

Abstracts of Book 2

Komplexität modellieren.
Faktorenanalyse am Scheideweg (original title).

Modelling complexity. Factor analysis at the crossroad (translated title).

Published: Ertel, Suitbert (2011). Göttingen: Verlag der Universität.

Deutsche Zusammenfassung of four chapters.

Kapitel 1: Kritik am Dogma „Simple Structure“

Die Studie hat zum Ziel, einen methodologischen Irrtum aufzudecken, der die faktorenanalytische Forschung seit ihren Anfängen belastet. Das Modell der *Simple Structure* (Thurstone, 1935/1947), an dem sich diese Forschung orientiert hat, wird infrage gestellt. Es wird aufgezeigt, dass durch die Rotation der Faktoren zur Einfachstruktur die Komplexität der Bedingungen des Erlebens und Verhaltens verschleiert wird. Circumplex- und Strukturgleichungs-Verfahren lösen die grundlegenden Probleme nicht, da sie die Unzulänglichkeiten der Simple Structure (SS) mit übernehmen. Die Kritik an SS wird am empirischen Beispiel erläutert, theoretisch begründet und mit zahlreichen wörtlichen Zitaten einer Minorität kritischer Autoren gestützt. Insgesamt wird die Kalamität der konventionellen Faktorenanalyse einem einseitig mathematischen Denken verantwortlicher Methodiker zur Last gelegt, das andere legitime Erkenntnismittel vernachlässigt. Ein Paradigmenwechsel wird für längst fällig gehalten. Als Alternative zur konventionellen Faktoren-Transformation wird eine Transformation zur Komplexstruktur (CS), die in Kapitel 2 vorgestellt wird.

Kapitel 2: Komplexe Strukturen aufspüren. Faktorenanalysen mit Variminrotation.

Kapitel 2 knüpft an der Kritik am ‘Dogma Simple Structure’ an, die in Kapitel 1 ausgeführt wird. Ein neues Rotationsverfahren für extrahierte Faktoren wird vorgestellt (Varimin), welches die latenten Kovarianzquellen ermitteln will, die den manifesten Variablen einer Domäne zugrunde liegen. Varimin optimiert das durch die Initialstruktur einer Faktorenanalyse schon entworfene, aber oft noch verbesserungsbedürftige Modell multifunktionaler Bedingungsverhältnisse. Die konventionell verwendeten Rotationsverfahren, die latente Kovarianzquellen als Einfachstruktur (Simple Structure, SS) modellieren wollen, voran das Standardverfahren Varimax, werden bemängelt, weil sie die reale Komplexstruktur (CS) der Bedingungsverhältnisse verdecken, anstatt sie aufzuklären. Die neue methodologische Ausrichtung wirft Fragen auf, von denen fünf diskutiert werden. Gefragt wird: Wie lassen sich Varimin-transformierte Faktoren deuten? Wird die Komplexität der Kovarianzquellen mit der Initiallösung nicht schon hinreichend

repräsentiert? Lassen sich faktorielle SS-Lösungen nicht doch befriedigend interpretieren, wie könnte man sie sonst ständig verwenden? Enthält die regelmäßig anzutreffende Bipolarität von Varimin-Faktoren substantielle Information? Lassen sich mithilfe einer CS-orientierten Faktorenanalyse auch methodenbedingte Faktoren entdecken? Die Klärung dieser Fragen wird durch Anwendung der Varimin-Transformation auf acht publizierte und zwei neu generierte Datensätze unterstützt. Die Komplexstruktur-Modellierung (CSM), mit welcher latente Kovarianzquellen der manifesten Variablen aufgespürt werden (durch Varimin), wird der Simple Structure-Modellierung (durch Varimax) gegenüber gestellt. Es zeigt sich, dass Varimax zur Aufklärung latenter Bedingungen keinen nennenswerten Beitrag leistet. Lediglich zum Clustern manifester Variablen, wenn dies gewünscht wird, sind Simple Structure-Transformationen geeignet. Auf die Grenzen der methodologischen Innovation wird hingewiesen.

Kapitel 3: Grundintelligenz (*g*) und Lernkapital (*l*). Komplexstrukturelle Faktorenanalyse des Intelligenz-Struktur-Tests (I-S-T).

Achtzehn der Forschungsliteratur entnommene Interkorrelationstabellen des Intelligenz-Struktur-Tests (I-S-T) (Versionen 1955 und 1970) wurden PCA-faktorielliert und durch Varimin-Rotationen einer Complex Structure-Modellierung (CSM) zugeführt. Die achtzehn sich ergebenden Varimin-Lösungen wurden aggregiert, es resultierten zwei Faktoren: Varimin-F₁ war als Generalfaktor *g* zu deuten, Varimin-F₂ ließ eine von *g* unabhängige leistungsmodifizierende Varianzquelle zutage treten. Sie wurde als Auswirkung eines durch vorhergehendes schulisches und anderes Training erworbenen *Lernkapitals* (*l*) gedeutet, von welchem die Subtestleistungen des I-S-T mehr oder weniger profitieren. Die Validität von Varimin-F₁ als *Grundintelligenz g* wurde durch hohe Korrelationen zwischen *g* und Testscores der allgemeinen Intelligenz erhärtet (operationalisiert durch CFT und FRT). Auch wurde die Deutung von Varimin-F₂ als Lernkapital bekräftigt, da F₂-Faktorscores mit Schulnoten, mit der Leistung im Rechtschreiben und im Grundrechnen signifikant korrelierten. Die achtzehn PCA-faktoriellierten Interkorrelationstabellen wurden auch einer Simple Structure-Modellierung (SSM) zugeführt (durch Varimax-Rotation). Varimax-F₁ entsprach inhaltlich dem, was man fluide Intelligenz zu nennen pflegt, Varimax-F₂ entsprach der konventionell so genannten kristallinen Intelligenz. Doch fehlten zwischen Varimax-F₁ und F₂ zu erwartende Unterschiede ihrer Korrelationen mit den Außenkriterien der allgemeinen Intelligenz, der Schulnoten, des Rechtschreibens und des Grundrechnens, die ihre Bedeutung als fluide vs. kristalline Intelligenz manifestiert haben sollten. Zudem hatte das Aggregat der Varimax-Faktoren einen dritten substantiellen Faktor ergeben, der nicht interpretierbar ist und offensichtlich ein Kunstprodukt darstellt. Durch die Varimax-Rotation wird initiale *g*-Varianz auf F₁, F₂ und, wenn vorhanden, auch auf F₃ künstlich aufgeteilt. Dabei wird der Varianzbeitrag des Lernvorteils mit dem der Grundintelligenz verschmolzen. Die SSM gibt den latenten Funktionskomponenten (*g*) und (*l*) keine Chance, sich unabhängig voneinander zu manifestieren.

Kapitel 4: Exploratorische Faktorenanalyse sportlicher Zehnkampf-Leistungen.

Mithilfe von Zehnkampfdaten aus vier Quellen wurde die Effizienz der Varimin-Faktorenrotation überprüft. Es zeigte sich, dass sich die Varimin-Faktoren als Manifestation latenter Varianzquellen deuten ließen, die den sportlichen Leistungen multifunktional zugrunde liegen. Varimax-Faktoren, die das Modell der Simple Structure zu optimieren suchen, führten zu fragwürdigen Clustern der manifesten Variablen. Die Varimin-rotierten Faktorenstrukturen erwiesen sich gegenüber einem Wechsel der Datenquellen auch als robuster als die Varimax-rotierten Strukturen. Eine Anwendung der exploratorischen Faktorenanalyse, die auf Erfassung von Komplexität ausgerichtet ist, könnte die in Misskredit geratene exploratorische Forschungsstrategie rehabilitieren.

English abstracts of four chapters

Chapter 1: Criticism of Thurstone's "Simple Structure".

The present study aims at disclosing a methodological error which has prejudiced factor analysis since its beginning. Simple structure, the guiding principle for factor rotation (Thurstone, 1935/1947) is unveiled as a questionable dogma since it generally distorts the representation of latent sources of variance of manifest empirical variables. This criticism is elucidated by an empirical example, it is based on theoretical considerations and supported by verbatim quotations of critical authors. The present calamity of factorial research is deemed due to flaws of methodical reasoning. One-sided mathematical formalization in the discipline has lost its objectives by unjustifiably ignoring ordinary sources of gaining knowledge, including common sense. The problem of simple structure cannot be solved by circumplex- and structural equation procedures suffering no less from the flaw of simple structure. A paradigm change is overdue. An alternative factor transformation leading to complex structures is demanded and will be delineated in a succeeding paper.

Chapter 2: Disclosing complex structures. Factor analyses using Varimin rotations.

This paper resumes a preceding criticism of the 'dogma simple structure' (Ertel, 2009). The rotation procedure varimax which is commonly used to generate simple structure is replaced with Varimin which aims at bringing latent complex structures to manifestation. Varimin optimizes the model of complexity which – being already delineated by initial unrotated structures – still needs improvement. The new method raises various questions of which five are discussed. The issues in particular are: How can Varimin factors be interpreted? Do latent sources of covariance not appear sufficiently complex already with initial solutions? Are simple structure solutions not fairly interpretable, how else could they have been routinely

used? How to interpret the commonly encountered bipolarity of Varimin factor loadings? Is factor analysis with complex structure transformation applicable to data affected by method factors? Ten empirical applications of Varimin transformation serve as practical examples. Particular features of transformation to complex structure, revealing latent sources of covariance (by Varimin), are elucidated by comparing pertinent results with those obtained from transformations to simple structure (by varimax). Varimax will remain useful for clustering objectives. Attention is also drawn to limitations of the new methodical innovation.

Chapter 3: Basic intelligence (g) and learning capital (l). Factor analysis of the Intelligence Structure Test (I-S-T).

Eighteen matrices of intercorrelations of eight subtest variables of the intelligence test I-S-T were subjected to principal component analysis, the resulting factors were rotated by Varimin to a model of complex structure. The 18 Varimin solutions were aggregated, two factors resulted: Varimin- F_1 represented a general factor g ("basic intelligence"), Varimin- F_2 represented an achievement -modifying factor dependent on previous educational training and learning ("learning capital", l). The validity of Varimin- F_1 , basic intelligence, was ascertained by high correlations between g and test scores of general intelligence, operationalized by CFT und FRT. The interpretation of Varimin- F_2 found support by significant correlations with school grades and scores in orthography and arithmetic. The 18 PCA-factors were also transformed by varimax to simple structure. This transformation caused a splitting up of initial g into two seemingly separate factors, called „fluid“ and „crystallized“ intelligence by convention. In addition, differences between varimax F_1 and F_2 of correlations with external criteria of general intelligence vs. school grades and training scores in orthography and arithmetic which should have emerged were missing. The aggregate of varimax factors yielded an unexpected third factor with considerable weight which, however, turned out to be an artifact of simple structure. Apparently, simple structure modelling of intelligence test data amalgamates general intelligence with learning effects. Rotation of intelligence data to simple structure does not reveal independent contributions of latent functional components.

Chapter 4: Exploratory factor analysis of decathlon performances.

Results obtained from exploratory factor analysis are often disappointing. It has been suggested in chapter 1 that this is mainly due to Thurstone's doubtful principle of simple structure. The author replaced the principle of simple structure by its opposite, complex structure. Varimax, the standard rotation procedure through which factorial simple structure has hitherto been imposed upon variables, has been replaced, accordingly, by an alternative procedure, Varimin, which accounts for multiple sources of variance underlying single observed variables. The results of a factorial study are reported using sports data with high levels of transparency: decathlon record scores. The aim was to compare Varimin and varimax results regarding factorial stability and interpretability. It is shown that Varimin factors

revealed latent components of sports activity in interaction, while varimax factors yielded obscure clusters of the sports disciplines. In addition, factor structures obtained by Varimin rotation were more robust to changing data sources than those obtained by varimax rotation. The new methodical turn might revive exploratory factorial research which, due to questionable results of the past, has lost reputation.