gründung des eidgenössischen Bundesstaates 1848 ausgedehnt werden. Damit entsteht eine Zeitreihe von ca. 130 Jahren. Der Weltanschauungsraum könnte bei einer solchen langen Untersuchungsperiode instabil werden. Instabil bedeutet, dass die Variablen auf allen Faktoren ähnlich laden und eine Extraktion der Faktoren nicht möglich ist. Es könnte auch sein, dass je nach Zeitperiode eine unterschiedliche Anzahl von Faktoren relevant sind. Die Interpolationsmethoden können ein solches Problem nicht lösen, da sie auf einen stabilen Merkmalsraum angewiesen sind. Eine mögliche Lösung für ein solches Problem könnte sein, dass Faktorenanalysen zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb der Untersuchungsperiode mit überlappenden Zeitfenstern durchgeführt werden und anschliessend versucht wird, diese Daten zusammenzufügen, damit eine homogene Zeitreihe entsteht.

Der *Weighted Moving Focus* kann für Abstimmungsvorhersagen erweitert werden. Das tiefe Aggregationsniveau von Gemeinden lässt eine differenzierte Sicht zu. Zusätzlich handelt es sich um eine Vollerhebung und nicht um eine Stichprobe, so dass die kleinsten Abweichungen interpretiert werden können. Marc Baumann entwickelt in seiner laufenden Diplomarbeit ein Modell, das verschiedenste sozial relevante Variablen einer Gemeinde berücksichtigt, und mit dem unabhängig der Abstimmungsvorlagen auf die Weltanschauungen geschlossen werden kann. Dieses Modell könnte als externe Validierung der Interpolationsmethoden eingesetzt werden.

Literatur

- BACKHAUS Klaus, Bernd ERICHSON, Wulff PLINKE und Rolf WEIBER (1990): *Multivariate Analysemethoden. Eine Anwendungsorientierte Einführung*. 6. Auflage, Berlin etc.: Springer Verlag (= Springer-Lehrbuch).
- BACKHAUS Norman (1999): *Zugänge zur Globalisierung. Konzepte, Prozesse, Visionen*. Geographisches Institut der Universität Zürich (= Schriftenreihe Anthropogeographie 17).
- BAHRENBURG Gerhard, Ernst GIESE und Josef NIPPER (1990): *Statistische Methoden in der Geographie. Univariate und bivariate Statistik*. Band 1, 3. Auflage, Stuttgart: Teubner (= Studienbücher der Geographie).
- BAHRENBURG Gerhard, Ernst GIESE und Josef NIPPER (1992): *Statistische Methoden in der Geographie. Multivariate Statistik*. Band 2, 2. Auflage, Stuttgart: Teubner (= Studienbücher der Geographie).
- BATHELT Harald und Wolf-Dieter ERB (1991): Zur Interpretation von Hauptkomponenten und Faktoren: Eine Wiederaufnahme der kritischen Diskussion faktorenanalytischer Verfahren. In: *Erdkunde*, Band 45, Heft 4, Dezember 1991, S. 241-254.
- BLAISE Clark (2001): *Die Zähmung der Zeit. Sir Stanford Fleming und die Erfindung der Weltzeit*. Frankfurt a. M.: S. Fischer Verlag.
- BORNSCHIER Volker (1998): *Westliche Gesellschaft – Aufbau und Wandel*. Zürich: Seismo-Verlag.
- BORTZ Jürgen (1993): *Statistik für Sozialwissenschaftler*. 4. Auflage, Berlin etc.: Springer Verlag (= Springer-Lehrbuch).
- BURROUGH, P. A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon Press.
- FABRIKANT Sara (2001): *Spatialization*.
<http://www.geog.ucsb.edu/~sara/html/research/diss/spatialization.html>, 15. Juni 2001.
- FÖLLMI Olivier und Stefan SCHOMANN (1996): Vom Glück in Shade zu Leben. In: *GEO Special, Himalaya*, Heft 3, Juni, S. 31-41.
- FUCHS-HEINRITZ Werner, Rüdiger LAUTMANN, Ottheim RAMMSTEDT und Hans WIENOLD (1994): *Lexikon zu Soziologie*. 3. Auflage, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- GIDDENS Anthony (1997): *Die Konstitution der Gesellschaft. Grundzüge einer Theorie der Strukturierung*. 3. Auflage, Frankfurt a. M. etc.: Campus Verlag.
- GUOPING Chen (1996): *Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich*. Universität der Bundeswehr, München (= Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen 53).
- HERMANN Michael (1998): *Der Weltanschauungsraum. Ein Instrument zur integrativen Erfassung mentaler, sozialer und regionaler Differenzierung*. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich.

- HERMANN Michael und Heinrich LEUTHOLD (2001): Weltanschauung und ihre soziale Basis im Spiegel eidgenössischer Volksabstimmungen. In: *Schweizerische Zeitschrift für Politikwissenschaft*, Heft 7, Submitted 2001.
- HIRSIG René (1997): *Statistische Methoden in den Sozialwissenschaften. Eine Einführung im Hinblick auf computergestützte Datenanalysen mit SPSS für Windows*. Band 2, Zürich: Seismo-Verlag.
- HOWARD Anton (1995): *Lineare Algebra: Einführung, Grundlagen, Übungen*. Heidelberg / Berlin / Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- LOADER Clive (1999): *Local regression and likelihood*. New York etc.: Springer (= Statistics and Computing).
- MAINZER Klaus (1999): *Zeit: von der Urzeit zur Computerzeit*. 3. Auflage, München: Beck (= Wissen in der Beck'schen Reihe).
- NIPP Kaspar und Daniel STOFFER (1994): *Lineare Algebra. Eine Einführung für Ingenieure unter besonderer Berücksichtigung numerischer Aspekte*. 3. Auflage, ETH Zürich: vdf Hochschulverlag.
- OECHSLIN LUDWIG (1999): Die Erfindung des Ticktack. In: *NZZ Folio*, Heft 11, November, S. 42-50.
- OSTEN Manfred (Hrsg.) (1999): *Alexander von Humboldt – Über die Freiheit des Menschen. Auf der Suche nach Wahrheit*. Frankfurt a. M. / Leipzig: Insel Verlag.
- POPPER Karl Raimund (1997): *Auf der Suche nach einer besseren Welt. Vorträge und Aufsätze aus dreissig Jahren*. 9. Auflage, München / Zürich: Piper.
- STEINER Dieter (1998a): *Humanökologie I. Kulturelle Evolution*. Geographisches Institut der ETH Zürich, unveröffentlichtes Manuskript.
- STEINER Dieter (1998b): Humanökologie als Gratwanderung zwischen Mathematik und Poesie. Manuskript zur Abschiedsvorlesung an der ETH Zürich, 9. Dezember 1998.
- TREIBEL Annette (1997): *Einführung in die soziologische Theorie der Gegenwart*. Opladen: Leske + Budrich (= UTB für Wissenschaft).
- ÜBERLA Karl (1977): *Faktorenanalyse. Eine systematische Einführung für Psychologen, Mediziner, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*. 2. Auflage, Berlin etc.: Springer Verlag.
- WUKETITS Franz M. (2000): *Evolution. Die Entwicklung des Lebens*. München: Beck (= Wissen in der Beck'schen Reihe).
- ZAPF Wolfgang (1998): Sozialer Wandel. In: Bernhard Schäfers (Hrsg.): *Grundbegriffe der Soziologie*. 5. Auflage, Opladen: Leske + Budrich (= Uni-Taschenbücher).

Anhang

A Verwendete Matrizen

Matrix	Element	Verwendung
Z	z_{ij}	standardisierte Datenmatrix
R	r_{jl}	Korrelationsmatrix
L	l_{kj}	Matrix der Faktorladungen
R_h	r_{jl}^h	Reduzierte Korrelationsmatrix
V	v_{kj}	Rotiertes Faktormuster
F	f_{ik}	Matrix der Faktorwerte

Index	Bereich	Verwendung
k	$1, \dots, r$	Faktoren
i	$1, \dots, m$	Gemeinden (Beobachtungen, Objekte)
j, l	$1, \dots, n$	Abstimmungsvorlagen (Variablen)

B Rechnen mit Matrizen

Hier werden die wichtigsten Matrixoperationen vorgestellt, so weit sie von Bedeutung für die Beschreibung der Interpolationsmethoden und der Faktorenanalyse sind. Die Ausführungen in diesem Anhang beruhen hauptsächlich auf den Lehrbüchern von HOWARD (1995) und NIPP & STOFFER (1994). Die Matrixoperationen werden mit Bezügen zu den konkreten Anwendungen erörtert.

B.1 Multiplikation zweier Matrizen

Das Produkt einer Multiplikation zweier Matrizen ist wieder eine Matrix. Die Matrixmultiplikation zweier Matrizen ist eine Kombination von Multiplikation und Addition.

Gegeben sei $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$ eine 2x3-Matrix und $\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix}$ eine 3x2-Matrix.

Wenn $\mathbf{C} = \mathbf{AB}$, dann ist $\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}$ eine 2x2-Matrix. Die Elemente von \mathbf{C} werden wie folgt berechnet

$$c_{11} = a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} + a_{13}b_{31}$$

$$c_{12} = a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} + a_{13}b_{32}$$

$$c_{21} = a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} + a_{23}b_{31}$$

$$c_{22} = a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} + a_{23}b_{32}$$

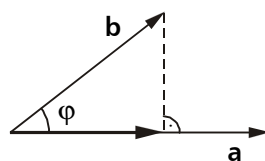
Die Matrixmultiplikation kann auch mit dem Summenzeichen formuliert werden

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^3 a_{ik}b_{kj}$$

Das Produkt einer Multiplikation mit zwei Matrizen kann nur gebildet werden, wenn die Anzahl Spalten von \mathbf{A} mit der Anzahl Zeilen von \mathbf{B} übereinstimmt.

Eine wichtige Einschränkung ist, dass die Matrixmultiplikation nicht kommutativ ist und damit im allgemeinen $\mathbf{AB} \neq \mathbf{BA}$ gilt.

Die Matrixmultiplikation kann als Linearkombination, wie dies bei einer Regressionsanalyse oder bei einer Faktorenanalyse angewendet wird, interpretiert werden. So ist die Projektion von Messwerten auf eine Regressionsgerade eine Linearkombination, wie auch die Rotation und die Extraktion von Faktoren. Bekannt ist dieser Sachverhalt aus der Vektorgeometrie, wo der gleiche Effekt beim Skalarprodukt bekannt ist.



Mit den Vektoren \mathbf{a} , \mathbf{b} ist das Skalarprodukt wie folgt definiert

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3.$$

Bei den Matrizen muss darauf geachtet werden, dass sie richtig angeordnet sind. Normalerweise werden bei der Matrixmultiplikation mehrere Linearkombinationen gleichzeitig durchgeführt, da eine Matrix aus mehreren Zeilen- und Spaltenvektoren aufgebaut ist. Die Matrixmultiplikation mit den Matrizen \mathbf{A} und \mathbf{B} ist hier als Analogie zum Skalarprodukt formuliert, wobei

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = [a_1 \quad a_2 \quad a_3] \cdot \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3.$$

B.2 Transponieren einer Matrix

Transponieren einer Matrix bedeutet, die Zeilen mit den Spalten zu vertauschen. Gegeben sei

die Matrix $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$ eine 2x3-Matrix, dann ist $\mathbf{A}^T = \mathbf{A}' = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \\ a_{13} & a_{23} \end{bmatrix}$ eine 3x2-

Matrix, die Transponierte von \mathbf{A} . Das Transponieren einer Matrix wird häufig angewendet, um die Matrix für eine Matrixmultiplikation in die richtige «Position» zu bringen. Werden die Elemente einer Matrix mit a_{ij} bezeichnet, sind sie Elemente von \mathbf{A} . Das Element von \mathbf{A}^T wird mit a_{ji} , durch Vertauschen der Indizes, beschrieben.

B.3 Diagonalmatrix

Diagonalmatrizen sind quadratische Matrizen, deren Elemente ausserhalb der Diagonalen den Wert 0 haben. Die Matrix \mathbf{D} ist eine 3x3-Matrix. Die Elemente können mit einem doppelten Index d_{ii} angegeben werden oder mit einem einfachen d_i . Mit der Funktion `diag()` können Zeilenvektoren in eine Diagonalmatrix überführt werden

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix} = \text{diag}(d_{11}, d_{22}, d_{33}).$$

Geben sei $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}$ eine 3x2-Matrix und $\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & 0 \\ 0 & w_{22} \end{bmatrix}$ eine 2x2-Diagonalmatrix.

Werden \mathbf{A} und \mathbf{W} miteinander multipliziert, dann wird die erste Zeile von \mathbf{A} mit der ersten Spalte von \mathbf{W} usw. multipliziert. Das Resultat ist, dass die Spalten von \mathbf{A} mit einem Skalar aus

\mathbf{W} multipliziert werden. Das Ergebnis der Multiplikation ist $\mathbf{AW} = \begin{bmatrix} a_{11}w_{11} & a_{12}w_{22} \\ a_{21}w_{11} & a_{22}w_{22} \\ a_{31}w_{11} & a_{32}w_{22} \end{bmatrix}$. Diese

Art der Matrixmultiplikation kann bei Gewichten angewendet werden.

B.4 Die Inverse einer Matrix

Wenn \mathbf{A} eine quadratische Matrix ist und es eine Matrix \mathbf{A}^{-1} mit $\mathbf{AA}^{-1} = \mathbf{I}_n$ gibt, so ist \mathbf{A} invertierbar. Ist \mathbf{A} eine 3x3-Matrix und es existiert eine Inverse, dann hat die Einheitsmatrix die Form

$$\mathbf{I}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Eine invertierbare Matrix besitzt nur eine Inverse, d.h. die Lösung ist immer eindeutig. Die Multiplikation mit einer Inversen kann als Division interpretiert werden, wie folgende Überlegung aus der Zahlenarithmetik $aa^{-1} = \frac{a}{a} = 1$ zeigt. Die Lösung eines überbestimmten Gleichungssystems mit einer Regressionsrechnung hat die Form

$$\mathbf{X}^T \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}_i = \mathbf{X}^T \mathbf{Y}_i.$$

Wird nach den Regressionskoeffizienten aufgelöst, muss der Ausdruck $\mathbf{X}^T \mathbf{X}$ auf die rechte Seite gebracht werden. Dies geschieht mit der Inversen von $\mathbf{X}^T \mathbf{X}$. Sie wird von links an die linke Seite des rechten Term multipliziert

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_i = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}_i.$$

Das Auffinden einer Inversen ist sehr aufwändig, normalerweise ist das Lösen von Gleichungssystemen nötig.

Die Einheitsmatrix \mathbf{I}_n hat zusätzlich die Eigenschaft, dass sie das Neutralelement der Matrixmultiplikation ist. Es gilt $\mathbf{A} = \mathbf{AI}_n = \mathbf{I}_n \mathbf{A}$.

