

**Universitäts-Rechenzentrum Trier**



**AWS.AMOS.4**

*Trier, den 25. 6. 2008*

**Bernhard Baltes-Götz**

**Analyse von  
Strukturgleichungsmodellen  
mit Amos 16.0**

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>5</b>
1.1	Strukturgleichungsmodelle mit latenten Variablen	5
1.2	Analyseoptionen in Amos 16	6
1.3	Hinweise zum Kurs	6
<b>2</b>	<b>ALLER ANFANG IST LEICHT</b>	<b>8</b>
2.1	Pfaddiagramm zeichnen	9
2.2	Allgemeine Bedienungsmerkmale	11
2.2.1	Format der Zeichenfläche ändern und Pfaddiagramm neu einpassen	11
2.2.2	Objekte markieren	12
2.2.3	Objekte löschen	12
2.2.4	Bearbeitungsschritte rückgängig machen	12
2.2.5	Werkzeugpaletten verwenden	13
2.2.6	Speichern, Sicherheitskopien	14
2.2.7	Pfaddiagramme in andere Anwendungen übertragen	15
2.3	Daten einlesen	16
2.4	Modellparameter schätzen	18
2.4.1	Textergebnisse	18
2.4.2	Erste Ergebnisinterpretationen	20
2.4.3	Das Ausgabe-Pfaddiagramm	21
2.5	Optionale Ausgaben	22
2.6	Amos in .NET - Programmen verwenden	23
<b>3</b>	<b>MODELLGÜLTIGKEITSTESTS</b>	<b>27</b>
3.1	Voraussetzungen für Strukturgleichungsanalysen	27
3.2	Projektdatei öffnen und sichern	27
3.3	Parameterrestriktionen formulieren	28
3.4	Prüfung der multivariaten Normalität	30
3.5	Testung der Parameterrestriktionen	31
3.6	Beschriftungen und andere Möglichkeiten zur Gestaltung des Pfaddiagramms	32
3.6.1	Diagrammbeschriftungen	32
3.6.2	Formatierungsoptionen	33
3.7	Parameterrestriktionen in AmosEngine-Programmen formulieren	34
3.8	Signifikanztests per C.R. oder Parameterrestriktion	35

<b>4</b>	<b>REGRESSIONS- UND PFADMODELLE FÜR MANIFESTE VARIABLEN</b>	<b>38</b>
4.1	Beispiel	38
4.2	Einlesen von Momentmatrizen	38
4.3	Pfaddiagramme mit gerichteten Pfeilen und latenten Variablen	39
4.4	Ein technisches Identifikationsproblem	41
4.5	Textausgaben zum Regressionsmodell	43
4.6	Pfadanalyse mit Amos	44
4.7	Vergleich mehrerer Modelle	45
<b>5</b>	<b>MODELLE MIT LATENTEN VARIABLEN</b>	<b>48</b>
5.1	Messfehler und methodologische Gegenmaßnahmen	48
5.2	Weitere Werkzeuge für die Erstellung von Pfaddiagrammen	49
5.3	Ergebnisse für Modelle mit latenten Variablen	51
<b>6</b>	<b>MODIFIKATIONSINDIKATOREN</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>EXPLORATIVE TECHNIKEN</b>	<b>59</b>
7.1	Gütemaße	59
7.2	Spezifikationssuche	60
<b>8</b>	<b>DIE SIMULTANE ANALYSE MEHRERER GRUPPEN</b>	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>BOOTSTRAPPING</b>	<b>71</b>
9.1	Prinzip und Nutzen	71
9.2	Beispiel	72
9.3	Modellgültigkeitstest nach Bollen & Stine	76
9.4	Parametrisches Bootstrapping	76
<b>10</b>	<b>LITERATUR UND WEITERE INFORMATIONQUELLEN</b>	<b>78</b>
10.1	Literatur	78
10.2	Internet-Ressourcen	79
<b>11</b>	<b>STICHWORTVERZEICHNIS</b>	<b>80</b>

Herausgeber:           Universitäts-Rechenzentrum Trier  
                          Universitätsring 15  
                          D-54286 Trier  
                          Tel.: (0651) 201-3417, Fax.: (0651) 3921

Leiter:                    Dr. Peter Leinen

Copyright ©            2008; URT

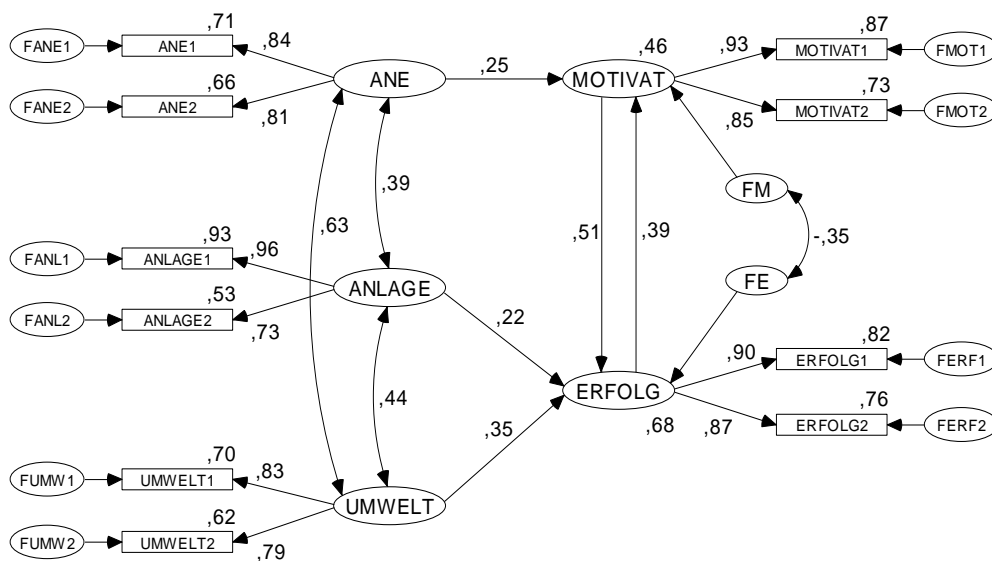
Autor :                   Bernhard Baltes-Götz  
                          E-Mail : [baltes@uni-trier.de](mailto:baltes@uni-trier.de)  
                          Telefon: 0651-201-3410

# 1 Einleitung

## 1.1 Strukturgleichungsmodelle mit latenten Variablen

Amos (Analysis of MOment Structures) ist ein modernes Werkzeug zur Analyse von Strukturgleichungsmodellen mit latenten Variablen. Diesen sehr flexiblen Analyseansatz, häufig auch als *Kovarianzstrukturanalyse* oder *Kausalanalyse* bezeichnet, kann man in erster Näherung als Kombination von Regressions- und Faktorenanalyse begreifen. Viele bekannte statistische Auswertungsverfahren können als spezielle Strukturgleichungsanalyse aufgefasst werden (z.B. Regressions-, Varianz-, und Kovarianzanalyse). Darüber hinaus stellt die Möglichkeit zur Formulierung von Struktur- bzw. Regressionsgleichungen auf der Ebene *latenter* Variablen eine sehr attraktive Modellierungsoption dar, die ursprünglich vor allem von Karl Jöreskog entwickelt wurde (siehe z.B. Jöreskog & Sörbom 1989).

Das folgende Beispiel mit einer reziproken Abhängigkeitsbeziehung auf der Ebene latenter Variablen demonstriert, welche Flexibilität Amos bei der Formulierung von Strukturgleichungsmodellen bietet:



Im Vergleich zur linearen Regressionsanalyse (z.B. mit der SPSS-Prozedur REGRESSION) bietet Amos vor allem folgende methodologische Attraktionen:

- **Die simultane Analyse mehrerer Gleichungen erlaubt nonrekursive Modelle.**  
Ist für ein aus mehreren Gleichungen bestehendes Modell eine der beiden folgenden Bedingungen verletzt, liegt ein **nonrekursives** Modell vor:
  - Die endogenen Variablen können so nummeriert werden, dass endogene Variablen keine kausalen Effekte auf andere endogene Variablen mit niedrigeren Nummern ausüben.
  - Die Residualvariablen aus verschiedenen Gleichungen sind unkorreliert.
 In diesem Fall ist eine *simultane* Analyse der Gleichungen erforderlich, so dass die traditionellen Regressionsprozeduren nicht anwendbar sind.
- **Latente Variablen ermöglichen verzerrungsfreie Parameterschätzungen.**  
Sind für theoretische Konzepte nur fehlerbehaftete Indikatoren vorhanden, erhält man geminderte bzw. verzerrte Effektschätzungen, wenn bei einer Analyse jedes Konstrukt durch einen *einzelnen* Indikator operationalisiert wird. Oft sind jedoch pro Konstrukt *mehrere* Indikatoren verfügbar. Amos kann diese nutzen, um die Konstrukte in der Beobachtungsbasis zu verankern und in das Gleichungssystem einzubeziehen. So lassen sich auf der Ebene latenter Variablen Effekte ohne messfehlerbedingte Verzerrungen schätzen.

## 1.2 Analyseoptionen in Amos 16

Die in diesem Kurs behandelte Amos-Version 16.0 bietet ein umfangreiches Spektrum von Analysetechniken, z.B. die Schätzmethoden

- Maximum Likelihood (ML), auch bei fehlenden Daten (FIML)
- ungewichtete (ULS), generalisierte (GLS) und skalenfreie (SLS) kleinste Quadrate
- asymptotisch verteilungsfreie Schätzer (ADF)
- Bootstrapping

Natürlich können auch Daten aus mehreren Populationen simultan analysiert werden.

Amos bietet etliche Hilfsmittel zur Modellsuche, so dass die traditionell eher für *konfirmatorische* Forschungsbemühungen konzipierte Strukturgleichungsmethodologie nun auch in ausgeprägt explorativer Manier zu nutzen ist (z.B. für eine explorative Faktorenanalyse).

Bei aller Methodenvielfalt bemüht sich Amos um Bedienungsfreundlichkeit, wozu nicht zuletzt die Modellspezifikation durch den Aufbau eines Pfaddiagramms (siehe oben) beiträgt. Dank exzellenter Gestaltungsmöglichkeiten taugen Amos-Pfaddiagramme nicht nur zur Modellspezifikation, sondern machen auch in Publikationen eine gute Figur.

Amos wird zwar von der Firma SPSS vertrieben, ist aber ein eigenständig (Windows-) Programm, das selbstverständlich SPSS-Datendateien (Extension: **.sav**) problemlos verarbeiten kann.

Das Programm bietet neben seiner grafikorientierten Benutzeroberfläche auch eine perfekte Unterstützung der .NET - Plattform, so dass Arbeitsabläufe mit .NET - Programmiersprachen wie VB.NET oder C# automatisiert werden können.

## 1.3 Hinweise zum Kurs

In diesem Kurs können nur Einzelaspekte der Strukturgleichungsmethodologie angesprochen werden. Eine ausführliche Behandlung finden Sie z.B. in Bollen (1989), Kline (2005) oder Loehlin (2004). Im Internet sind noch weitere (meist kürzer gehaltene) Darstellungen der Strukturgleichungstechnologie zu finden, z.B. die URT-Online-Dokumentation zum Strukturgleichungsanalyseprogramm LISREL 7 (Baltes-Götz 1994):

<http://www.uni-trier.de/urt/user/baltes/docs/lisrel/lisrel7.htm>

Der Kurs orientiert sich am sehr empfehlenswerten Handbuch zu Amos 16.0 (Arbuckle 2007), das mit dem Programm ausgeliefert wird und außerdem über die folgende Webseite frei verfügbar ist:

<http://amosdevelopment.com/download/>

Von den zahlreichen Themen, die in diesem Manuskript überhaupt nicht oder zu knapp behandelt werden, sind besonders zu erwähnen:

- FIML-Schätzung (*Full Information Maximum Likelihood*) bei fehlenden Werten
- Modellierung von Mittelwerten
- Modelle mit Interaktionen (siehe Baltes-Götz 2008)

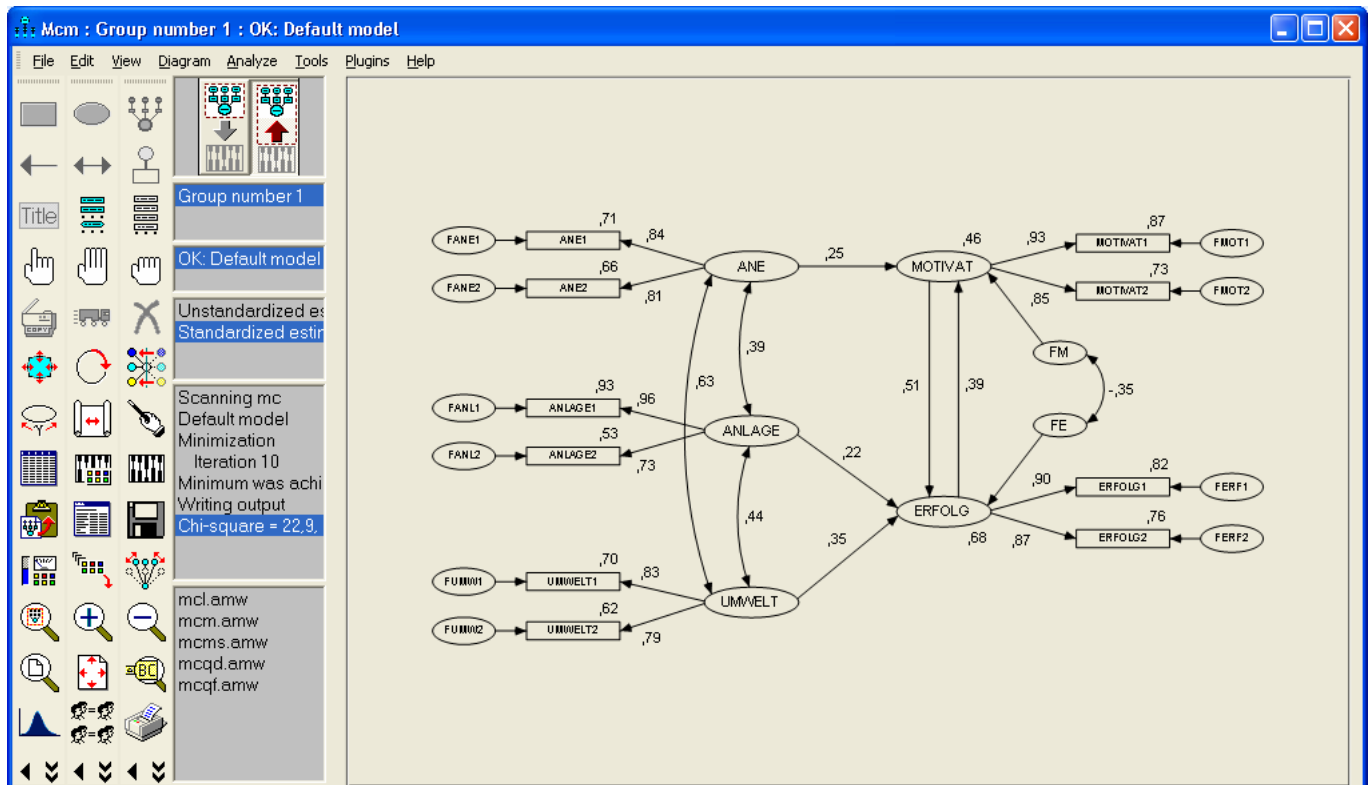
Die aktuelle Version des Manuskripts ist als PDF-Dokument zusammen mit allen im Kurs benutzten Dateien auf dem Webserver der Universität Trier von der Startseite (<http://www.uni-trier.de/>) ausgehend folgendermaßen zu finden:

[Rechenzentrum](#) > [Studierende](#) > [EDV-Dokumentationen](#) >  
[Statistik](#) > [Analyse von Strukturgleichungsmodellen mit Amos](#)

## 2 Aller Anfang ist leicht

Auf den URT-Pool-PCs startet man mit

**Start > Programme > SPSS vom NT-Server des URT > Amos > Amos 16.0 Graphics** die grafikorientierte Amos-Oberfläche. Diese bietet u.a. eine Zeichenfläche zur Aufnahme des Pfaddiagramms und (am linken Rand) drei nebeneinander gepackte streifenförmige Werkzeugpaletten:



Mit dem hier abgebildeten, recht komplexen, Modell werden wir uns erst später beschäftigen, wenn die technischen Aspekte der Amos-Bedienung geklärt sind.

Bei den ersten Übungsbeispielen kommen Daten aus einer Studie von Attig (1983) zum Einsatz<sup>1</sup>. Hier wurden vor und nach einem Gedächtnistraining bei 40 jungen Probanden drei Leistungsmaße erhoben:

- Erinnerungsleistung (**recall1** bzw. **recall2**)
- Erinnerungsleistung nach unterstützenden Hinweisen (**cued1** bzw. **cued2**)
- Erinnerung der richtigen Präsentationsreihenfolge (**place1** bzw. **place2**)

Außerdem wurden noch weitere Merkmale erfasst: Leistung in einem Vokabeltest, Alter, Geschlecht, Ausbildungsniveau.

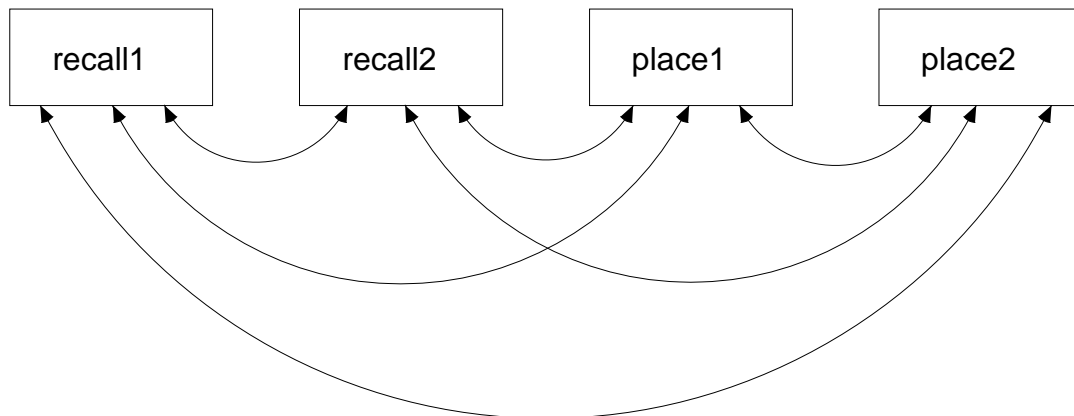
Zunächst sollen die Varianzen und Kovarianzen der Variablen **recall1**, **recall2**, **place1** und **place2** geschätzt werden.

<sup>1</sup> Wo die mit Amos ausgelieferten Beispieldaten zu finden sind, ist gleich zu erfahren. In Abschnitt 8 kommen bei einem Gruppenvergleich auch noch analoge Daten einer älteren Stichprobe ins Spiel.



## 2.1 Pfaddiagramm zeichnen

Wir wollen das folgende Pfaddiagramm zeichnen:




Zeichnen Sie zunächst vier Rechtecke für die zu untersuchenden manifesten Variablen auf die Amos-Zeichenfläche. Das erforderliche Werkzeug erhalten Sie mit

 oder **Diagram > Draw observed variables** oder **F3**

Am besten erzeugen Sie das erste Rechteck, korrigieren dann nötigenfalls dessen Position mit

 oder **Edit > Move** oder **Strg+M**

und optimieren die Form (Seitenlängen) mit

 oder **Edit > Shape of Object**

Nun können Sie nach:

 oder **Edit > Duplicate**

mit Klicken & Ziehen drei Kopien des Rechtecks anfertigen. Wenn Sie dabei die  $\uparrow$ -Taste gedrückt halten, wird (in Abhängigkeit von der anfänglichen Bewegungsrichtung) die horizontale oder die vertikale Koordinate beibehalten. So lassen sich z.B. leicht vier identische Rechtecke erzeugen, die exakt auf gleicher Höhe liegen.

Kehren Sie in Denk- und Ruhephasen zur Vermeidung unerwünschter Mauseffekte mit

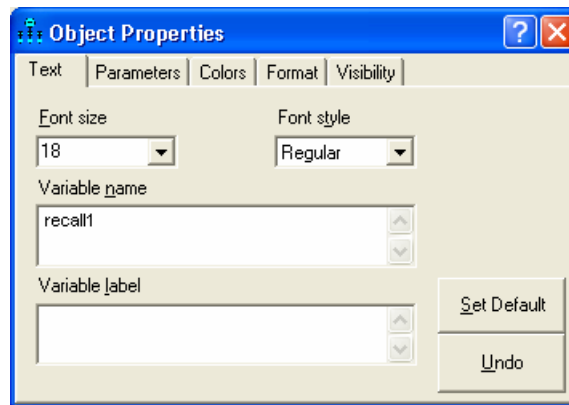
 oder **Edit > Select** oder **F2**


zum neutralen Markierungswerkzeug zurück. Selbstverständlich können Sie Missgriffe mit

 oder **Edit > Undo** oder **Strg+Z**

rückgängig machen (auch mehrstufig).

Wir verknüpfen nun jedes Rechteck mit einer manifesten Variablen, indem wir deren Namen in der **Object Properties** - Dialogbox eintragen, die via Kontextmenü-Eintrag geöffnet wird, z.B.:



Ein Variablenname darf in Amos nahezu beliebig lang sein, wobei ein großer Zeichenvorrat zur Verfügung steht (inklusive Umlauten, Leerzeichen und Zeilenwechsel). Momentan vereinbaren wir Namen für *beobachtete* Variablen, die aus einer Datei importiert werden müssen. An die dort vorhandenen Variablennamen, die z.B. im Fall von SPSS-Datendateien strengeren Regeln unterliegen, müssen wir uns natürlich halten. Wenn dabei ein unschöner Name akzeptiert werden muss, kann dieser in Amos durch ein **Variable label** ergänzt werden, das zumindest im Pfaddiagramm an Stelle des Namens angezeigt wird. Markieren Sie bei geöffneter **Object Properties** - Dialogbox nacheinander die übrigen Rechtecke, um auch diese mit Variablennamen (und bei Bedarf auch mit **Variable labels**) zu versorgen. Beenden Sie schließlich die **Object Properties** - Dialogbox über deren Schließfeld  am rechten Rand der Titelzeile.




Momentan beschreibt unser Pfaddiagramm *unkorrelierte* Variablen:



Weil unser Modell aber Kovarianzen erlaubt, müssen wir diese als Doppelpfeile in das Pfaddiagramm eintragen. Das erforderliche Werkzeug erhalten Sie mit:

 oder **Diagram > Draw Covariance** oder **F6**

**Tipps:**

- Um einen *unteren* Bogen zu erhalten, müssen Sie von *rechts nach links* zeichnen.
- Mit dem  -Werkzeug können Sie die Biegung der Pfeile beeinflussen.
- Mit dem  -Werkzeug können Sie die Pfeilspitzen verschieben.
- Wenn Sie mit dem Zauberstab  auf das Symbol einer Variablen klicken, werden alle Verbindungspunkte normiert, was in der Regel zu einem attraktiven Ergebnis führt.

Nun sollte Ihr Pfaddiagramm ungefähr die eingangs angegebene Gestalt haben.

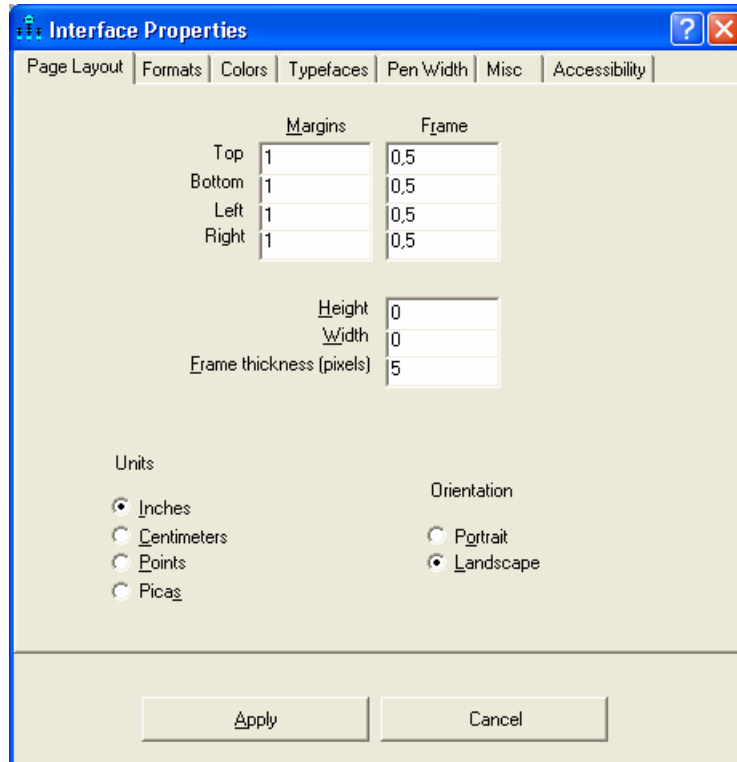
## 2.2 Allgemeine Bedienungsmerkmale

### 2.2.1 Format der Zeichenfläche ändern und Pfaddiagramm neu einpassen

Amos startet mit einem portrait-orientierten Layout unter Verwendung der aktuellen Seitengröße des Standarddruckers. Nach

#### View > Interface Properties

sind auf dem Registerblatt **Page Layout** der Dialogbox **Interface Properties**



alternative Einstellungen möglich, z.B.:

- **Landscape**-Orientierung statt Portrait
- Individuelle Seitengröße

Mit der vorgegebenen Einstellung (**Height** = 0, **Width** = 0) wird die Seitengröße des eingestellten Druckers übernommen. Als maximale Werte akzeptiert Amos jeweils 14 (unabhängig von der Maßeinheit), so dass maximal eine Zeichenfläche von  $35,56 \times 35,56 \text{ cm}^2$  möglich ist ( $14 \times 14$  bei Verwendung der Maßeinheit **Inches**).

Weitere Optionen auf dem Registerblatt **Page Layout**:

- Frei bleibender Rand um die Zeichnung (**Margins**)
- Rahmen auf der Zeichenfläche, wobei Randabstand (**Frame**) und Dicke (**Frame thickness**) festgelegt werden können  
In obiger Dialogbox wird ein Rahmen mit 0,5 Zoll Randabstand und 5 Pixel Dicke eingezeichnet.

Beim Verlassen der Dialogbox per Schließkreuz  werden vorgenommene Änderungen übernommen. Eine mit dem Schalter **Cancel** beendete Dialogbox bleibt hingegen ohne Effekte.

Nach der Änderung des Seitenformats, der Seitenorientierung oder der Ränder kann man das Pfaddiagramm mit



oder **Edit > Fit to Page** oder **Strg+F**

neu einpassen lassen.

### 2.2.2 Objekte markieren

Sie haben folgende Möglichkeiten, Objekte auf der Zeichenfläche für die weitere Bearbeitung zu markieren:

- Einzelne Objekte kumulierend markieren  
Schalten Sie mit



oder **Edit > Select** oder **F2**

den Markierungsmodus ein, und klicken Sie nacheinander auf die gewünschten Objekte. Eine vorhandene Markierung wird durch einen erneuten Mausklick aufgehoben.

- Alle Objekte markieren



oder **Edit > Select All**

- Alle Markierungen aufheben



oder **Edit > Deselect All**

### 2.2.3 Objekte löschen

Mit



oder **Edit > Erase** oder **Entf**

wird der Mauszeiger zum Stornierungswerkzeug, das jedes angeklickte Objekt entfernt.

### 2.2.4 Bearbeitungsschritte rückgängig machen

Mit



oder **Edit > Undo** oder **Strg+Z**

können Sie bis zu vier Bearbeitungsschritte rückgängig machen. Mit

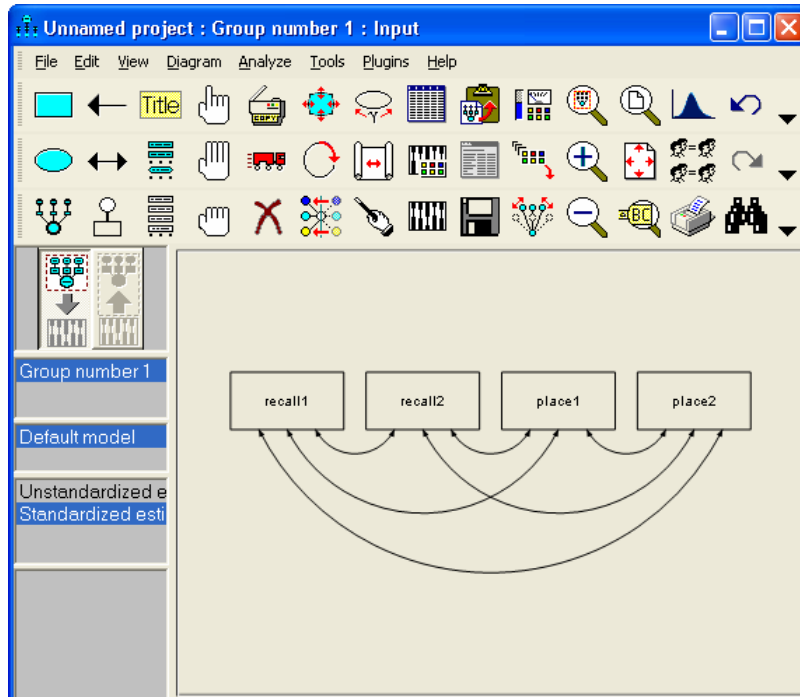


oder **Edit > Redo** oder **Strg+Y**

können Sie die zuletzt zurückgenommenen Bearbeitungsschritte wiederherstellen.

### 2.2.5 Werkzeugpaletten verwenden

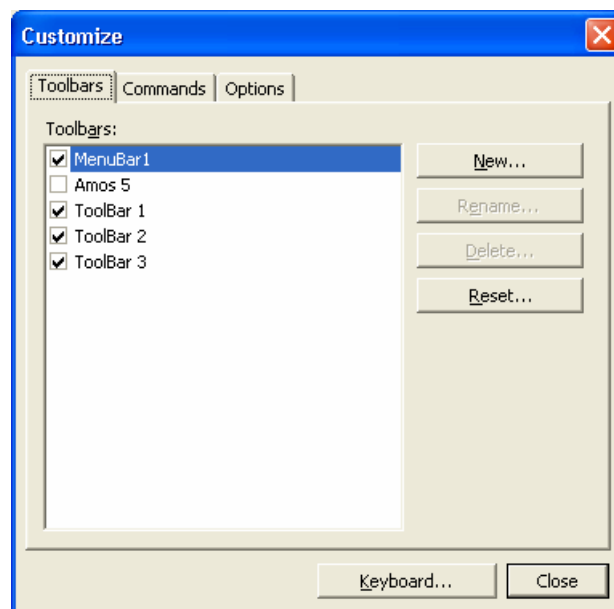
Man kann die Werkzeugpaletten (und auch die Menüzeile) per Maus am geriffelten Rand anpacken und an einer beliebigen Seite des Amos-Fensters anheften, z.B.:



Nach

### Tools > Customize

sind mit folgender Dialogbox



etliche Anpassungen der Benutzeroberfläche möglich, z.B.:

- Werkzeugleisten aus- oder einschalten
- Werkzeugleisten erstellen oder löschen
- Die Bestückung von Werkzeugleisten ändern

Dazu wählt man auf der Registerkarte **Commands** eine geeignete Kategorie und transportiert per Maus (Ziehen & Ablegen) die Symbole der gewünschten Kommandos auf die gewünschte

Werkzeuggeste. Einige recht nützliche Werkzeuge (z.B. zum gleichmäßigen Verteilen markierter Objekte) sind per Voreinstellung auf den Standardleisten *nicht* vertreten und können hier nachgerüstet werden:



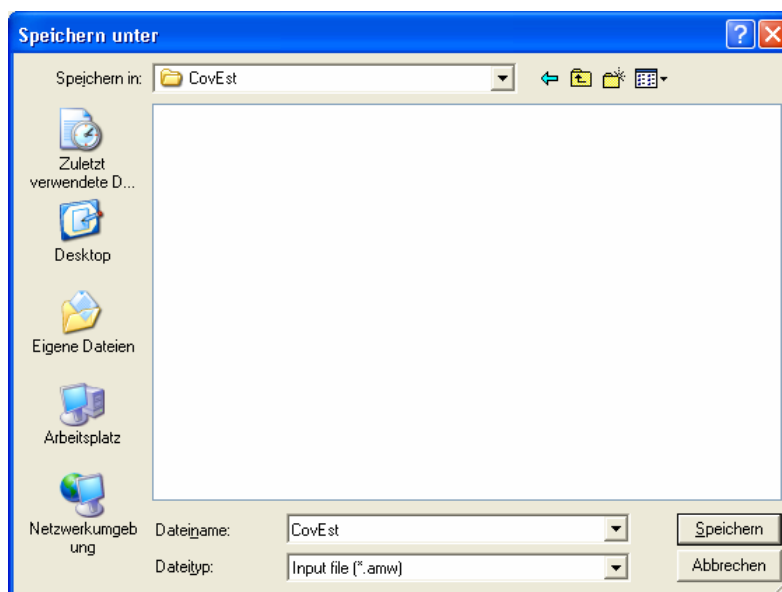
- Eine frei schwebende (nicht dockfähige) Symbolleiste mit den Werkzeugen von **Amos 5** anfordern
- Den Ausgangszustand per **Reset** wiederherstellen

### 2.2.6 Speichern, Sicherheitskopien

Beim Speichern des Pfaddiagramms mit

**File > Save (As)** oder **Strg+S**

wird eine **Projektdatei** mit der Extension **.amw** angelegt bzw. aktualisiert, z.B.:

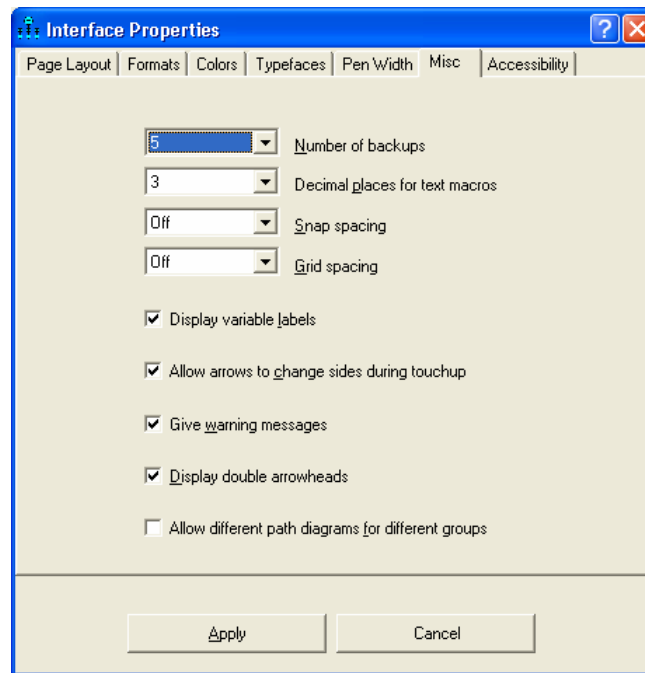


Während der Arbeit an einem Projekt entstehen noch weitere Dateien, die bei Gelegenheit vorgestellt werden. Alle Dateien zu einem Pfaddiagramm bzw. Modell haben denselben Namensstamm, in unserem Beispiel also **CovEst**. Diese Bezeichnung eignet sich auch für den Ordner, den man der Übersichtlichkeit halber für jedes Projekt anlegen sollte.

Amos pflegt Sicherheitskopien mit älteren Versionen der Projektdatei, wobei deren Anzahl (Voreinstellung = 2) über

**View > Interface Properties > Misc**

eingestellt werden kann, z.B.:



In unserem Beispiel heißen die Sicherheitskopien **CovEst.bk1**, **CovEst.bk2**, usw.

### 2.2.7 Pfaddiagramme in andere Anwendungen übertragen

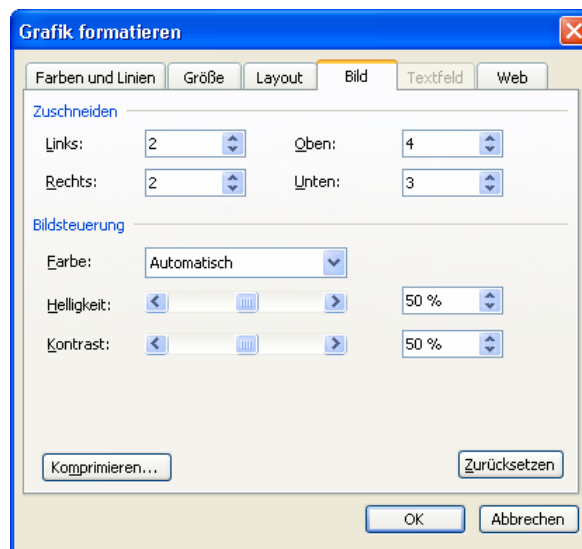
Sie können ein Amos-Pfaddiagramm ganz einfach über die Windows-Zwischenablage in andere Anwendungen übertragen, z.B. in Microsoft Word©

in Amos: **Edit > Copy (to clipboard)** oder **Strg+C**

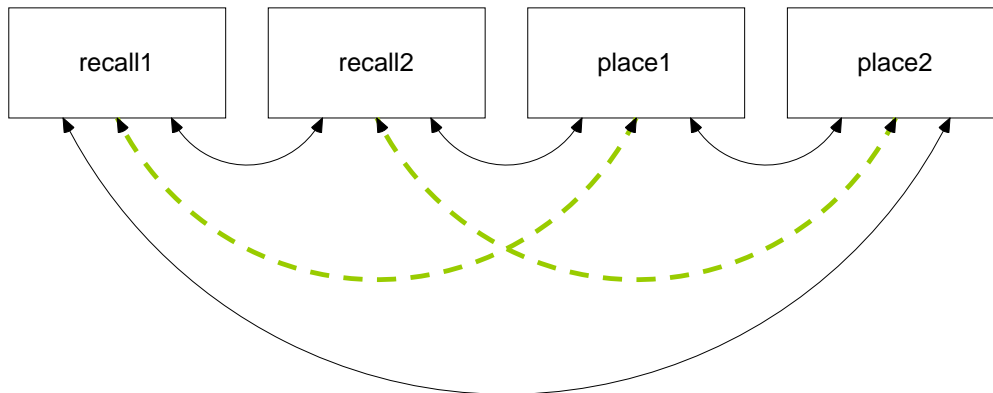
in Word: **Bearbeiten > Einfügen** oder **Strg+V**

Auf diese Weise sind die obigen Pfaddiagramme in das vorliegende Manuskript gelangt.

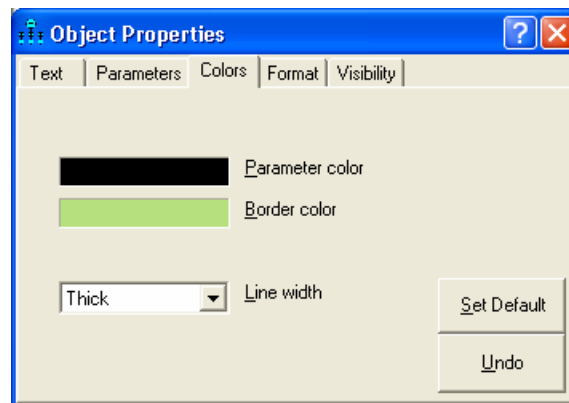
Da Amos stets ein komplettes und oft nur mäßig gefülltes „Blatt“ überträgt, müssen Sie im Zielprogramm die eingefügte Grafik eventuell *beschneiden*, in Word 2003 z.B. mit Hilfe der Dialogbox **Grafik formatieren** (zu öffnen über den Menübefehl **Format > Grafik** oder per Kontextmenü zur Grafik):



Um ein Pfaddiagramm in Microsoft Word zu *modifizieren*, wählt man aus seinem Kontextmenü die Option **Bild bearbeiten**. Durch Verschieben der Begrenzungslinien bietet sich hier eine weitere Möglichkeit, einen überdimensionierten Rand zu verkleinern. Im folgenden Beispiel erhielten die „synchronen“ Kovarianzpfleile (für gleichzeitig beobachtete Merkmale) eine Hervorhebung durch Linientyp, -stärke und -farbe:



Übrigens bietet auch Amos (über die **Object Properties** – Dialoge) etliche Möglichkeiten zur optischen Gestaltung von Pfaddiagrammelementen (z.B. Farbe, Linienstärke):



### 2.3 Daten einlesen

Um unser Modell schätzen zu können, benötigt Amos natürlich noch Daten. Es werden zahlreiche Dateiformate unterstützt:

- dBase
- Microsoft Excel
- Microsoft Foxpro
- Lotus
- Microsoft Access
- SPSS
- Textdateien

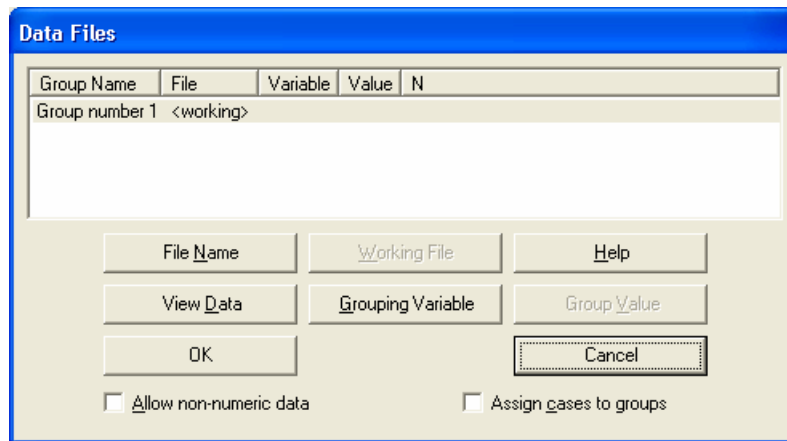
Wir wollen die zum ersten Beispiel gehörigen Daten aus der SPSS-Datei **Attg\_yng.sav** laden, die sich im **Examples**-Unterverzeichnis zum Amos – Programmordner befindet. Nach



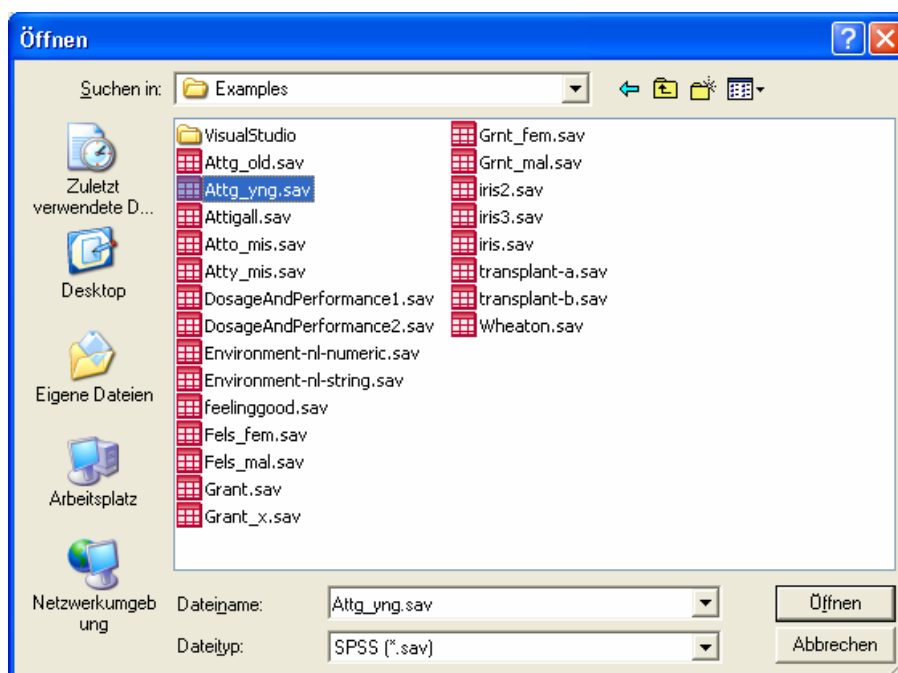
oder **File > Data Files** oder **Strg+D**

erscheint die Dialogbox **Data Files**:





Deren Schalter **File Name** öffnet schließlich den Standarddialog zur Dateiauswahl (hier unter Windows XP):



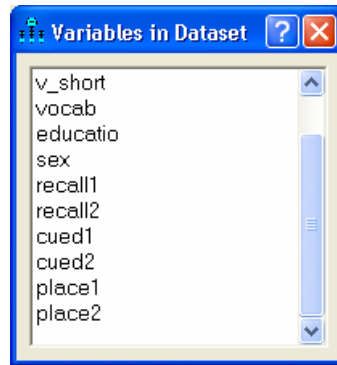
Nach erfolgreicher Dateizuordnung erlaubt die **Data Files** - Dialogbox mit dem Schalter **View Data** einen Blick auf die Daten, wobei in unserem Fall die Anzeige von SPSS selbst übernommen wird (, falls das Programm auf dem aktuellen Rechner installiert ist).

Wir schließen die **Data Files** – Dialogbox mit **OK** und besorgen uns dann mit



oder **View > Variables in Dataset** oder **Strg+⇧+D**

eine Liste mit den Variablen der geöffneten Datendatei:



Jetzt ist es möglich, im Pfaddiagramm ein Rechteck zu benennen, indem man aus der Liste einen Variablennamen per Maus packt und auf dieses Rechteck zieht. Wir hätten also durch frühzeitiges Zuordnen der Datendatei lästige Tipparbeit vermeiden können (siehe Abschnitt 2.1).

## 2.4 Modellparameter schätzen

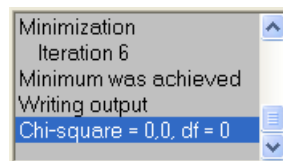
Lassen Sie mit



oder **Analyze > Calculate Estimates** oder **Strg+F9**

die Modellparameter schätzen. Falls bislang noch keine Projektdatei angelegt worden ist, fordert Amos nun dazu auf.

Während der (in unserem Beispiel nur sehr kurzen) Rechenzeit werden wir über den Bearbeitungsfortschritt informiert.



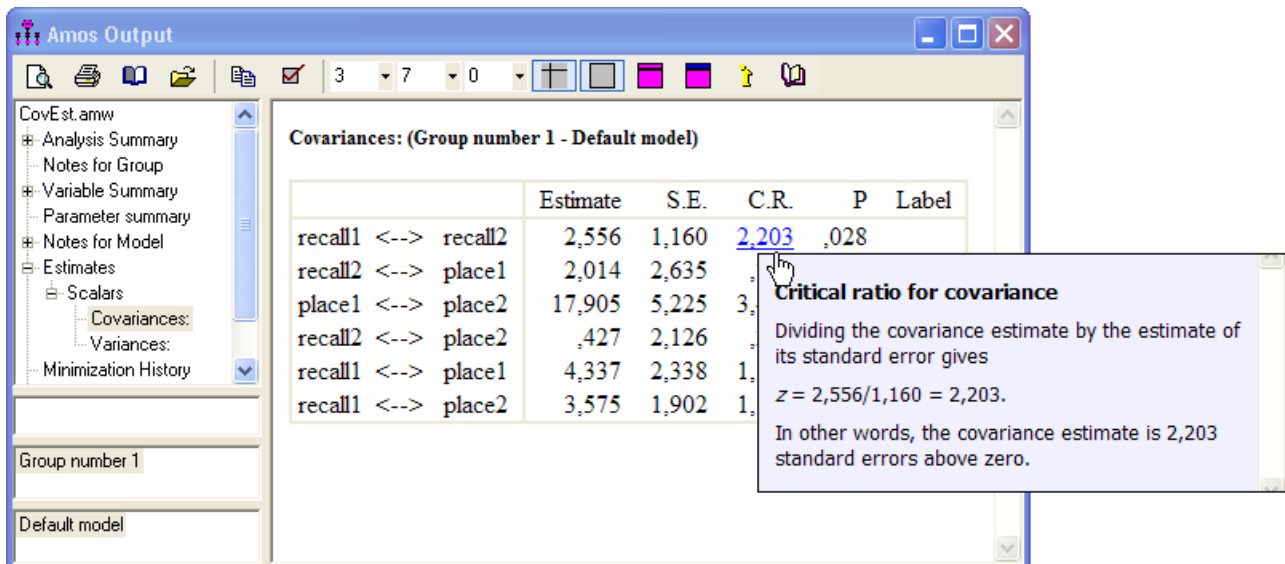
### 2.4.1 Textergebnisse

Amos erzeugt eine Ergebnisdatei mit der Namensweiterung **AmosOutput**, die nach




oder **View > Text Output** oder **F10**

von einem Hilfsprogramm angezeigt wird:









Sie besteht aus mehreren Tabellen, die bequem per Navigationszone zu erreichen sind. Zu vielen Tabellenbestandteilen können per Mausklick ausführliche Erläuterungen abgerufen werden (siehe Beispiel).

Eine per Mausklick markierte und daraufhin mit einem dünnen Extrarahmen versehene Tabelle kann über den Symbolschalter  oder die Tastenkombination **Strg+C** in die Windows-Zwischenablage befördert und anschließend von dort in eine andere Anwendung übernommen werden, z.B.:

			Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
recall1	<-->	recall2	2,556	1,160	2,203	,028
recall2	<-->	place1	2,014	2,635	,764	,445
place1	<-->	place2	17,905	5,225	3,427	***
recall2	<-->	place2	,427	2,126	,201	,841
recall1	<-->	place1	4,337	2,338	1,855	,064
recall1	<-->	place2	3,575	1,902	1,880	,060

In der Zielanwendung, z.B. Microsoft Word© lässt sich die Tabelle beliebig formatieren bzw. modifizieren.

Das Anzeigeprogramm für Textausgaben bietet noch weitere Bedienungsmöglichkeiten:

-  Anzahl der Dezimalstellen wählen
-  Breite der Spalten einstellen
-  Gitterlinien aus- bzw. einschalten
-  Rahmen aus- bzw. einschalten
-  Hintergrundfarbe für die Tabelle wählen
-  Hintergrundfarbe für die Kopfzeile der Tabelle wählen

Man kann das Anzeigeprogramm auch per Amos-Programmменю (mit **Text Output**) oder per Doppelklick auf eine **AmosOutput**-Datei starten.

## 2.4.2 Erste Ergebnisinterpretationen

Im Abschnitt **Notes for Model > Result** der Ergebnisdatei wird mit dem Eintrag

### Minimum was achieved

signalisiert, dass die iterative Parameterschätzung gelungen ist.

Dem Abschnitt **Estimates** ist u.a. zu entnehmen, dass Amos per Voreinstellung bei der Schätzung nach dem **Maximum Likelihood (ML) - Prinzip** arbeitet. Wie oben erwähnt, unterstützt Amos auch einige alternative Schätzmethoden (wählbar über **View > Analysis Properties > Estimation**), doch erweist sich die voreingestellte ML-Methode als recht leistungsfähig, auch bei einer Verletzung ihrer Voraussetzungen, mit denen wir uns in Abschnitt 3.1 beschäftigen werden. Daher werden wir in diesem Kurs ausschließlich mit der ML-Schätzmethode arbeiten.

In der Tabelle mit den Kovarianz-Schätzergebnissen (siehe oben) wird zu jedem Schätzwert in der Spalte **S.E.** sein approximativer Standardfehler angegeben, der unter gewissen Voraussetzungen (siehe Abschnitt 3.1) die Konstruktion eines approximativen **Vertrauensintervalls** erlaubt. Für die Kovarianz von **recall1** und **recall2** erhalten wir z.B. unter Verwendung des 97,5%-Fraktils der Standardnormalverteilung ( $\approx 1,96$ ) das folgende approximative 95%-Vertrauensintervall:

$$2,556 \pm 1,96 \cdot 1,16 = 2,556 \pm 2,274$$

Die mit **C.R.** (für *critical ratio*) überschriebene Spalte enthält für jeden Schätzwert den folgenden Quotienten:

$$\frac{\text{Schätzwert}}{\text{Standardfehler}}$$

Mit Hilfe dieses Quotienten lässt sich unter den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Verteilungsvoraussetzungen z.B. das folgende (zweiseitige) Testproblem lösen:

$$H_0: \text{Kov}(\text{recall1}, \text{recall2}) = 0 \quad \text{versus} \quad H_1: \text{Kov}(\text{recall1}, \text{recall2}) \neq 0$$

Bei Gültigkeit der  $H_0$  ist der angegebene Quotient eine approximativ, d.h. für  $N \rightarrow \infty$ , standardnormalverteilte Zufallsvariable, so dass man bei folgender Entscheidungsregel approximativ einen Test zum Niveau  $\alpha = 0,05$  erhält:

$$\text{Entscheidung für} \begin{cases} H_0 & \text{falls } \left| \frac{\text{Schätzwert}}{\text{Standardfehler}} \right| \leq 1,96 \\ H_1 & \text{sonst} \end{cases}$$

In unserem Beispiel entscheiden wir uns also für die  $H_1$  (C.R. = 2,203).


Um die Testentscheidung durchzuführen, muss man nicht unbedingt den kritischen Wert für die CR-Statistik kennen, da Amos unter dem Spaltentitel **P** auch die empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten für den zweiseitigen Test mitteilt. Die zugehörige Variante der Entscheidungsregel des Tests zum Niveau  $\alpha = 0,05$  lautet:

$$\text{Entscheidung für} \begin{cases} H_0 & \text{falls } P \geq 0,05 \\ H_1 & \text{sonst} \end{cases}$$

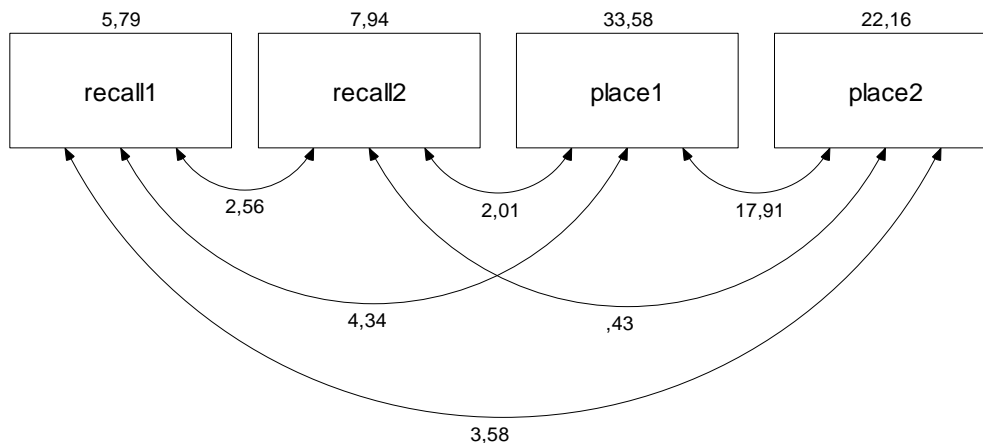
Im Beispiel erhalten wir  $p = 0,028$  und kommen natürlich zur selben Entscheidung wie beim Vergleich der CR-Statistik mit dem kritischen Wert 1,96.

Zum eben behandelten *approximativen* Test existiert mit dem t-Test für Korrelationen eine *exakte* Alternative, die im Beispiel bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $p = 0,016$  zur selben Entscheidung kommt. Beide Tests benötigen die bivariate Normalverteilung der Variablen, und der t-Test ist speziell bei kleinen Stichproben ( $N < 100$ ) zu bevorzugen, weil seine Gültigkeit *nicht* von der Stichprobengröße abhängt. In weniger trivialen Fällen gibt es zum approximativen Amos-Test jedoch *keine* exakte Alternative.

### 2.4.3 Das Ausgabe-Pfaddiagramm

Amos kann seine Schätzergebnisse nicht nur in Tabellenform präsentieren, sondern auch in das Pfaddiagramm eintragen. Dazu ist nach erfolgreicher Modellschätzung der Schalter  einzurasten.

Im Beispiel sieht das komplettierte Pfaddiagramm so aus:




Wer im selbst erstellten Pfaddiagramm die Varianzschätzer ebenso zentriert sehen möchte wie die Exemplare in obiger Abbildung, muss eventuell nach




oder **Edit > Move Parameter**

das zuständige Werkzeug verwenden:

- Bei hinreichender Nähe zum Mauszeiger wird eine Variable rot angezeigt.
- Dann kann die Parameterposition durch Mausbewegungen bei gedrückter linker Maustaste verändert werden.
- Analog lassen sich auch die übrigen Parameter in einem Amos-Pfaddiagramm verschieben.
- Sind mehrere Variablen (oder auch sonstige „Parameterträger“) markiert, gelingt die synchrone Veränderung der Parameterpositionen.

Bei Anzeige eines Ausgabe-Pfaddiagramms (mit Parameterschätzungen) sind einige Werkzeuge zur Modifikation des Pfaddiagramms *nicht* verfügbar (z.B. ). Um diese Werkzeuge wieder nutzen zu können,

muss man erst den Schalter  für den Modellspezifikationsmodus einrasten.

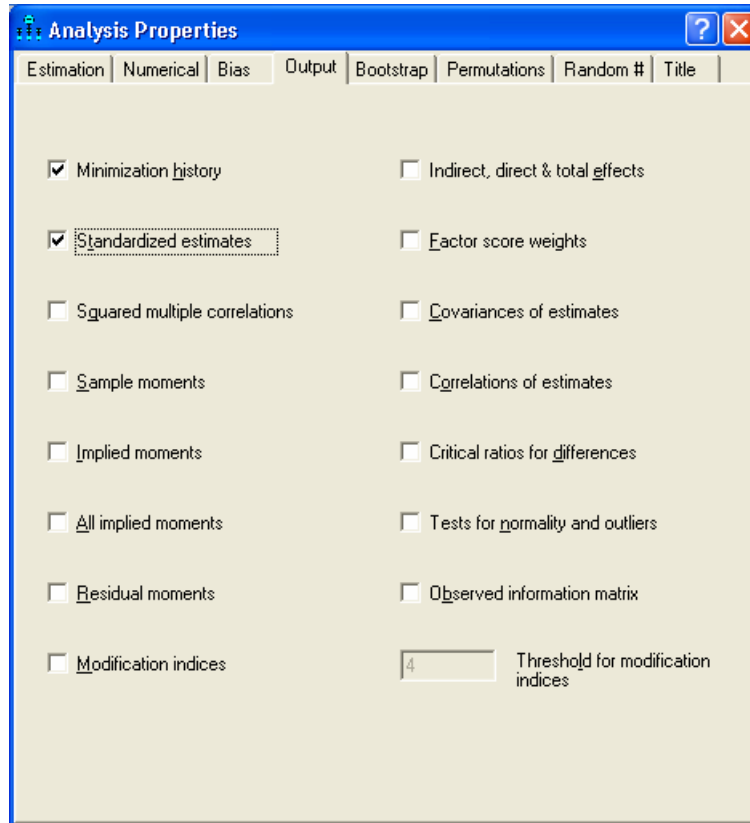
## 2.5 Optionale Ausgaben

Nach



oder **View > Analysis Properties > Output**

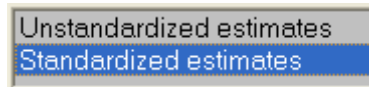
können in der folgenden Dialogbox



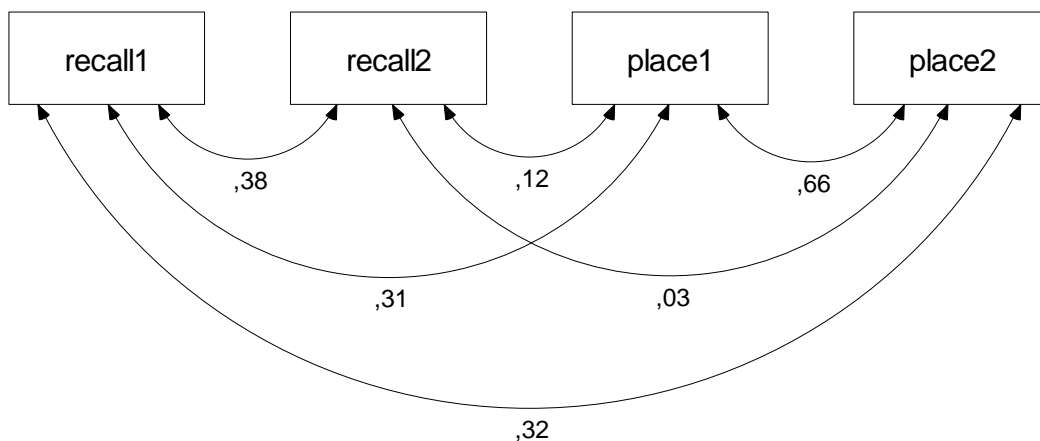
noch zahlreiche weitere Ergebnisse angefordert werden, z.B.:

### Standardized estimates

War diese Option bei der Schätzung aktiv, zeigt das Ausgabe-Pfaddiagramm nach dem Markieren der zugehörigen Option:



*standardisierte* Ergebnisse (z.B. Korrelationen statt Kovarianzen):



## Sample moments

Man erhält die Kovarianzmatrix und die Korrelationsmatrix der manifesten Variablen. Nach entsprechender Anforderung über das Kontrollkästchen **Means and intercepts** auf der Registerkarte **Estimates** der Dialogbox **Analysis Properties** liefert Amos auch die Mittelwerte der manifesten Variablen. Im Beispiel resultiert u.a. die folgende Tabelle mit den schon aus dem Pfaddiagramm bekannten Kovarianzen:

	place2	place1	recall2	recall1
place2	22,160			
place1	17,905	33,578		
recall2	,427	2,014	7,944	
recall1	3,575	4,338	2,556	5,788

## Implied moments

Man erhält eine Matrix mit den vom Modell implizierten Momenten, im Standardfall also mit implizierten Varianzen und Kovarianzen. Diese implizierten Varianzen und Kovarianzen unterscheiden sich i.a. von den beobachteten, sobald ein Modell Restriktionen enthält (siehe unten). In unserem trivialen Beispiel ohne Restriktionen gibt es allerdings (von Rundungsfehlern abgesehen) keine Unterschiede.


Weitere Ausgabeoptionen werden bei Gelegenheit besprochen.

## 2.6 Amos in .NET - Programmen verwenden

Amos stellt sein gesamtes Leistungsspektrum über ein Objektmodell zur Verfügung, das in .NET - Programmiersprachen angesprochen werden kann. Es ist wohl im Wesentlichen an die beiden folgenden Einsatzzwecke gedacht:

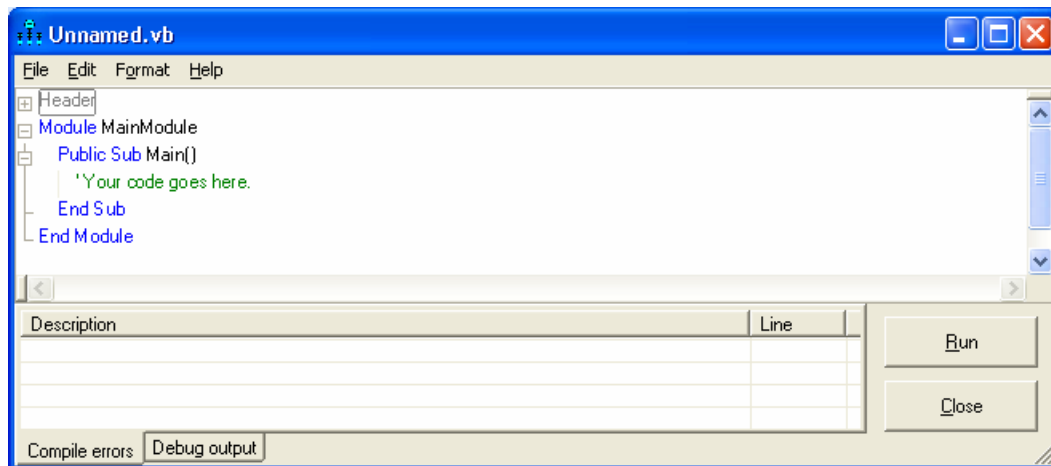
- Modellierung über *Gleichungen* an Stelle der graphischen Elemente (Rechtecke, Pfeile etc.) Dazu dient die Klasse **AmosEngine**, die wir gleich benutzen werden. Programme mit wesentlicher Beteiligung dieser Klasse werden wir später als **AmosEngine-Programme** bezeichnen.
- Automatisierung von Routinearbeiten mit der graphikorientierten Benutzerschnittstelle Dazu dient z.B. die Klasse **PathDiagrammer**, die in vielen vorgefertigten Plugins verwendet wird. So steht z.B. in Amos Graphics über

### Plugins > Draw Covariances

eine Erweiterung bereit, die zu allen markierten exogenen Variablen die möglichen Kovarianzpfleile zeichnet und anschließend gleich das -Werkzeug für die meist erforderlichen Nachbesserungen aktiviert. Wir werden uns in diesem Kurs *nicht* damit beschäftigen, Plugins zum Automatisieren von Amos Graphics zu entwickeln.

Weil Amos 16 auf dem .NET-Framework basiert, kann jede .NET - Programmiersprache (z.B. VB.NET oder C#) zur Automatisierung verwendet werden. Das Potential der Amos-Klassen ist im ca. 800 Seiten starken PDF-Dokument **Programming Reference** beschrieben, das im **Documentation**-Unterordner einer Amos-Installation zu finden ist. Wer noch keine Erfahrung mit objektorientierter Programmierung hat, muss mit einigem Lernaufwand rechnen (siehe z.B. Baltes-Götz 2007) und sollte vielleicht besser bei der intuitiv bedienbaren Oberfläche von Amos Graphics bleiben.

Amos 16.0 enthält eine kleine Entwicklungsumgebung, die über den Eintrag **Program Editor** in der Amos-Programmgruppe zu starten ist:



Alternativ kann man auch ein Standardwerkzeug wie Microsofts Visual Studio verwenden.

Wir wollen ein Programm in VB.NET (Visual Basic .NET) erstellen, das die Parameterschätzung in **CoVEst** – Projekt automatisch ausführt. Nach dem Start der Entwicklungsumgebung ist bereits ein Programmrumpf vorhanden (siehe oben).

Wir ersetzen in der Methode **Main()** den Kommentar *Your code goes here* durch die folgende **Dim**-Anweisung, welche die Objektvariable **Sem** aus der Klasse **AmosEngine** deklariert:

**Dim Sem As New AmosEngine**

Das Objekt **Sem** steht für ein Strukturgleichungsmodell und besitzt zahlreiche Methoden, um seine Eigenschaften zu spezifizieren oder seine Leistungen abzurufen. Aufgrund günstig gewählter Voreinstellungen sind für unser Beispiel nur die in folgender Tabelle erläuterten Methodenaufrufe erforderlich:

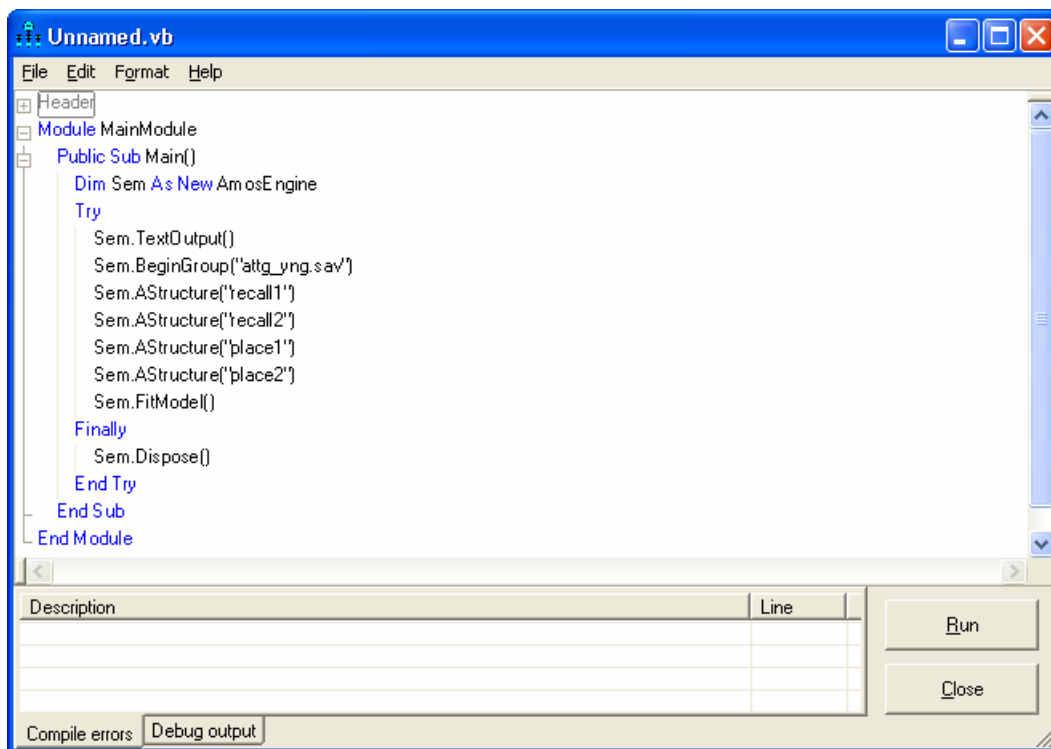
Sem.TextOutput()	Ein erfolgreicher Programmlauf erzeugt die Ergebnisdatei <b>AmosScratch.AmosOutput</b> in einem Ordner für temporäre Dateien (z.B. <b>C:\Dokumente und Einstellungen\baltes\Lokale Einstellungen\Temp\AmosTemp</b> ). Durch Aufrufen seiner Methode <b>TextOutput()</b> teilen wir dem Objekt <b>Sem</b> mit, dass die Ausgabe automatisch vom zuständigen Hilfsprogramm geöffnet werden soll.
Sem.BeginGroup("attg_yng.sav")	Die Methode <b>BeginGroup()</b> leitet die Modellspezifikation für die erste (und hier auch einzige Gruppe) ein und nimmt den Namen der Eingabedatei entgegen. Dem Dateinamen müssen Sie eventuell noch eine Pfadangabe voranstellen.
Sem.AStructure("recall1") Sem.AStructure("recall2") Sem.AStructure("place1") Sem.AStructure("place2")	Mit der Methode <b>AStructure()</b> wird das Modell spezifiziert. Im Beispiel kann man sich auf die Deklaration der vier Variablen beschränken, weil die zugehörigen Kovarianzen auch ohne explizite Angabe in das Modell einbezogen werden. Einträge nach dem Muster  Sem.AStructure("recall1 <--> recall1") sind also überflüssig. Hier besteht ein Unterschied zu Amos <i>Graphics</i> , das bei einem fehlenden Doppelpfeil davon ausgeht, dass Sie die zugehörige Kovarianz auf Null fixieren wollen.
Sem.FitModel()	Mit der Methode <b>FitModel()</b> wird Amos aufgefordert, die Modellparameter zu schätzen und die Ausgaben zu erstellen.

Aus programmiertechnischen Gründen müssen noch die beiden folgenden Bestandteile ergänzt werden:



<p>Sem.Dispose()</p>	<p>Die Methode <b>Dispose()</b> gibt alle mit dem <b>Sem</b>-Objekt verbundenen Ressourcen frei, beseitigt es also restlos. Dies ist wichtig, weil im Rahmen der Amos-Entwicklungsumgebung nur <i>ein AmosEngine</i>-Objekt existieren kann. Ohne die Aufräumaktion am Ende des Programms wäre kein zweiter Aufruf innerhalb derselben Instanz der Entwicklungsumgebung möglich.</p>
<pre>Try ... Finally   Sem.Dispose() End Try</pre>	<p>Diese Konstruktion sorgt dafür, dass die wichtige Methode <b>Dispose()</b> auch dann noch ausgeführt wird, wenn das Programm wegen eines Ausnahmefehlers bei einem Methodenaufruf zwischen <b>Try</b> und <b>Finally</b> abgebrochen werden muss.</p>

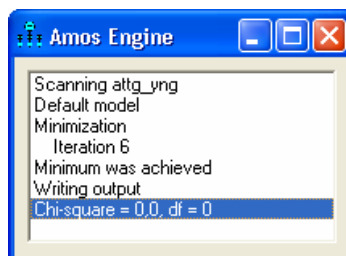
Wenn das fertige Programm



mit

### Run

gestartet wird, informiert Amos im folgendem Fenster über den Bearbeitungsfortschritt:



Wir erhalten dieselben Ergebnisbestandteile wie mit Amos Graphics:

**Covariances: (Group number 1 - Model 1)**

		Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
recall1	<--> recall2	2,556	1,160	2,203	,028	
recall1	<--> place1	4,337	2,338	1,855	,064	
recall2	<--> place1	2,014	2,635	,764	,445	
recall1	<--> place2	3,575	1,902	1,880	,060	
recall2	<--> place2	,427	2,126	,201	,841	
place1	<--> place2	17,905	5,225	3,427	***	

Beim Speichern eines VB.NET - Programms entsteht eine einfache Textdatei mit der voreingestellten Namensendung **vb**, die für spätere Zwecke leicht modifiziert oder erweitert werden kann.

Es ist übrigens *nicht* möglich, zu einer Modellspezifikation über einen simplen Methodenaufruf ein Pfaddiagramm erstellen zu lassen. Zwar kann man die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten von Amos Graphics auch per Programm nutzen, doch erwartet die zuständige Klasse **PathDiagrammer** dazu präzise Einzelanweisungen.

### 3 Modellgültigkeitstests

Unter Verwendung der Daten aus dem ersten Beispiel (Projekt **CovEst.amw**) wollen wir den  $\chi^2$ -Modelltest kennen lernen. Dies ist vielleicht die richtige Stelle, die Verteilungsvoraussetzungen von Amos-Modellen anzusprechen.

#### 3.1 Voraussetzungen für Strukturgleichungsanalysen

Hypothesentests, Vertrauensintervalle und Effizienzaussagen zu den **ML**- oder **GLS**-Schätzmethoden in Amos basieren auf folgenden **Verteilungsvoraussetzungen**:

- Die Beobachtungen müssen unabhängig voneinander sein.
- Die gemeinsame Verteilung aller manifesten Variablen muss gewisse Bedingungen erfüllen, die z.B. bei multivariater Normalität gegeben sind.
- Die Kovarianzmatrix der manifesten Variablen muss vollen Rang haben.

Ein wichtiges Thema bei Verfahren, die auf asymptotischer Statistik beruhen, ist die **minimal erforderliche Stichprobengröße**. In der Literatur (z.B. Backhaus et al. 2006, S. 370; Loehlin 1987, S. 60-61) werden folgende Empfehlungen genannt:

- Mindestens  $N \geq 100$ , besser  $N \geq 200$
- Mindestens  $N \geq 5 \cdot t$ , wobei  $t$  die Anzahl der zu schätzenden Parameter ist.
- Beim ADF-Schätzverfahren sind noch größere Stichproben erforderlich ( $m$ : Anzahl der manifesten Variablen):

$$\min(200; 1,5 \cdot m \cdot (m + 1))$$

Im dem seit Abschnitt 2 betrachteten Gedächtnisprojekt, das aus der Amos-Beispielsammlung stammt, sind leider nur 40 Fälle vorhanden.

Wenn **manifeste exogene** Variablen als **fixiert** betrachtet werden können, genügen schwächere Verteilungsvoraussetzungen: Fixierte Variablen dürfen keinen Messfehler enthalten (siehe Abschnitt 5.1), was z.B. bei der von einem Experimentator kontrollierten Gruppenzugehörigkeit erfüllt ist. Die Verteilung der fixierten Variablen ist irrelevant, und für die übrigen Variablen muss gelten (Arbuckle 1999, S. 37):

- Für jede Wertekombination der fixierten Variablen ist die bedingte gemeinsame Verteilung der „zufälligen“ Variablen multivariat normal.
- Die bedingten Varianz-Kovarianzmatrizen der Zufallsvariablen sind identisch für alle Wertekombinationen der fixierten Variablen.
- Die bedingten Erwartungswerte der Zufallsvariablen hängen linear von den Werten der fixierten Variablen ab.

Diese schwächeren Voraussetzungen sind identisch mit denjenigen der klassischen linearen Regressionsanalyse (vgl. Abschnitt 4).

#### 3.2 Projektdatei öffnen und sichern

Wenn Sie den Amos-Grafikmodus erneut starten, wird die zuletzt bearbeitete Projektdatei, in unserem Fall also **CovEst.amw**, automatisch geöffnet. Natürlich kann man ein vorhandenes Projekt mit **File > Open** auch explizit aufrufen.


Damit die Dateien zum ersten Beispiel im aktuellen Zustand erhalten bleiben, sichern wir das aktuelle Projekt mit **File > Save as** in die neue Projektdatei **Restrict.amw**.

### 3.3 Parameterrestriktionen formulieren

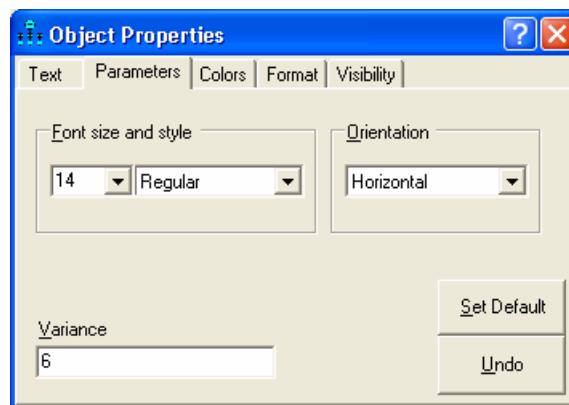
Amos und vergleichbare Programme erlauben eine flexible Modellformulierung mit Hilfe von Parameterrestriktionen:

- Parameter können auf feste Werte fixiert werden.  
Eine Fixierung auf den Wert Null lässt sich in Amos Graphics für viele Parameter durch Verzicht auf entsprechende Bestandteile im Modellspezifikations-Pfaddiagramm ausdrücken. Um z.B. eine Kovarianz auf Null zu setzen, lässt man den zugehörigen Doppelpfeil einfach weg.
- Zwei oder mehrere Parameter können auf einen identischen (schätzbaren) Wert gesetzt werden.

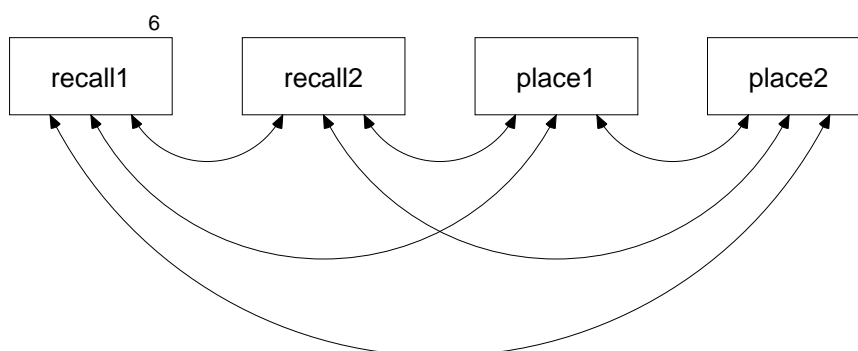
Wir werden in Abschnitt 3.5 mit dem  $\chi^2$ -Modellgültigkeitstest eine Möglichkeit kennen lernen, ein komplettes Modell mit allen darin enthaltenen Parameterrestriktionen zu prüfen.

Um in Amos Parameterrestriktionen zu formulieren, wechselt man nötigenfalls mit den Schalter  in

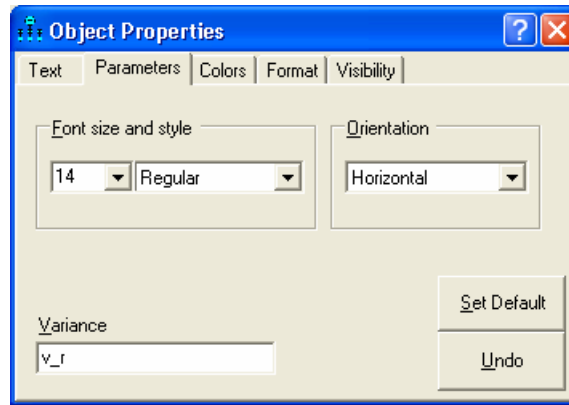
den Modellspezifikationsmodus und öffnet die Dialogbox **Object Properties** über das Kontextmenü zum betroffenen Objekt. Nun können auf der **Parameters**-Registerkarte die gewünschten Restriktionen eingetragen werden. Im folgenden Beispiel wird die Varianz der Variablen **recall1** auf den Wert 6 fixiert:



Amos zeigt die Werte der fixierten Parameter im Modellspezifikations-Pfaddiagramm an, z.B.:

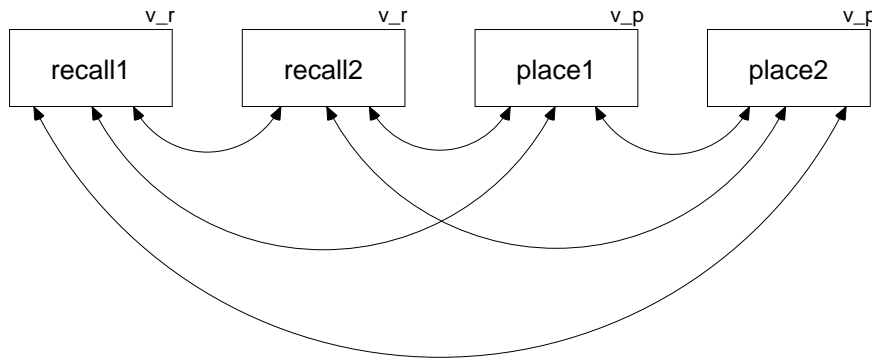


Um eine *Gleichheitsrestriktion* zu formulieren, trägt man für alle betroffenen Parameter eine gemeinsame symbolische Wertbezeichnung ein, z.B.:

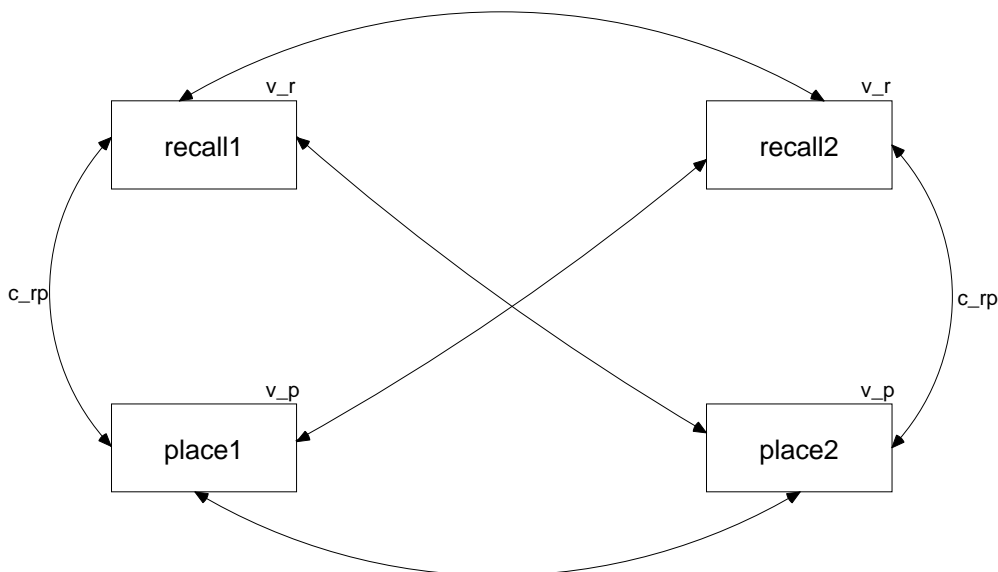


Die Bezeichnung ist weitgehend frei wählbar, sollte aber keine „syntaktisch bedeutsame“ Zeichen (z.B. Klammern) enthalten.

Nachdem auf diese Weise in unserem Beispiel die Varianzen der beiden **recall**-Variablen sowie die Varianzen der beiden **place**-Variablen gleich gesetzt wurden, sieht das Modellspezifikations-Pfaddiagramm folgendermaßen aus:




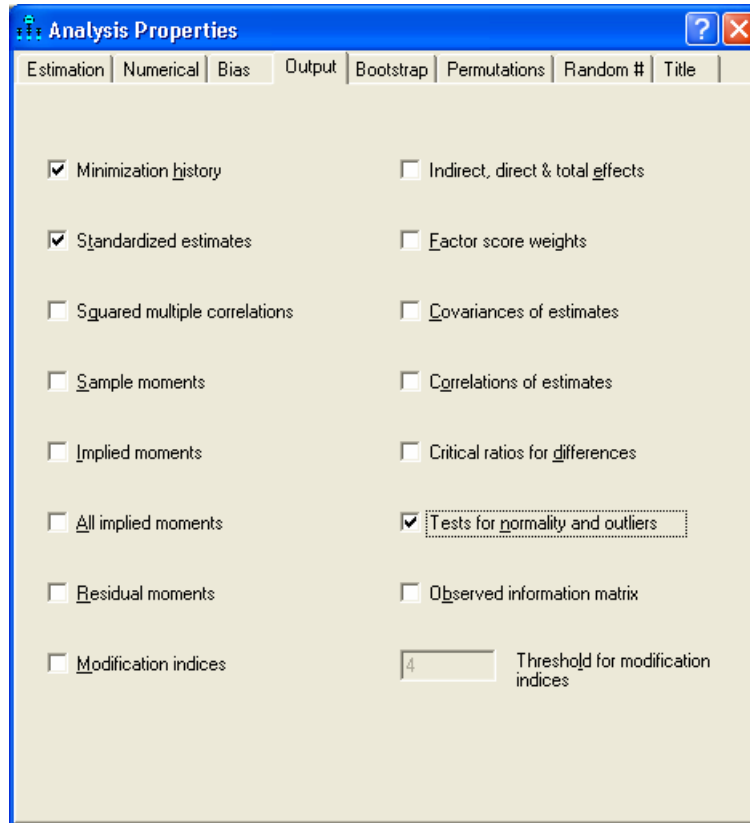
Auch für Kovarianzen können auf analoge Weise Restriktionen formuliert werden. Im folgenden Modell wurde die **recall1-place1** - Kovarianz mit der **recall2-place2** - Kovarianz gleich gesetzt:





Außerdem wurde das Pfaddiagramm mit den **Shape**- und **Move**-Werkzeugen umgestaltet (vgl. Abschnitt 2.1).

### 3.4 Prüfung der multivariaten Normalität

Nach Abschnitt 3.1 setzt der geplante  $\chi^2$ -Modellgültigkeitstest für das restriktive Modell zu den Gedächtnisdaten voraus, dass die vier Variablen (**recall1**, **recall2**, **place1**, **place2**) gemeinsam multivariat normalverteilt sind. Wir fordern (über  oder **View > Analysis Properties > Output**) in der folgenden Dialogbox entsprechende Tests an



und erhalten nach Anforderung der Schätzung (mit  oder **Analyse > Calculate Estimates** oder **Strg+F9**) in der Textausgabe (zu öffnen mit  oder **View > Text Output** oder **F10**) folgende Ergebnisse:

**Assessment of normality (Group number 1)**

Variable	min	max	skew	c.r.	kurtosis	c.r.
place1	20,000	47,000	-,395	-1,021	,041	,053
recall1	5,000	16,000	,082	,212	-,139	-,179
recall2	4,000	16,000	-,481	-1,242	-,175	-,226
place2	30,000	48,000	,108	,278	-,750	-,968
Multivariate					-1,287	-,588

Bei den univariaten Ergebnissen zeigen sich beim Vergleich den CR - Statistiken mit dem kritischen Wert 1,96 (= 97,5%-Fraktile der Standardnormalverteilung) keine signifikante Schiefe (**skew**) - oder Wölbungswerte (**kurtosis**). Auch die multivariate Wölbungsbeurteilung nach Mardia (1974) ist unauffällig. Allerdings sind die Testverfahren in der sehr kleinen Stichprobe ( $N = 40$ ) wenig sensibel gegenüber Abweichungen von der Normalitätsannahme.

Bei größeren Stichproben werden die (praktisch immer vorhandenen) Abweichungen von der multivariaten Normalität in der Regel aufgedeckt. Wie Arbuckle (2007) zu Recht feststellt, sind Signifikanztests weniger nützlich als Maße für den Abstand zur Normalverteilung und Kriterien zur Unterscheidung zwi-

schen harmlosen und ernsthaften Verletzungen der Verteilungsvoraussetzung. Aufgrund seiner Literaturdurchsicht empfiehlt Kline (2005, S. 50) Grenzwerte für die univariaten Verteilungsstatistiken: Die Beträge der Schiefe- bzw. Wölbungsstatistik sollten den Wert 3 bzw. 10 nicht überschreiben.

### 3.5 Testung der Parameterrestriktionen

Für das in Abschnitt 3.3 formulierte Modell mit drei Gleichheitsrestriktionen liefert Amos folgende Parameterschätzer:

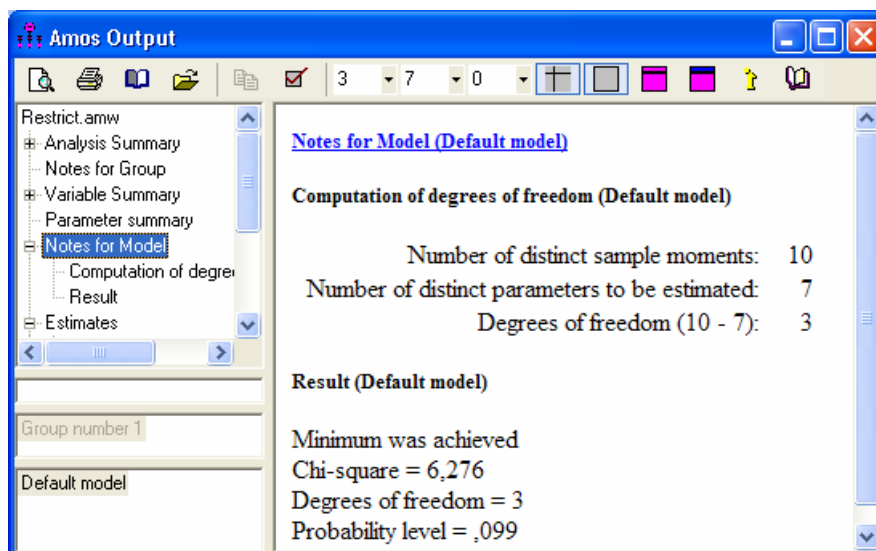
#### Covariances

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
place2 <--> recall2	2,712	1,821	1,489	,136	c_rp
recall1 <--> place1	2,712	1,821	1,489	,136	c_rp
place2 <--> place1	17,149	5,155	3,327	***	
recall2 <--> place1	2,220	2,216	1,002	,316	
place2 <--> recall1	4,608	2,166	2,127	,033	
recall2 <--> recall1	2,872	1,208	2,377	,017	

#### Variances

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
recall1	7,055	1,217	5,798	***	v_r
recall2	7,055	1,217	5,798	***	v_r
place1	27,525	5,177	5,317	***	v_p
place2	27,525	5,177	5,317	***	v_p

Weil das Modell identifiziert (siehe z.B. Baltes-Götz 1994, S. 2-8) und außerdem die Anzahl der Stichprobenmomente (im Beispiel: Varianzen und Kovarianzen) *größer* als die Anzahl der frei schätzbaren Parameter ist, kann ein  $\chi^2$ -**Modellgültigkeitstest** durchgeführt werden, der im Textausgabefenster unter **Notes for Model** folgendermaßen protokolliert wird:

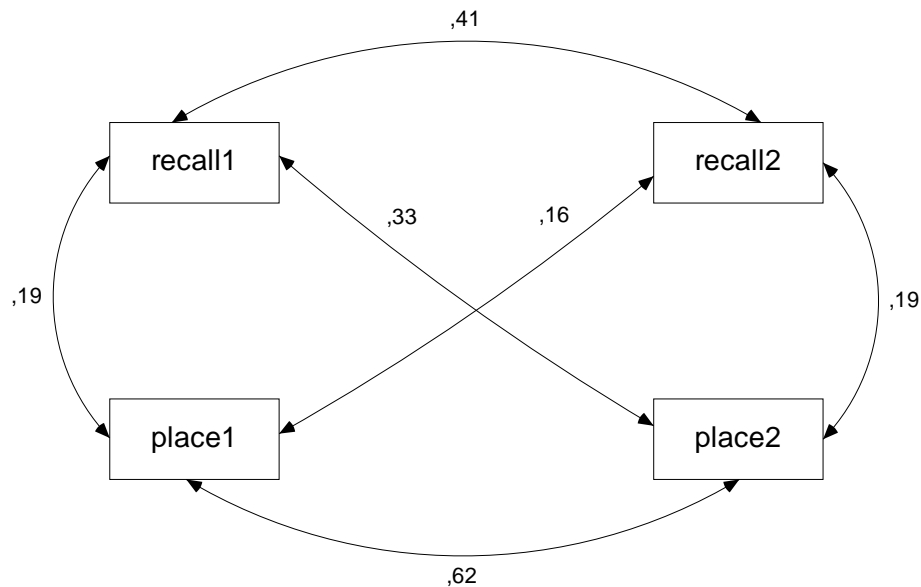


Amos ermittelt für die  $\chi^2$ -Prüfgröße den Wert 6,276, zu dem bei 3 Freiheitsgraden die Überschreitungswahrscheinlichkeit 0,099 gehört. Damit wird bei  $\alpha = 0,05$  die Nullhypothese, also unser Modell mit den drei Parameterrestriktionen, *nicht* abgelehnt.

Speziell bei größeren Stichproben neigt der  $\chi^2$ -Modellgültigkeitstest dazu, taugliche Modelle wegen vernachlässigbarer Schwächen zu verwerfen. Es sind zahlreiche weitere Kriterien zur Modellbeurteilung vorgeschlagen worden, die sich teilweise auch für größere Stichproben eignen (siehe Abschnitt 7.1).

### 3.6 Beschriftungen und andere Möglichkeiten zur Gestaltung des Pfaddiagramms

Das eben erfolgreich getestete Modell sieht (nach einigen gleich zu besprechenden Nachbearbeitungen) im Ausgabe-Pfaddiagramm folgendermaßen aus:



Modell mit Gleichheitsrestriktionen  
 (nach Arbuckle 2007, Daten aus Attig 1983)  
 Standardized estimates  
 (Chi-Quadrat = 6,276, df = 3, p = ,099)

#### 3.6.1 Diagrammbeschriftungen

Gehen Sie folgendermaßen vor, um die in obigem Pfaddiagramm enthaltenen Beschriftungen einzufügen:

- Bei Anzeige eines *Ausgabe*-Pfaddiagramms (mit Parameterschätzungen) ist das Beschriftungs-


Werkzeug nicht verfügbar. Wechseln Sie also nötigenfalls mit dem Schalter



fiktionsmodus.

- Aktivieren Sie das Beschriftungswerkzeug mit:

 oder **Diagram > Figure Caption**

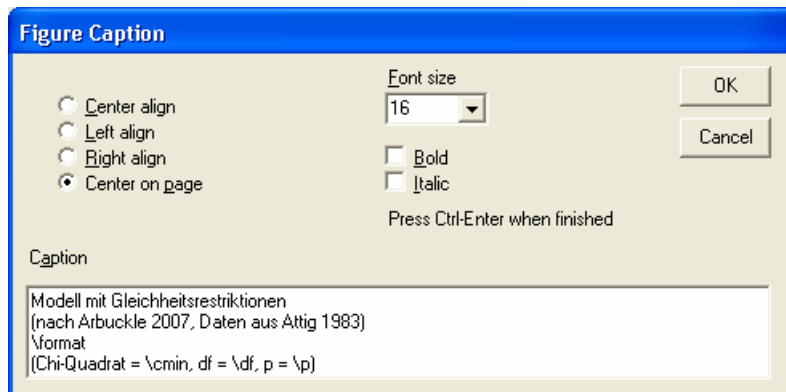
- Klicken Sie auf eine *freie Stelle* der Zeichenfläche während der Mauszeiger mit  beschriftet ist. Daraufhin erscheint die Dialogbox **Figure Caption**.
- Tragen Sie hier den gewünschten Text ein, wobei u.a. die folgenden **Textmakros** zur Verfügung stehen, die von Amos beim Zeichnen des Pfaddiagramms durch aktuell gültige Inhalte ersetzt werden:







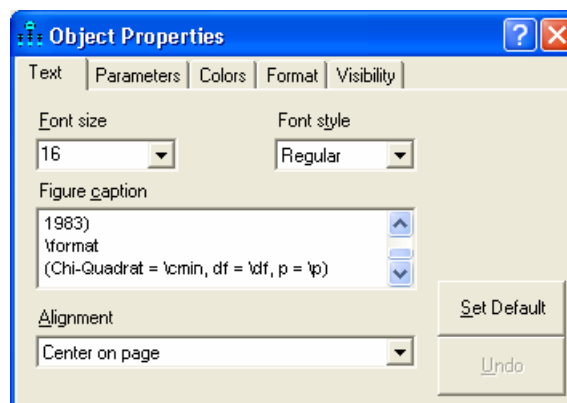
Textmakro	Es erscheint
<code>\format</code>	„Model Specification“ im Modellspezifikations-Pfaddiagramm, „Unstandardized estimates“ oder „Standardized estimates“ im Ausgabe-Pfaddiagramm
<code>\cmin</code>	$\chi^2$ -Statistik zum Modellgültigkeitstest
<code>\df</code>	Anzahl der Freiheitsgrade im Modellgültigkeitstest
<code>\p</code>	Überschreitungswahrscheinlichkeit zum Modellgültigkeitstest

Eine vollständige Liste der Amos-Textmakros finden Sie im Hilfesystem über den Indexeintrag **Text macros**.

Die obige Beschriftung wurde mit folgender Dialogbox erzeugt:



- Beschriftungen lassen sich wie beliebige andere Elemente eines Pfaddiagramms mit dem  – Werkzeug verschieben und mit dem  –Werkzeug entfernen. Bei Wahl der Positionierungsoption **Center on page** (siehe unten) ist natürlich nur noch ein *vertikales* Verschieben möglich.
- Per  –Mausklick kann man im Modellspezifikationsmodus die Dialogbox **Figure Caption** zur Modifikation einer vorhandenen Beschriftung öffnen. Auch die per Standardwerkzeug  via Kontextmenü erreichbare Dialogbox **Object Properties** erlaubt eine Änderung der Beschriftung:



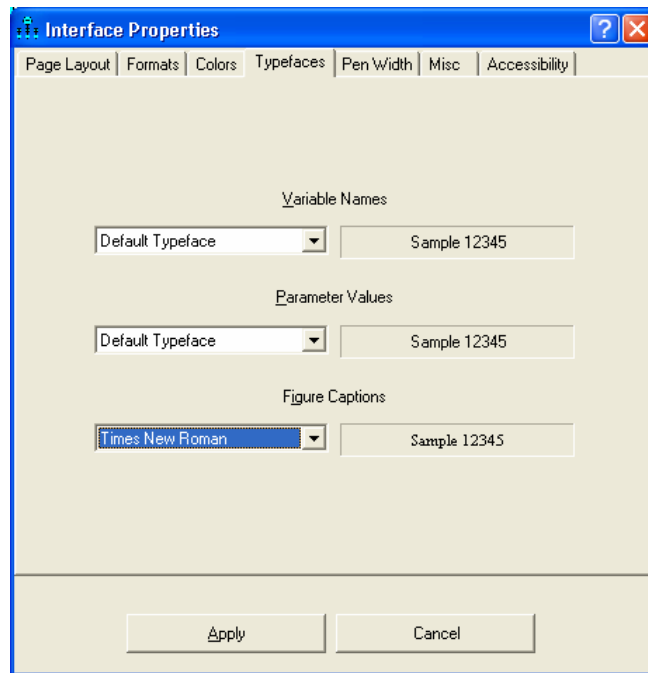
### 3.6.2 Formatierungsoptionen

Die Dialogbox **Interface Properties**, die nach

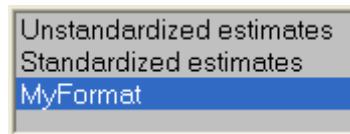
**View > Interface Properties** oder **Strg+I**

erscheint, bietet etliche Optionen zur Formatierung einzelner Ausgabebestandteile, z.B.:

- Auf dem Registerblatt **Typefaces** legt man fest, welche Schriftarten in Pfaddiagrammen für Variablenamen, Parameterwerte und Beschriftungen verwendet werden sollen:



- Auf dem Registerblatt **Pen Width** kann man Linienstärken und Pfeilspitzen verändern.
- Auf dem Registerblatt **Formats** kann man die beiden unveränderlichen Formatfamilien **Unstandardized estimates** und **Standardized estimates** einsehen sowie zusätzliche Familien definieren oder ändern. Diese stehen dann als Anzeigevarianten für das Pfaddiagramm zur Verfügung, z.B.:



- Die von den Textmakros verwendete Anzahl an Dezimalstellen lässt sich auf der Registerkarte **Misc** einstellen.
- Über die Optionen der Registerkarte **Page Layout** wurde schon in Abschnitt 2.2.1 berichtet.

### 3.7 Parameterrestriktionen in AmosEngine-Programmen formulieren

Mit Hilfe der folgenden Syntaxregeln lassen sich die oben behandelten Parameter-Restriktionen in **AmosEngine**-Programmen formulieren:


- Für jede an einer Restriktion beteiligte Kovarianz ist ein **AStructure**-Methodenaufruf erforderlich. Dort setzt man zwischen die beiden Variablen einen Kovarianzpfleil, dargestellt durch die Zeichenfolgen "<>" oder "<-->" (mit beliebig vielen Bindestrichen).
- Eine Restriktion wird durch einen in Klammern hinter die Parameterrepräsentation gesetzten Wert ausgedrückt. Dabei kann es sich um eine Konstante (bei der Fixierung auf einen festen Wert) oder um eine symbolische Wertbezeichnung handeln (bei der Gleichheitsrestriktion).

Diese etwas abstrakt formulierten Regeln werden in folgendem Beispielprogramm veranschaulicht, das die in Abschnitt 3.5 besprochene Textausgabe erzeugt:

```

U:\Eigene Dateien\Amos\Restrict.vb
File Edit Format Help
Module MainModule
Public Sub Main()
Dim Sem As New AmosEngine
Try
Sem.TextOutput()
Sem.BeginGroup("attg_yng.sav")
Sem.AStructure ("recall1 (v_r)")
Sem.AStructure ("recall2 (v_r)")
Sem.AStructure ("place1 (v_p)")
Sem.AStructure ("place2 (v_p)")
Sem.AStructure ("recall1 <-> place1 (c_rp)")
Sem.AStructure ("recall2 <-> place2 (c_rp)")
Sem.FitModel()
Finally
Sem.Dispose()
End Try
End Sub
End Module
Run
Close
Compile errors Debug output
    
```

### 3.8 Signifikanztests per C.R. oder Parameterrestriktion

Über den Gültigkeitstest zu einem geeignet restringierten Modell lässt sich natürlich auch ein einzelner Parameter auf Signifikanz prüfen. Wir wollen dies für die Kovarianz (bzw. Korrelation) von **educatio** (Anzahl der Ausbildungsjahre) und **vocab** (Vokabeltest), zwei andere Variablen aus dem in allen bisherigen Beispielen verwendeten Datensatz, demonstrieren. Beginnen Sie bitte in Amos Graphics ein neues Projekt, ordnen Sie dem selbigen (über  oder **File > Data Files** oder **Strg+D**) die Datei **attg\_yng.sav** zu, und erstellen Sie folgendes Pfaddiagramm:




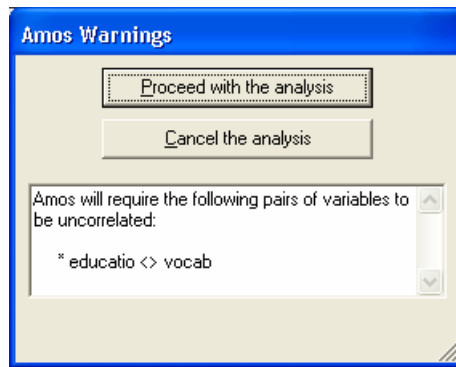
Statt die Variablennamen umständlich zu tippen, sollten Sie diese per Maus aus der mit



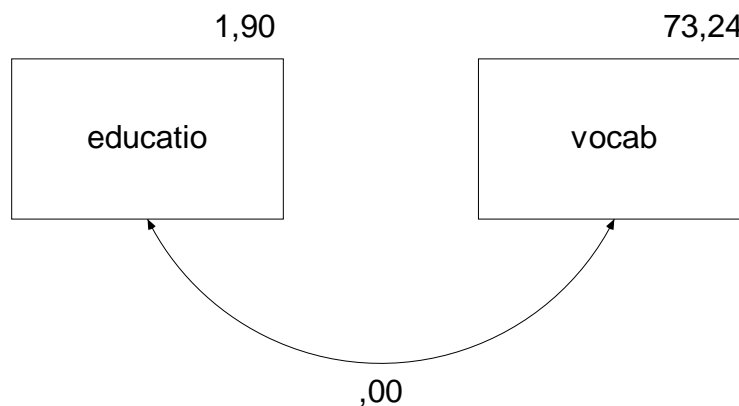
oder **View > Variables in Dataset** oder **Strg++D**

aktivierten Liste übernehmen.

Im Pfaddiagramm ist die Kovarianz zwischen den beiden Variablen durch das Fehlen eines entsprechenden Pfeils auf Null fixiert. Fordern wir Amos mit  zur Schätzung der Modelparameter auf, fragt das Programm vorsichtshalber nach, ob wir die Fixierung auf Null ernst meinen oder vielleicht nur einen Pfeil vergessen haben:



Daher ist es vielleicht sinnvoller, die Fixierung mit den Methoden aus 3.3 explizit zu formulieren. Im Ausgabe-Pfaddiagramm erhalten wir das folgende Resultat:



Im approximativen  $\chi^2$ -Test wird die Nullhypothese mit  $p = 0,025$  verworfen, wie der Textausgabe zu entnehmen ist:

**Result (Default model)**

Minimum was achieved  
 Chi-square = 5,021  
 Degrees of freedom = 1  
 Probability level = ,025

Diese Überschreitungswahrscheinlichkeit liegt übrigens trotz der relativ kleinen Stichprobe ( $N = 40$ ) relativ nahe beim Ergebnis des exakten t-Tests, der  $p = 0,028$  liefert.

Nun haben wir schon in Abschnitt 2.4.2 eine Möglichkeit kennen gelernt, mit Amos eine Korrelation bzw. Kovarianz auf Signifikanz zu testen. Dort wurde der Quotient aus Parameterschätzer und geschätztem Standardfehler als Prüfstatistik verwendet. Für die aktuell betrachteten Variablen gewinnen wir durch Aufheben der Parameterrestriktion mit dieser Technik folgendes Ergebnis:

**Covariances: (Group number 1 - Default model)**

			Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
educatio	<-->	vocab	4,100	2,000	2,050	,040

Asymptotisch werden die beiden Amos-Testverfahren miteinander und mit dem exakten t-Test übereinstimmen. Bei einer kleinen Stichprobe wie der unsrigen ist mit Abweichungen zu rechnen, die durchaus auch zu unterschiedlichen Testentscheidungen führen können. Unter den beiden von Amos angebotenen Testverfahren ist im Zweifelsfall das auf dem Likelihood-Quotienten-Prinzip basierende Verfahren per Parameterrestriktion zu bevorzugen. Dabei muss allerdings für *jeden* zu beurteilenden Parameter ein spezielles eingeschränktes Modell analysiert werden. Wie Sie bereits wissen, besteht eine Stärke der Test-

konstruktion über Parameterrestriktionen darin, dass sehr flexibel *zusammengesetzte* Hypothesen formuliert und beurteilt werden können.

## 4 Regressions- und Pfadmodelle für manifeste Variablen

### 4.1 Beispiel

In einer Untersuchung zu den Bedingungen der beruflichen Ambitionen von Jugendlichen (Kerchoff 1974) wurden bei 767 Jungen im Alter von 12 Jahren folgende Variablen erhoben:<sup>1</sup>

<b>INTELLNZ</b>	Intelligenz des Jungen
<b>BLDNGVAT</b>	Bildungsgrad des Vaters
<b>BERUFVAT</b>	Beruf des Vaters
<b>SCHULLST</b>	Schulleistung des Jungen
<b>AMBITION</b>	Berufliche Ambitionen des Jungen

Über das Zusammenwirken der Variablen wird angenommen:

$$\text{SCHULLST} = \gamma_{11} \text{INTELLNZ} + \gamma_{12} \text{BLDNGVAT} + \text{RS} \quad (1)$$

$$\text{AMBITION} = \gamma_{21} \text{BERUFVAT} + \gamma_{22} \text{SCHULLST} + \text{RA} \quad (2)$$

In der ersten Gleichung wird u.a. behauptet, dass eine Erhöhung der Intelligenz um eine Maßeinheit bei Konstanzhaltung des väterlichen Bildungsgrads im Mittel zu einer Veränderung der beruflichen Ambitionen um  $\gamma_{11}$  Maßeinheiten führt. Analog sind die übrigen Strukturkoeffizienten zu interpretieren.

Wir beschränken uns zunächst auf die *erste* Gleichung, erproben Amos also bei einer Aufgabenstellung, die auch mit traditioneller Regressionstechnologie zu lösen ist.

Interessierte finden die Kerchoff-Daten in der SPSS-Matrix-Datendatei **Ambition.sav** (genaue Bezugsquelle: siehe Abschnitt 1.3).

### 4.2 Einlesen von Momentmatrizen

Die eben genannte Datei enthält *keine* Fälle  $\times$  Variablen - Datenmatrix, sondern eine Korrelationsmatrix mit einigen Zusatzinformationen, wie das folgende SPSS-Datenfenster zeigt:

	rowtype_	varname_	intellnz	bldngvat	berufvat	schullst	ambition
1	STDDEV		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
2	MEAN		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	N		767,0000	767,0000	767,0000	767,0000	767,0000
4	CORR	INTELLNZ	1,0000	0,2770	0,2500	0,5720	0,3350
5	CORR	BLDNGVAT	0,2770	1,0000	0,6110	0,2940	0,3030
6	CORR	BERUFVAT	0,2500	0,6110	1,0000	0,2480	0,3310
7	CORR	SCHULLST	0,5720	0,2940	0,2480	1,0000	0,4780
8	CORR	AMBITION	0,3350	0,3030	0,3310	0,4780	1,0000

<sup>1</sup> Die völlige Fixierung auf väterliche Karrieremerkmale ist wohl der im letzten Jahrtausend noch mangelhaften Emanzipation anzulasten.

Amos benötigt für die meisten Analysen keine Rohdaten, sondern lediglich die Stichprobenmomente (d.h. Mittelwerte, Varianzen und Kovarianzen). Da im aktuellen Beispiel überwiegend willkürliche Maßeinheiten zum Einsatz kommen (z.B. bei der **AMBITION**-Operationalisierung), sind die (unbedingten) Mittelwerte der Variablen in der Regel nicht von Interesse.

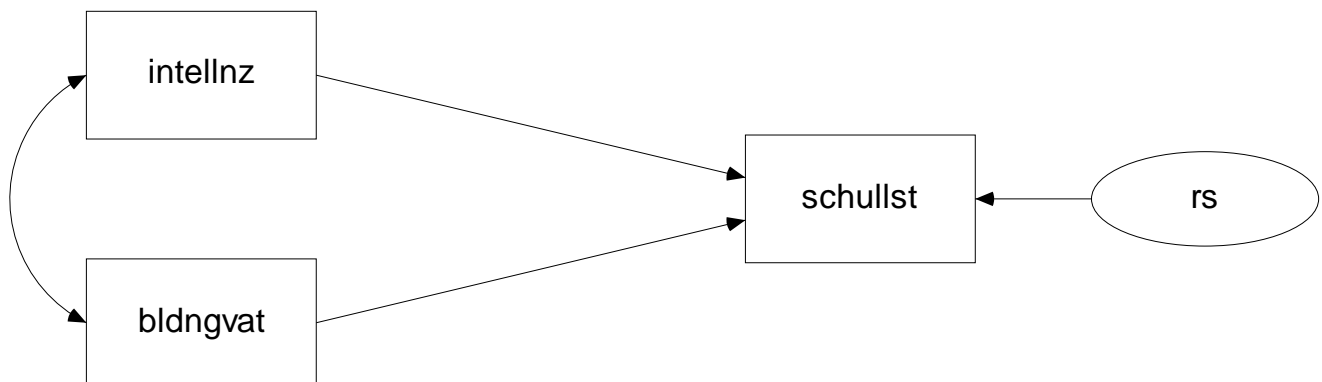
Die Verwendung der (häufig ausschließlich publizierten) Korrelationsmatrix an Stelle der von Amos (und vergleichbaren Strukturgleichungsanalyse-Programmen) in der Regel verlangten Kovarianzmatrix ist allerdings nur unter folgenden Bedingungen erlaubt, die bei Regressionsmodellen zum Glück erfüllt sind:

- Das Modell und die Schätzmethode sind skaleninvariant.
- Das Modell kann die Varianzen der manifesten Variablen perfekt reproduzieren.

Weitere Informationen zur nicht ganz trivialen Frage der Äquivalenz von Kovarianz- und Korrelationsmatrizen bei der Analyse von Strukturgleichungsmodellen finden Sie z.B. bei Baltés-Götz (1994, S. 4-9), Jöreskog & Sörbom (1989, Abschnitt 1.21) und Lee (1985).

### 4.3 Pfaddiagramme mit gerichteten Pfeilen und latenten Variablen

Wir wollen die lineare Regression von Schulleistung auf Intelligenz und Bildung des Vaters untersuchen und erstellen zunächst das Pfaddiagramm:



Beim Zeichnen der drei Rechtecke empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

- Malen Sie mit -Werkzeug ein Rechteck für die erste Variable, und korrigieren Sie seine Form bei Bedarf mit dem -Werkzeug.

Wer an Stelle beliebiger Seitenverhältnisse für Rechtecke und Ellipsen (siehe unten) den goldenen Schnitt bevorzugt, befördert über **Tools > Customize** das -Werkzeug auf eine Symbolleiste (vgl. Abschnitt 2.2.5) und rastet es vor dem Zeichnen per Mausklick ein.

- Erzeugen Sie mit -Werkzeug für die restlichen Variablen Kopien dieses Rechtecks. Halten Sie beim Verschieben der Kopie für **BLDNGVAT** die -Taste fest, damit das Rechteck seine horizontale Position behält.
- Mit

oder **Edit > Space Vertically**

können Sie dafür sorgen, dass die drei (zuvor markierten) Rechtecke *vertikal* gleiche Abstände haben. Das -Werkzeug muss eventuell über **Tools > Customize** auf eine Symbolleiste befördert werden.

Zeichnen Sie nun mit



oder **Diagram > Draw Unobserved** oder **F4**

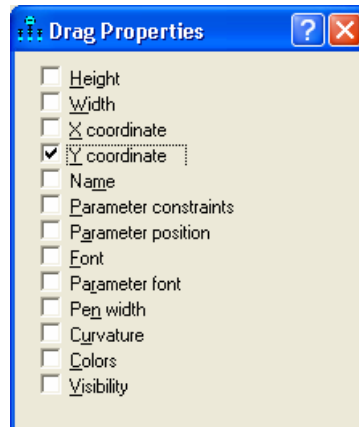
eine Ellipse für die latente (!) Fehlervariable zum Kriterium.

Um die Y-(Höhen)Koordinate des Kriteriums-Rechtecks auf die zugehörige Fehler-Ellipse zu übertragen, aktivieren Sie am besten mit:



oder **Edit > Drag Properties** oder **Strg+G**

den Eigenschaftstransfer, dessen Umfang in folgender Dialogbox festgelegt wird:



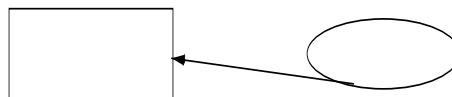
Klicken Sie dann auf das Rechteck und ziehen Sie mit gedrückter Maustaste die festgelegten Eigenschaften auf die Ellipse.

Ergänzen Sie den gerichteten Pfeil für den Effekt der Residualvariablen auf das Kriterium nach



oder **Diagram > Draw Path** oder **F5**

ausnahmsweise nachlässig,



und lassen Sie ihn nach



oder **Edit > Touch Up** oder **Strg+H**

mit Mausklicks auf Rechteck und Ellipse von Amos in die richtige Position bringen. Auf ähnliche Weise lassen sich die gerichteten Pfeile von den Regressoren auf das Kriterium schnell platzieren.

Den Kovarianzpfel zwischen **INTELLNZ** und **BLDNGVAT** können Sie nach Markieren der beiden exogenen Variablen mit

**Plugins > Draw Covariances**

durch ein vorgefertigtes Amos – Plugin automatisch setzen lassen.

Zum bequemen Benennen der manifesten Variablen ordnen wir spätestens jetzt über



oder **File > Data Files** oder **Strg+D**



dem Projekt seine Eingabedatei zu. Dann öffnen wir mit




oder **View > Variables in Dataset** oder **Strg+⇧+D**

die folgende Variablenliste



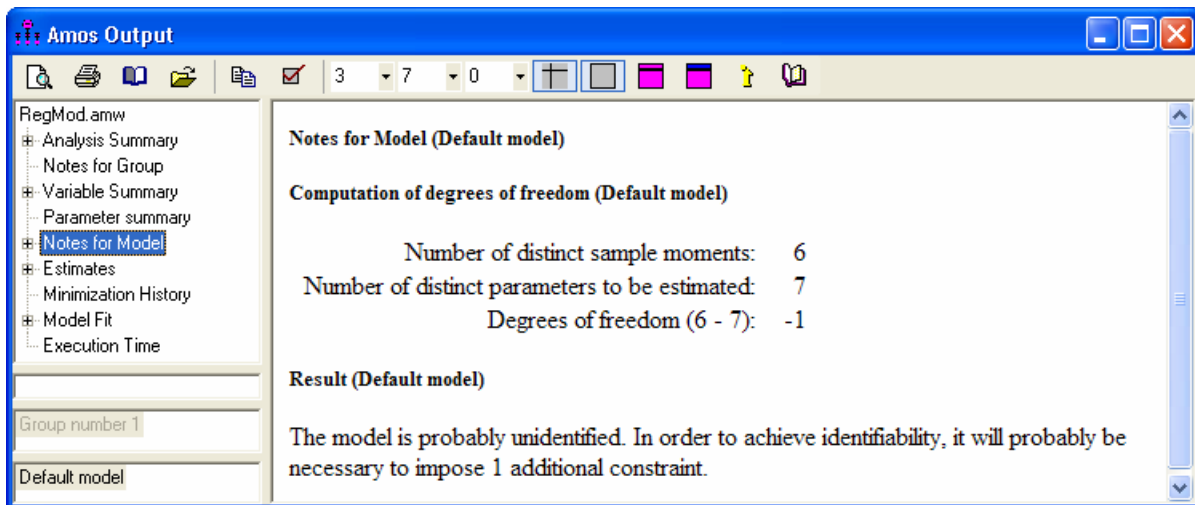
und ziehen die benötigten Variablennamen per Maus auf das jeweils zugehörige Rechteck. Für die latente Residualvariable müssen wir uns einen Namen ausdenken und dann über die Eigenschaftsdialogbox zur Fehler-Ellipse eintragen.

#### 4.4 Ein technisches Identifikationsproblem

Wenn wir Amos nach obigen Vorarbeiten mit  zur Schätzung der Modellparameter auffordern, bleibt

anschließend der  - Schalter zur Anzeige des Ausgabe-Pfaddiagramms passiv, und wir erhalten in

der Textausgabe u.a. folgende Informationen:



Mit der in Amos per Voreinstellung frei schätzbaren Varianz der Fehlervariablen enthält das Modell sieben freie Parameter:

3 Varianzen:

**INTELLNZ**  
**BLDNGVAT**  
**RS**

1 Kovarianz:

**INTELLNZ <--> BLDNGVAT**

3 Strukturkoeffizienten (Pfadgewichte):




**SCHULLST <--- INTELLNZ**  
**SCHULLST <--- BLDNGVAT**  
**SCHULLST <--- RS**

Diesen stehen nur sechs Stichprobenmomente gegenüber (drei Varianzen und drei Kovarianzen), so dass keine Identifikation vorliegen kann<sup>1</sup>. Insbesondere enthält das Modell mit dem Regressionsgewicht der Residualvariablen **RS** und mit deren Varianz zwei Parameter, die aufgrund der vorhandenen Information nicht simultan geschätzt werden können. Arbuckle (2007, S. 72) illustriert die Situation mit folgender Analogie: Aus der Mitteilung „Ich habe Eintrittskarten im Wert von 50 € gekauft“ können wir nicht simultan die Anzahl der erworbenen Eintrittskarten und den Preis einer einzelnen Karte erschließen. Wenn wir aber Anzahl oder Preis kennen, ist der jeweils fehlende Wert leicht zu ermitteln.

Bei unserem Identifikationsproblem ist allerdings nicht damit zu rechnen, dass wir einen der beiden unbekanntenen Werte irgendwie in Erfahrung bringen. Wir müssen daher *einen* Parameter *fixieren*, z.B. das Regressionsgewicht auf den Wert Eins.

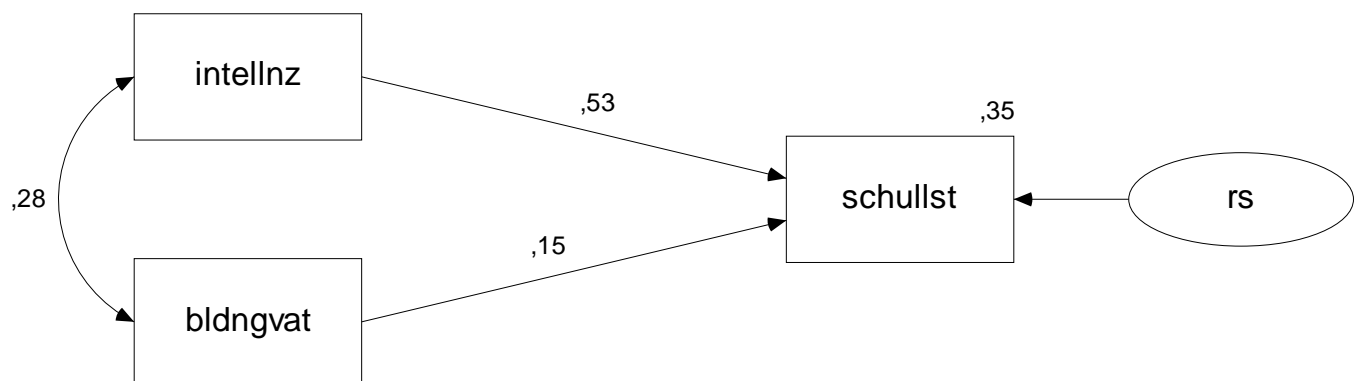
Weil es häufig nötig ist, eine endogene (abhängige) Variable mit einem Fehlerterm zu versorgen und dessen Regressionsgewicht auf Eins zu fixieren, bietet Amos über

 oder **Diagram > Draw Unique Variable**


dazu ein spezielles Werkzeug an. Um es ausprobieren zu können, müssen Sie die bereits vorhandene Fehlervariable mit dem  - Werkzeug wieder entfernen. Das  - Werkzeug produziert nach einem Klick auf das Kriterium ein kreisförmiges Fehlervariablen-Symbol und lässt dieses Symbol bei weiteren Mausklicks um das Kriterium wandern. Nachdem Sie eine angenehme Position gefunden haben, können Sie den Kreis bei Bedarf mit dem  - Werkzeug zu einer Ellipse verformen.

Die latente Fehlervariable muss auf jeden Fall (per Eigenschaftsdialog) einen Namen erhalten.

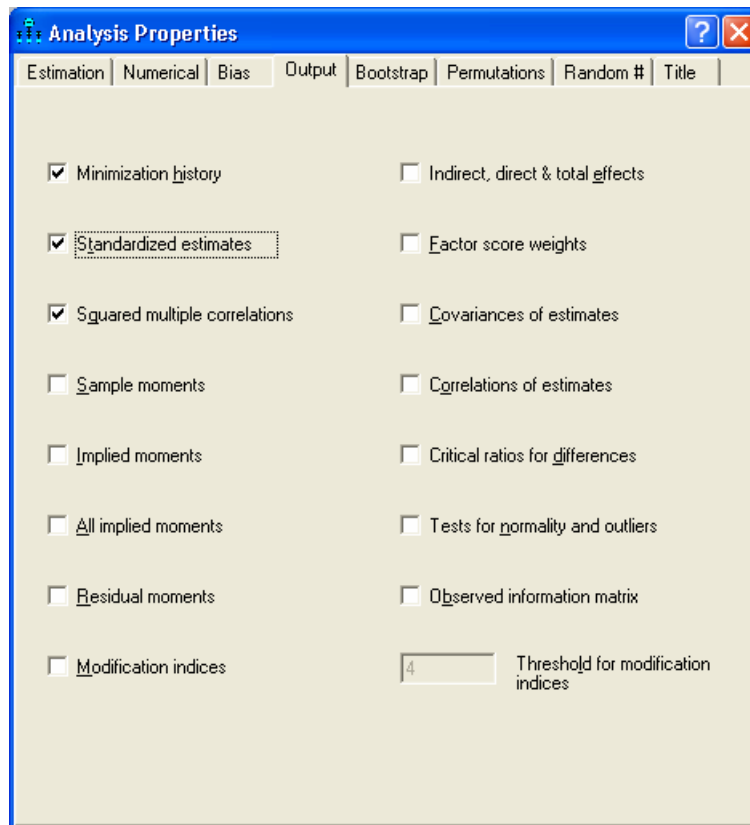
Nun steht einer erfolgreichen Schätzung nichts mehr im Weg. Beim Ausgabe-Pfaddiagramm wählen wir die *standardisierte* Variante, weil Amos in diesem Fall den Determinationskoeffizienten der Regressionsgleichung über dem Kriterium notiert:



Ansonsten zeigen die beiden Varianten des Ausgabe-Pfaddiagramms keine relevanten Unterschiede, weil wir eine Korrelationsmatrix als Datenbasis verwendet haben.

Wenn Sie in Ihrer Amos-Ausgabe die standardisierten Schätzer und/oder die quadrierte Multiple Korrelation des Kriteriums mit den Regressoren *nicht* finden, dann müssen Sie deren Ausgabe nach  oder **View > Analysis Properties > Output** anordnen (vgl. Abschnitt 2.5):

<sup>1</sup> Die Tatsache, dass wir an Stelle der Kovarianzmatrix eine Korrelationsmatrix verwenden mussten, ändert nichts an dieser Kalkulation.



Das in diesem Abschnitt gelöste Identifikationsproblem war leicht zu verstehen, und die Lösung ergab sich praktisch von selbst. In komplexeren Modellen gibt es durchaus Identifikationsprobleme mit weniger trivialen Ursachen und Lösungen.

#### 4.5 Textausgaben zum Regressionsmodell

Das eben formulierte Regressionsmodell enthält ebenso viele freie Parameter, wie Stichprobenmomente vorhanden sind, und ist außerdem identifiziert, also insgesamt *saturiert*. In diesem Fall liefert Amos im Wesentlichen dieselben Ergebnisse wie Programme zur multiplen linearen Regression, die mit dem OLS-Schätzverfahren (*Ordinary Least Squares*) arbeiten.

In der Textausgabe finden sich u.a. die folgenden Tabellen:

**Scalar Estimates (Group number 1 - Default model)**

**Maximum Likelihood Estimates**

**Regression Weights: (Group number 1 - Default model)**

			Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
schullst	<---	intellnz	,531	,030	17,487	***
schullst	<---	bldngvat	,147	,030	4,832	***

**Covariances: (Group number 1 - Default model)**

			Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
intellnz	<-->	bldngvat	,277	,037	7,388	***

**Squared Multiple Correlations: (Group number 1 - Default model)**

	Estimate
schullst	,347

Ein saturiertes Modell impliziert *keine* Restriktionen für die Kovarianzmatrix der manifesten Variablen, so dass auch kein Modellgültigkeitstest möglich ist.

Mit der Regressionsprozedur von SPSS 16.0 erhalten wir nahezu identische Ergebnisse:<sup>1</sup>

**Modellzusammenfassung**

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,589 <sup>a</sup>	,347	,345	,8090876

a. Einflußvariablen : (Konstante), intellnz, bldngvat

**Koeffizienten<sup>a</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,000	,029		,000	1,000
	bldngvat	,147	,030	,147	4,826	,000
	intellnz	,531	,030	,531	17,464	,000

a. Abhängige Variable: schullst

Wir beobachten insbesondere, dass in der sehr großen Kerchhoff-Stichprobe ( $N = 767$ ) die von Amos berechneten **Critical Ratios** annähernd mit den exakten t-Werten der SPSS-Ausgabe übereinstimmen.

#### 4.6 Pfadanalyse mit Amos

Das am Anfang von Abschnitt 4 formulierte Modell zu den beruflichen Ambitionen von Jugendlichen besteht aus *zwei* Regressionsgleichungen und behauptet (weniger auffällig), dass die Residualvariablen zu den beiden Kriterien unkorreliert seien. Unter diesen Voraussetzungen können alle Parameter mit zwei unabhängig voneinander durchgeführten Regressionsanalysen geschätzt und getestet werden, so dass scheinbar keine Strukturgleichungstechnologie benötigt wird.

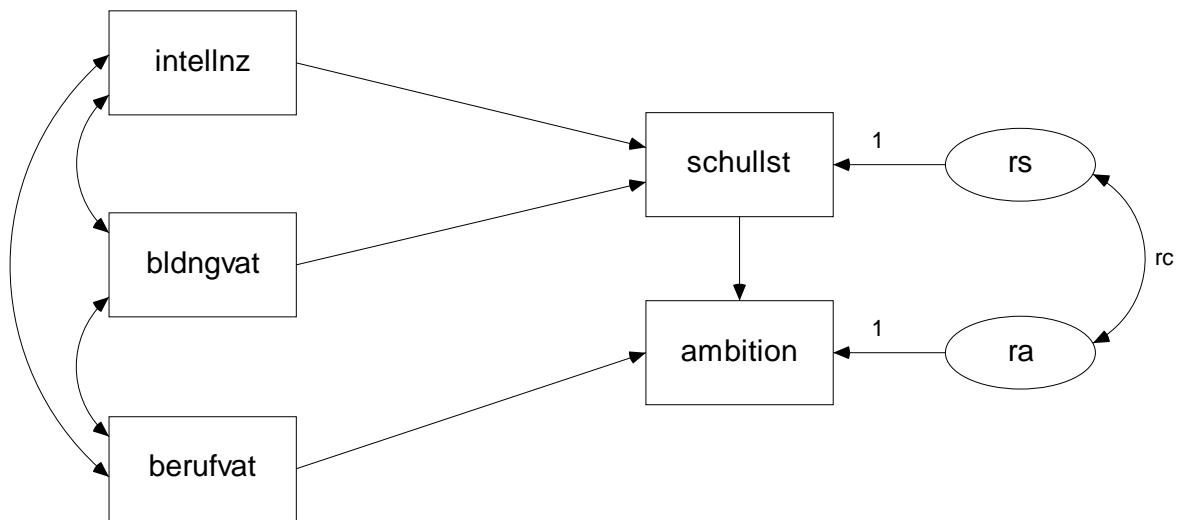
Bei der klassischen Regressionsanalyse haben wir aber keine Möglichkeit, die Annahme unabhängiger Residuen **RS** und **RA** zu überprüfen und ggf. eine vorhandene Residualkorrelation zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich keinesfalls um eine nebensächliche Vereinbarung, sondern um eine handfeste empirische Behauptung. Wir negieren damit z.B. die Existenz von exogenen Variablen mit Einfluss auf **SCHULLST** und **AMBITION**, die im Modell weggelassen wurden, und riskieren verzerrte Schätzungen für den Strukturkoeffizienten  $\gamma_{22}$ , falls wir uns irren.

Durch ihre Fähigkeit, die Korrelationen von Residuen aus verschiedenen Gleichungen zu prüfen und ggf. zu berücksichtigen, stellt die Strukturgleichungsanalyse auch schon in der recht simplen Situation eines Pfadmodells für manifeste Variablen eine wichtige Ergänzung oder Alternative zu den klassischen Analysemethoden dar.

Wir vervollständigen das Pfaddiagramm, tragen den kritischen Kovarianzpfel ein und vergeben (im Hinblick auf eine spätere Restriktion) einen Namen für den zugehörigen Parameter:

<sup>1</sup> Zur Analyse der Matrix-Arbeitsdatei wird folgenden Syntax verwendet:

```
REGRESSION
MATRIX=IN(*)
/DEPENDENT schullst
/METHOD=ENTER bldngvat intellnz.
```



In der Textausgabe interessieren wir uns vor allem für den approximativen Signifikanztest zur Fehlerkovarianz:

**Covariances: (Group number 1 - Default model)**

			Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
intellnz	<-->	bldngvat	,277	,037	7,388	***	
bldngvat	<-->	berufvat	,610	,042	14,430	***	
intellnz	<-->	berufvat	,250	,037	6,713	***	
ra	<-->	rs	-,081	,045	-1,824	,068	rc

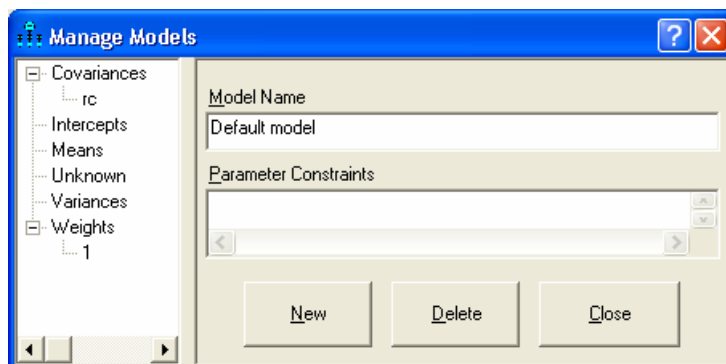
Zwar liegt das  $p$ -Level mit 0,068 nur knapp über der Signifikanzgrenze, doch kam dieses Ergebnis bei geringer Effektstärke (Korrelation(**RA**, **RS**) = -0,118) hauptsächlich aufgrund der enormen Stichprobengröße ( $N = 767$ ) zustande. Daher kann die Nullhypothese unkorrelierter Residuen guten Gewissens beibehalten werden.

#### 4.7 Vergleich mehrerer Modelle

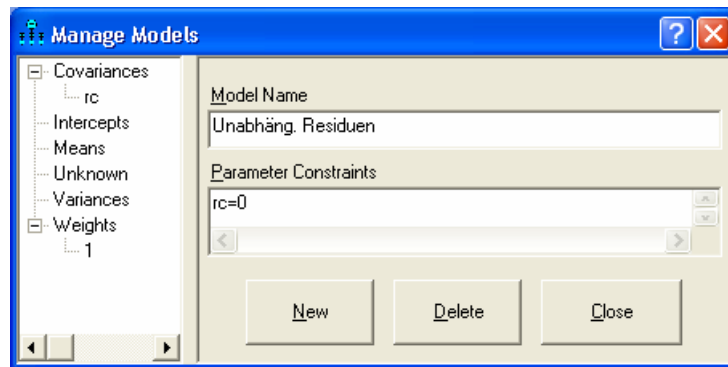
Bei dieser Gelegenheit soll demonstriert werden, wie mit Amos bequem mehrere Modelle verglichen werden können. Nach


#### Analyze > Manage Model

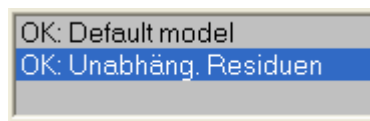
erscheint die Dialogbox **Manage Models**:



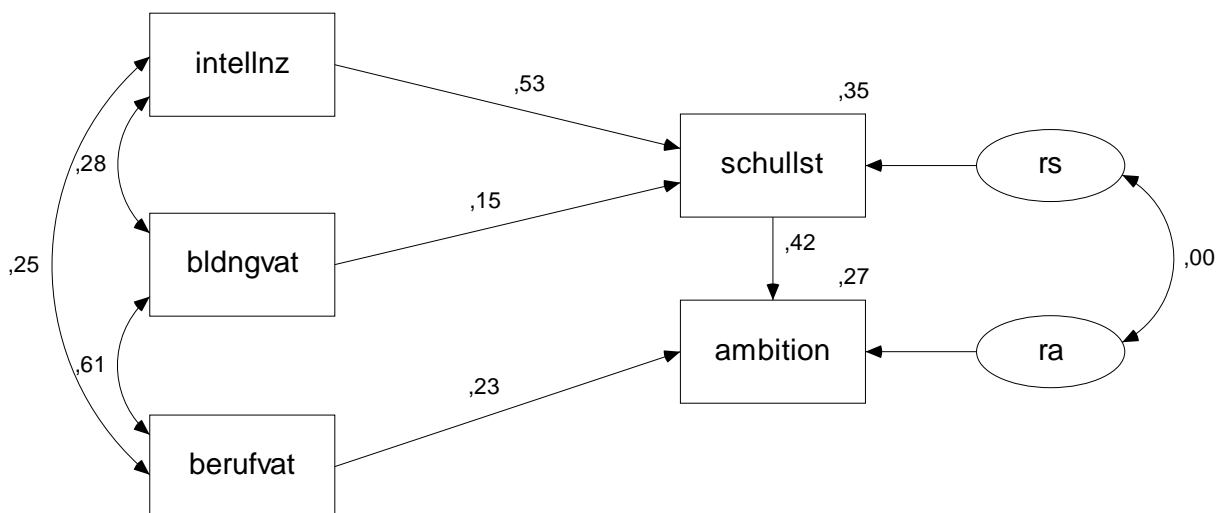
Hier legen wir mit **New** ein zusätzliches Modell an, das sich durch Parameterrestriktionen aus dem Standardmodell ergeben muss. In unserem Beispiel setzen wir die Fehlerkovarianz auf 0, wobei endlich die oben vereinbarte Bezeichnung **rc** zum Einsatz kommt:



Die von Amos vorgegebene Modellbezeichnung kann beliebig geändert werden. Nach der nächsten Schätzung mit  können wir per Mausklick auf die Modellbezeichnung zwischen zwei Ausgabe-Pfaddiagrammen wählen und die jeweiligen Parameterschätzungen vergleichen:



Aufgrund des oben diskutierten Signifikanztests für die Fehlerkovarianz ist das einfachere Modell zu bevorzugen:



Die Textausgabe beschreibt *beide* Modelle und vergleicht sie außerdem miteinander (siehe **Model Comparison**):

**Nested Model Comparisons**

Assuming model Default model to be correct:

Model	DF	CMIN	P	NFI Delta-1	IFI Delta-2	RFI rho-1	TLI rho2
Unabhäng. Residuen	1	3,399	,065	,003	,003	,007	,007

Hier finden wir einen Signifikanztest, welcher die Gültigkeit des Modells mit frei schätzbarer Fehlerkovarianz voraussetzt und prüft, ob das restringierte Modell (mit der auf Null fixierten Fehlerkovarianz) beibehalten werden kann. Er endet wie der verwandte CR-Test (siehe Abschnitt 4.6) mit einer knappen Entscheidung für die Nullhypothese ( $p$ -Level = 0,065). Im Allgemeinen können auf diese Weise, also durch den Vergleich geschachtelter Modelle, auch *mehrere* Restriktionen simultan überprüft werden (vgl. Abschnitt 3.8).

In Abschnitt 7 wird mit der so genannten *Spezifikationssuche* noch eine bequemere Technik zum Vergleich zahlreicher Modelle vorgestellt, die sich speziell für ausgeprägt explorative Forschungsprojekte eignet.

## 5 Modelle mit latenten Variablen

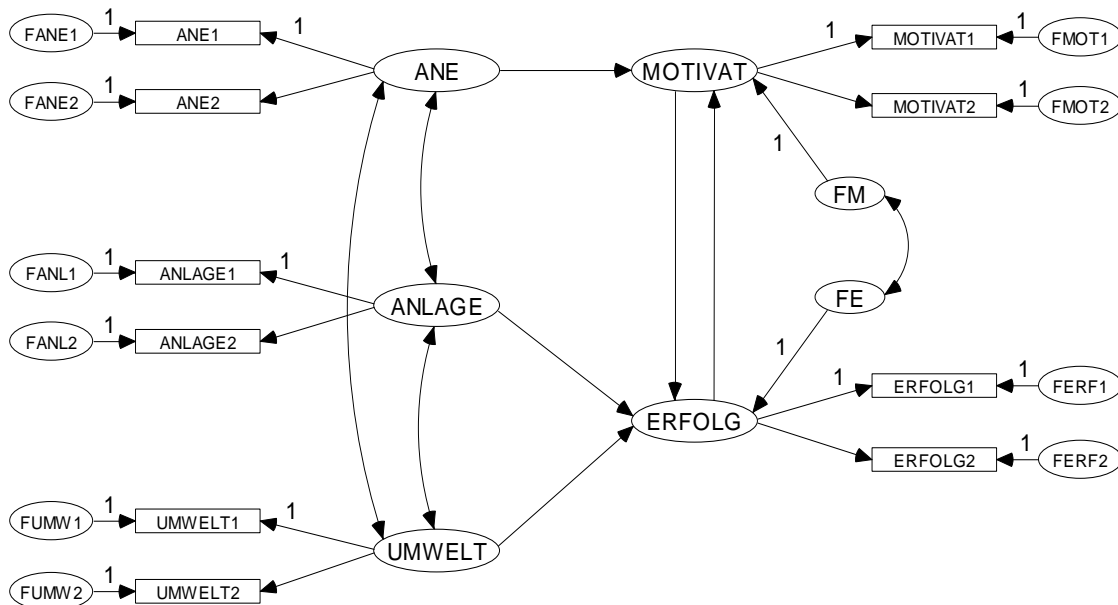
### 5.1 Messfehler und methodologische Gegenmaßnahmen

In den bisher betrachteten Pfaddiagrammen sind uns latente Variablen nur in der Rolle von Residuen begegnet. Es ist jedoch methodologisch sehr attraktiv, Modelle mit latenten endogenen und exogenen Variablen zu bilden, um die folgenden, durch messfehlerbehaftete manifeste Variablen bedingten, Probleme zu vermeiden (siehe Arbuckle 2007, S. 89):

- Fehler in den *endogenen* Variablen führen zu geminderten Determinationskoeffizienten und zu vergrößerten Standardfehlern der Regressionskoeffizienten.
- Fehler in den *exogenen* Variablen mindern die Determinationskoeffizienten und verzerren die Schätzungen der Regressionskoeffizienten.

Um Effekte und Kovarianzen auf der Ebene von latenten, messfehlerfreien Variablen schätzen zu können, benötigt man im Allgemeinen für jede latente Variable mindestens zwei manifeste Indikatoren. Erst bei drei Indikatoren ist garantiert, dass die Schätzbarkeit (Identifikation) des Modells nicht an der mangelhaften empirischen Verankerung der latenten Variablen scheitert.

Beim dem bereits in der Einleitung gezeigte Modell<sup>1</sup> sind die latenten Variablen jeweils doppelt verankert:



Aus einer künstlichen Population mit der in obigem Pfaddiagramm beschriebenen Struktur wurde mit einem SPSS-Programm eine Zufallsstichprobe der Größe  $N = 384^2$  gezogen. Neben stetigen und normalverteilten Indikatoren wurden auch vergrößerte (ordinale) Varianten mit ca. 25 Stufen erstellt, um die übliche Messpraxis nachzuempfinden.

Das obige Pfaddiagramm formuliert eine pädagogische „Theorie“ über Leistungsmotivation (**MOTIVAT**) und Schulerfolg (**ERFOLG**), die in der künstlichen Population perfekt gilt. Zur Erklärung werden folgende exogene Variablen herangezogen:

<sup>1</sup> Das Pfaddiagramm in der Einleitung enthält die *standardisierten* Schätzergebnisse.

<sup>2</sup> Sie finden das erzeugende SPSS-Programm **mc.sps** und die Datendatei **mc.sav** mit den resultierenden Zufallsdaten an der in Abschnitt 1.3 vereinbarten Stelle.



- Anspruchsniveau der Eltern (**ANE**)
- genetische Ausstattung (**ANLAGE**)
- Förderungspotential der Lernumgebung (**UMWELT**)

Weil es sich um ein *nonrekursives* Modell mit wechselseitiger Abhängigkeit von Leistungsmotivation und Erfolg handelt, sorgt das erzeugende SPSS-Programm in einer „Zeitschleife“ dafür, dass ein stabiler Zustand ausgiebter Effekte eingeleitet ist, bevor die „Datenerhebung“ stattfindet.

Wir „forschen“ mit dem korrekten Modell, machen also keine Spezifikationsfehler. Die in obigem Pfaddiagramm enthaltenen Fixierungen stellen keine empirischen Behauptungen dar, sondern beheben technische Identifikationsprobleme (vgl. Abschnitt 4.4).

## 5.2 Weitere Werkzeuge für die Erstellung von Pfaddiagrammen

Die zur Erstellung eines Pfaddiagramms mit latenten Variablen im Amos-Grafikmodus erforderlichen Werkzeuge haben wir im Zusammenhang mit der Residualvariablen bereits kennen gelernt. Amos bietet darüber hinaus noch einige Arbeitserleichterungen, die beim Erstellen des obigen Pfaddiagramms sehr nützlich sind:

- Stellen Sie über

**View > Interface Properties > Page Layout > Orientation = Landscape**

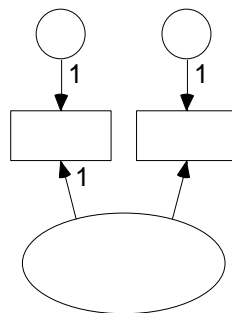
nötigenfalls eine querformatige Zeichnungsfläche ein.

- Zeichnen Sie eine Ellipse für das latente Konstrukt **ANE**.
- Wählen Sie das Messmodell-Werkzeug mit



oder **Diagram > Draw Indicator Variable**

- Klicken Sie dann *zweimal* auf die Ellipse, um zwei Indikatoren einzeichnen zu lassen:



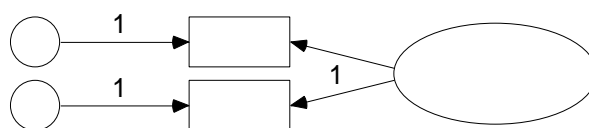
Amos hat die zum Beheben von technischen Identifikationsproblemen erforderlichen Fixierungen automatisch vorgenommen.

- Wählen Sie mit






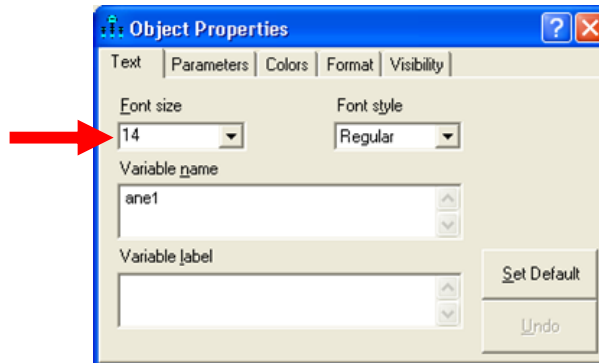
oder **Edit > Rotate**

das Rotationswerkzeug, und klicken Sie so lange auf die **ANE**-Ellipse, bis sich die Indikatoren auf der *linken* Seite befinden:











- Gehen Sie folgendermaßen vor, wenn Teile des Pfaddiagramms außerhalb der Zeichenfläche liegen:

- Alles markieren mit dem -Werkzeug
- Verschieben mit dem -Werkzeug
- Verfeinern Sie das Messmodell mit dem -Werkzeug.
- Ordnen Sie den fünf vorhandenen Variablen ihre Namen zu, um bei Platzproblemen frühzeitig die Rechtecke und Ellipsen vergrößern zu können, bevor Sie in die Serienproduktion einsteigen. Statt eine Form zu vergrößern kann aber auch die Beschriftung verkleinert werden, z.B.:



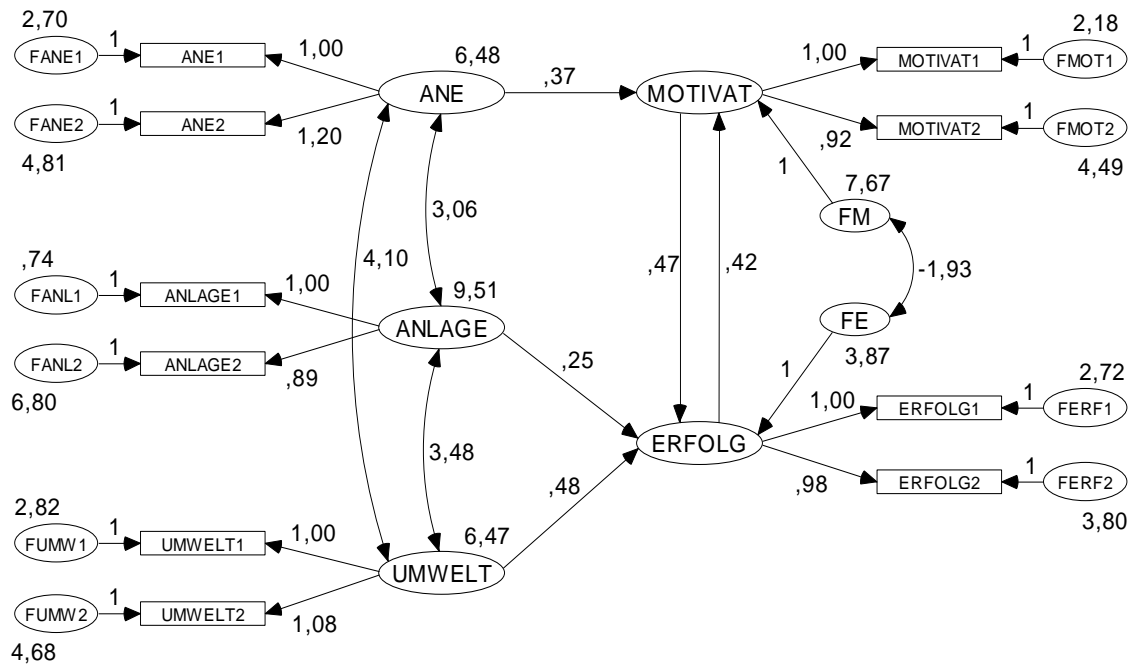
Die Namen für die latenten Variablen sind frei wählbar, soweit keine Namenskonflikte auftreten. Um die Namen der manifesten Variablen aus einer Liste übernehmen zu können, sollten Sie spätestens jetzt über **File > Data Files > File Name** die Eingabedatei festlegen. In der Datei **mc.sav** finden Sie die Indikatoren in stetiger (z.B. ANE1S) und in „vergrößerter“ Form (z.B. ANE1), wobei in diesem Manuskript die *vergrößerten* Varianten eingesetzt werden.

- Erzeugen Sie mit  für die beiden anderen exogenen Variablen Kopien des (vollständig markierten) Messmodells. Halten Sie beim Verschieben der Kopien die -Taste fest, so dass die Messmodelle ihre horizontale Position behalten.
- Erzeugen Sie eine weitere Kopie für die erste *endogene* Variable, vorläufig möglichst weit vom rechten Rand der Zeichnungsfläche entfernt.
- Reflektieren Sie die Indikatoren der endogenen Variablen mit dem -Werkzeug, und bringen Sie das Messmodell in die gewünschte Position.
- Erzeugen Sie mit  eine Kopie für die zweite endogene Variable.
- Zeichnen Sie mit  je einen Fehlerterm für die endogenen latenten Variablen.
- Tragen Sie mit  bzw.  die Effekte bzw. Kovarianzen ein.  
Speziell beim Optimieren der Pfeile leistet der Zauberstab  gute Dienste.
- Sorgen Sie für korrekte Variablenamen.

Nun sollte Ihr Pfaddiagramm dem oben wiedergegebenen Vorschlag ähneln.

### 5.3 Ergebnisse für Modelle mit latenten Variablen

Lassen Sie Amos nun die Berechnungen zum fertig spezifizierten Modell ausführen. Es resultieren die folgenden (unstandardisierten) Schätzergebnisse:



Wie es bei der Überprüfung eines *korrekten* Modells zu erwarten ist, kommt der  $\chi^2$ -Gültigkeitstest zu einem günstigen Ergebnis ( $p$ -Level = 0,64):

**Notes for Model (Default model)**

**Computation of degrees of freedom (Default model)**

Number of distinct sample moments:	55
Number of distinct parameters to be estimated:	29
Degrees of freedom (55 - 29):	26

**Result (Default model)**

Minimum was achieved  
 Chi-square = 22,867  
 Degrees of freedom = 26  
 Probability level = ,640

In einem *nonrekursiven* Modell interessiert auch der **Stabilitätsindex**, der betragsmäßig kleiner als Eins sein muss:

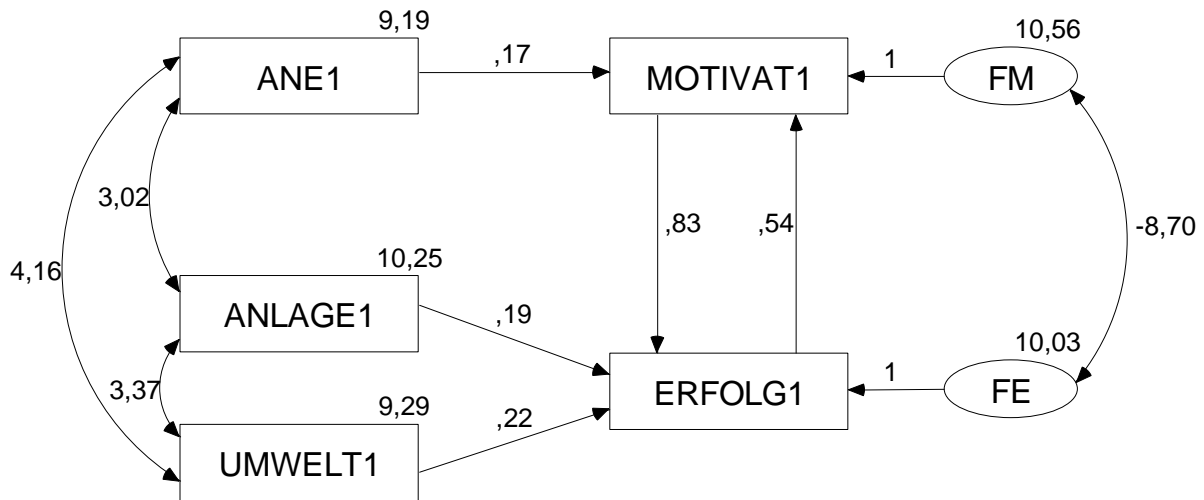
**Notes for Group/Model (Group number 1 - Default model)**

Stability index for the following variables is ,200

ERFOLG  
 MOTIVAT

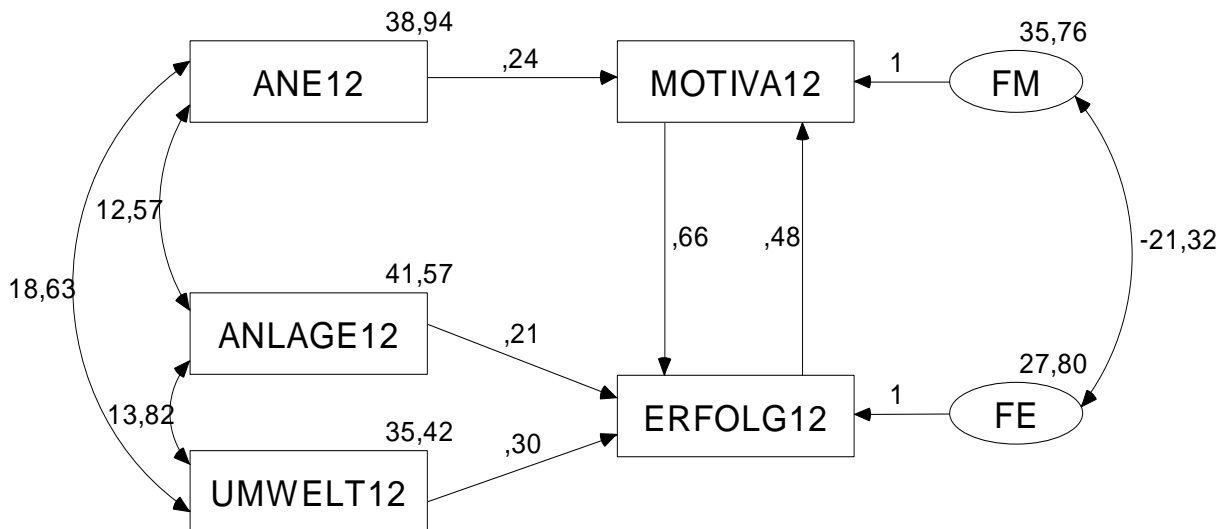
Wie ein Vergleich mit dem datengenerierenden SPSS-Programm zeigt, entsprechen die geschätzten Modellparameter recht gut den wahren Populationswerten. Dies gilt auch für die Reliabilitäten, die im Pfaddiagramm mit den *standardisierten* Schätzergebnissen (siehe Einleitung) über den Indikatoren eingetragen sind.

Zu Vergleichszwecken sollen auch die Ergebnisse einer rein *manifesten* Forschungsmethodologie betrachtet werden. Verwendet man an Stelle der latenten Variablen jeweils den *ersten* Indikator, ergibt sich das folgende Ausgabe-Pfaddiagramm mit unstandardisierten Schätzergebnissen:



Wir erhalten zwar ein vergleichbares Ergebnismuster, doch sind viele Schätzungen deutlich verzerrt.

Es ist allerdings unfair, Schätzungen auf der Basis von jeweils *zwei* Indikatoren pro Konstrukt mit Schätzungen auf der Basis der „halben“ Information zu vergleichen. Verwendet man an Stelle des ersten Indikators jeweils die Summe aus beiden Indikatoren, resultieren folgende Ergebnisse:




Durch diese Testverlängerung und die damit verbundene Reliabilitätssteigerung gewinnt die manifeste Schätzmethode erheblich an Präzision, bleibt aber der latenten Methodologie unterlegen, wie die folgende Tabelle (mit unstandardisierten Schätzergebnissen) zeigt:

Parameter	Wahrer Wert	Schätzer für latente Variablen	Schätzer für manifeste Variablen (Summe der Ind.)	Schätzer für manifeste Variablen (erster Indikator)
MOTIVAT ← ANE	0,3	0,37	0,24	0,17
MOTIVAT ← ERFOLG	0,4	0,42	0,48	0,54
ERFOLG ← ANLAGE	0,3	0,25	0,21	0,19
ERFOLG ← UMWELT	0,4	0,48	0,30	0,22
ERFOLG ← MOTIVAT	0,5	0,47	0,66	0,83

Vermutlich resultiert die Überlegenheit der latenten Methodologie aus ihrer Möglichkeit, die unterschiedlichen Reliabilitäten der Indikatoren zu berücksichtigen.

Bei diesen Vergleichen ist natürlich zu beachten, dass sie auf Ergebnissen einer einzigen Zufallsstichprobe basieren.

In der Regel ist es übrigens wenig hilfreich, aus einer einzelnen manifesten Variablen durch Testhalbierung ein Messmodell mit einer *latenten* Variablen zu erzeugen (vgl. Cohen et al. 2003, S. 474).

Zum Abschluss noch ein Hinweis zur Gestaltung der Pfaddiagramme: Wenn sich die von Amos eingetragenen Parameterschätzer zu nahe kommen, können Sie mit dem -Werkzeug deren Positionen verändern (bei aktivem Modellspezifikations-Pfaddiagramm).

## 6 Modifikationsindikatoren

In den bisherigen Beispielen haben alle Modelle so gut gepasst, dass wir uns nicht für Hilfsmittel zur Diagnose von Spezifikationsfehlern interessieren mussten. Im aktuellen Abschnitt beschäftigen wir uns anhand eines neuen Beispiels damit, wie *lokale* Modellschwächen mit Hilfe der so genannten *Modifikationsindikatoren* aufgespürt werden können. Diese Statistiken geben für einen fixierten oder restringierten Parameter an, welche Reduktion der  $\chi^2$ -Statistik zum Modellgültigkeitstest zu erwarten ist, wenn der Parameter freigesetzt und anschließend das (erweiterte) Modell neu geschätzt wird. Ein Modifikationsindikator enthält also die  $\chi^2$ -Differenz aus zwei geschachtelten Modellen, die sich um *einen* Parameter unterscheiden. Er kann daher bei Verwendung der ML-, GLS- oder ADF-Schätzmethode anhand der  $\chi^2$ -Verteilung mit einem Freiheitsgrad beurteilt werden. Je nach bevorzugter Regel wird man Werte größer 4 ( $\approx$  95% - Quantil) oder 7 ( $\approx$  99% - Quantil) als Kritik der Empirie an der zugrunde liegenden Fixierung oder Restriktion interpretieren. Amos schätzt außerdem für jeden fixierten bzw. restringierten Parameter seine erwartete Veränderung bei Freisetzung (Bezeichnung im Ergebnisprotokoll: **Par Change**).

In einer Studie von Steyer (1988, S. 312) wurden bei 179 Studierenden im Abstand von zwei Monaten jeweils zwei Tests für die Zustandsangst erhoben. Zu jedem Zeitpunkt sind also zwei Indikatoren für die latente Variable Zustandsangst vorhanden. Diese wird als zeitlich variabel angenommen, so dass für die beiden Zeitpunkte unterschiedliche, gleichwohl korrelierte, latente Variablen vorliegen. Insgesamt sind folgende Variablen zu modellieren:

- I1T1** Erster Indikator, erhoben zum ersten Zeitpunkt
- I2T1** Zweiter Indikator, erhoben zum ersten Zeitpunkt
- I1T2** Erster Indikator, erhoben zum zweiten Zeitpunkt
- I2T2** Zweiter Indikator, erhoben zum zweiten Zeitpunkt
- LAST1** Latente Zustandsangst zum ersten Zeitpunkt
- LAST2** Latente Zustandsangst zum zweiten Zeitpunkt
- FI1T1, ...**
- FI2T2** Residuen der Indikatorvariablen

Die Kovarianzmatrix der manifesten Variablen finden Sie in der SPSS-Matrix-Datendatei **Steyer.sav** (genaue Bezugsquelle: siehe Abschnitt 1.3):

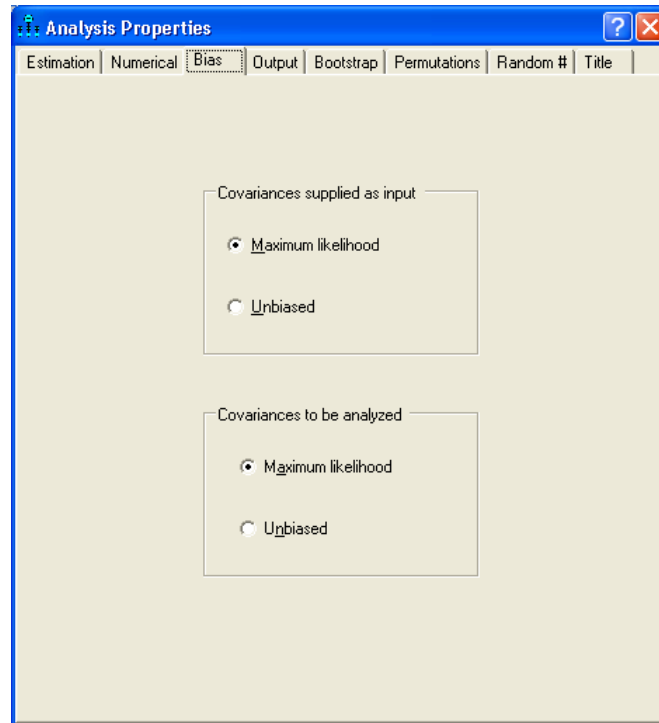
	rowtype_	varname_	i1t1	i2t1	i1t2	i2t2
1	N	I1T1	179,0000	179,0000	179,0000	179,0000
2	COV	I1T1	24,6700	21,8950	10,3530	11,6650
3	COV	I2T1	21,8950	25,1350	10,6240	12,6360
4	COV	I1T2	10,3530	10,6240	27,2390	25,2580
5	COV	I2T2	11,6650	12,6360	25,2580	28,6830
6						

Eine Besonderheit dieser Datei besteht darin, dass sie *Stichprobenkovarianzen* enthält (ermittelt mit Stichprobengröße  $N$  als Nenner), also keine erwartungstreuen Schätzer der Populationsvarianzen (ermittelt mit dem Nenner  $N-1$ ). Amos verwendet für Maximum Likelihood – Schätzungen per Voreinstellung genau solche Stichprobenkovarianzen, interpretiert die Einträge in einer SPSS-Matrix-Datendatei aber als

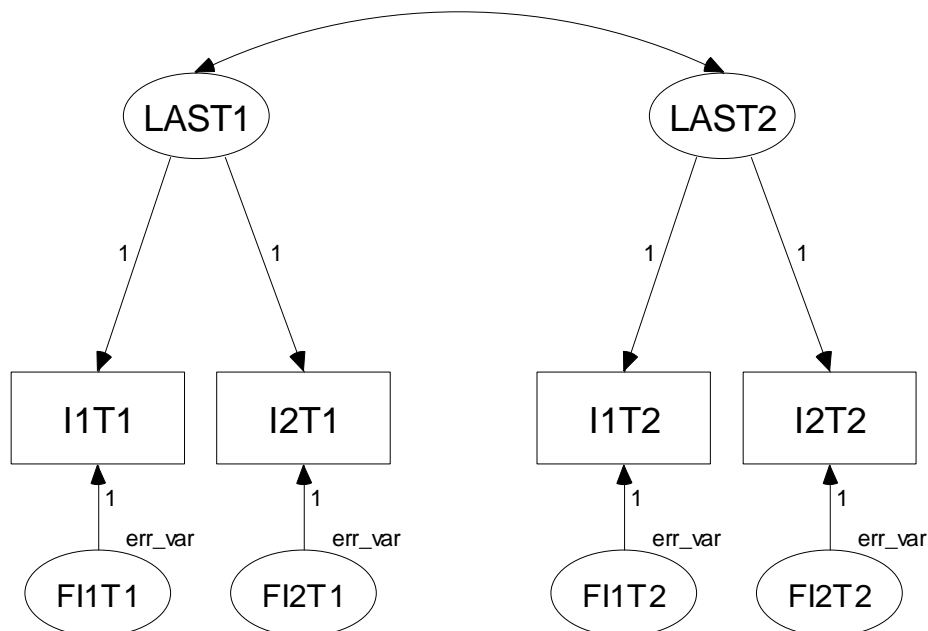
erwartungstreue Schätzer und konvertiert diese per Voreinstellung automatisch. In unserem Fall ist diese Automatik natürlich unerwünscht. Daher informieren wir Amos nach

**View > Analysis Properties > Bias**

darüber, dass die von uns angelieferten **Covariances supplied as input** (ohne Vorbehandlung) für eine **Maximum Likelihood** - Schätzung geeignet sind:



Wir wollen das folgende Modell prüfen:



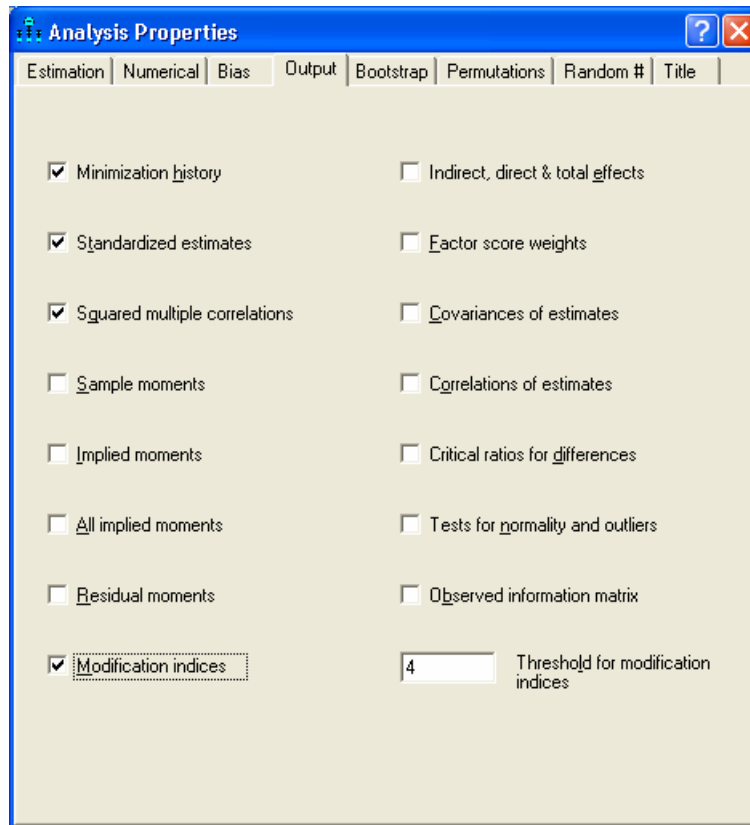
Es enthält zahlreiche Restriktionen:

- Es wurden einige potentielle Ladungspfade weggelassen
- Die verbliebenen Ladungen wurden alle auf den Wert Eins fixiert, was insbesondere eine Gleichheitsrestriktion bedeutet.
- Von einer weiteren Gleichheitsrestriktion sind die vier Fehlervarianzen betroffen.

Bei einem derart strengen Modell sind Anpassungsschwächen zu erwarten, und wir verlangen daher nach

**View > Analysis Properties > Output**

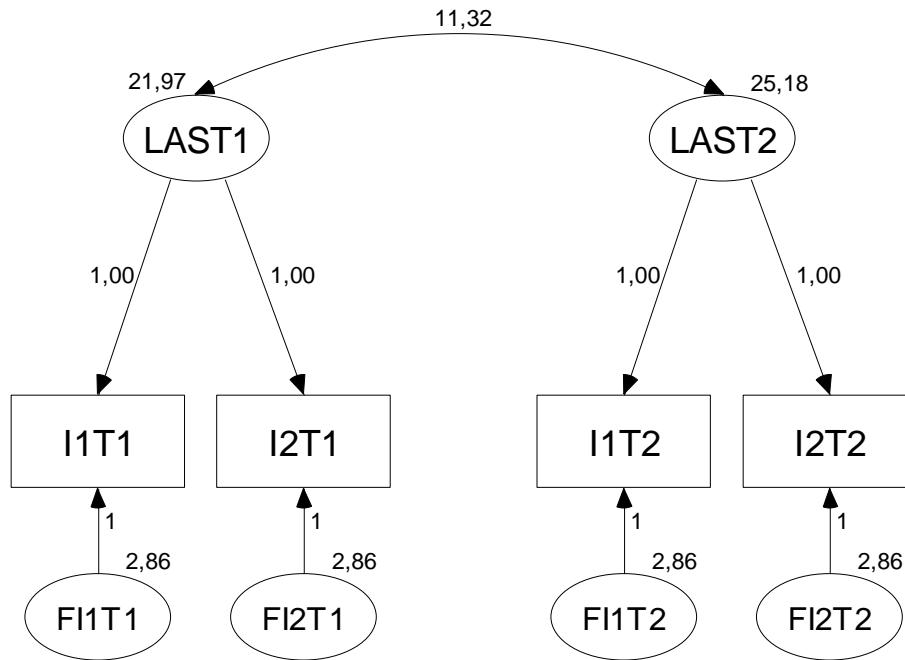
die Ausgabe von Modifikationsindikatoren:



Amos protokolliert nur Modifikationsindikatoren oberhalb der im Feld **Threshold for modification indices** angegebenen kritischen Grenze. Wir entscheiden uns für „Tests“ auf dem 5%-Niveau (siehe oben).

Wir fordern Amos über den Schalter  zur Berechnung der Schätzungen auf erhalten das folgende Ausgabe-Pfaddiagramm (unstandardisiert):





Wider Erwarten akzeptiert der  $\chi^2$ -Modellgültigkeitstest die strengen Restriktionen, was die Eignung des Beispiels für den aktuellen Abschnitt etwas in Frage stellt:

**Result (Default model)**

Minimum was achieved  
 Chi-square = 7,534  
 Degrees of freedom = 6  
 Probability level = ,274

Trotz der günstigen Gesamtbeurteilung artikulieren sich lokale Schwächen des Modells durch Modifikationsindikatoren oberhalb der kritischen Grenze von 4:

**Modification Indices (Group number 1 - Default model)**

**Covariances: (Group number 1 - Default model)**

	M.I.	Par Change
FI2T1 <--> FI2T2	4,527	,849

**Regression Weights: (Group number 1 - Default model)**

	M.I.	Par Change
I1T2 <--- I2T1	4,600	-,075
I2T2 <--- I2T1	4,925	,077

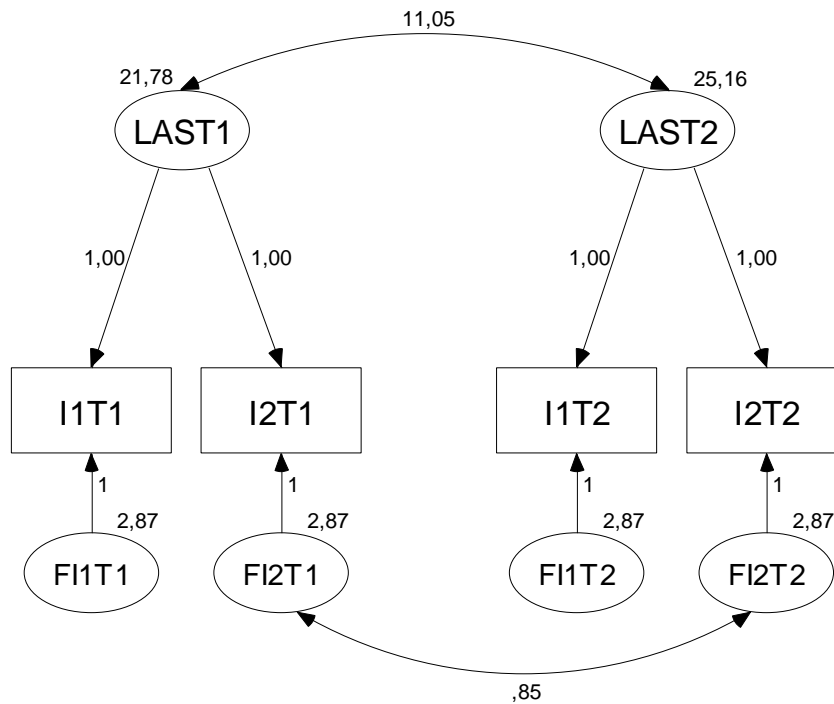
Zu Gunsten eines möglichst einfachen Modells wird man eventuell nach einem bestandenen Globaltest auf eine Fit-Optimierung verzichten. Hier soll jedoch demonstriert werden, wie man auf bedeutsame Modifikationsindikatoren reagieren kann.

Die Wahl der zuerst zu beseitigenden Restriktion sollte sich *nicht* strikt an der Modifikationsindikatoren-Rangreihe orientieren, sondern auch theoretisch begründbar sein. Im Beispiel ist der Modifikationsindex für die Kovarianz von **FI2T1** und **FI2T2** (im Modell auf Null fixiert) mit einem Wert von 4,53 „signifikant“ und stellt eine durchaus nachvollziehbare Kritik an unserem Modell dar: Die beiden Messungen des zweiten Indikators haben vermutlich über den Einfluss der latenten Variablen hinaus eine gemeinsame Wurzel. Durch Freisetzen der Kovarianz von **FI2T1** und **FI2T2** reduziert sich die  $\chi^2$ -Statistik zum Modellgültigkeitstest um 4,59 (etwas stärker als vom Modifikationsindikator prognostiziert) von 7,53 auf 2,94:

**Result (Default model)**

Minimum was achieved  
 Chi-square = 2,939  
 Degrees of freedom = 5  
 Probability level = ,709

Das erweiterte Modell sieht so aus:



In der Textausgabe zum erweiterten Modell finden sich *keine* signifikanten Modifikationsindikatoren mehr.

Leider kann Amos die außerordentlich hilfreichen Modifikationsindikatoren *nicht* berechnen, wenn wegen fehlender Werte die FIML-Schätzmethode (*Full Information Maximum Likelihood*) zum Einsatz kommt.

## 7 Explorative Techniken

Obwohl die Strukturgleichungsanalyse tendenziell eine eher konfirmatorische (hypothesenprüfende) Methodologie darstellt, erlaubt sie auch eine explorative (hypothesengenerierende bzw. modellsuchende) Datenanalyse. Amos kann einen durch *optionale* Parameter aufgespannten Raum von potentiellen Modellen nach einer „optimalen Lösung“ durchsuchen. Bei dieser Spezifikationsuche werden alle potentiellen Modelle geschätzt und nach diversen Kriterien beurteilt.

### 7.1 Gütemaße

Bevor wir uns mit technischen Details dieser Spezifikationsuche befassen, sollen zunächst einige **Gütemaße** angesprochen werden, welche die bisher ausschließlich betrachtete Prüfgröße des  $\chi^2$ -Gültigkeitstests (samt Überschreitungswahrscheinlichkeit) bei der Modellbeurteilung wesentlich ergänzen können. Bei den folgenden Ausführungen verwenden wir einige Bezeichnungen aus der Amos-Ausgabe:

- **CMIN**  
Prüfgröße des  $\chi^2$ -Modellgültigkeitstests
- **NP**  
Anzahl der frei schätzbaren Parameter
- **N**  
Stichprobengröße
- **DF**  
Anzahl der Freiheitsgrade (= Anzahl der Stichprobenmomente – **NP**)

#### CMIN und die zugehörige Überschreitungswahrscheinlichkeit P

In die Prüfgröße **CMIN** des  $\chi^2$ -Modellgültigkeitstests gehen ein:

- Die minimale Diskrepanz **FMIN** zwischen der Stichproben-Momentenmatrix und der vom geschätzten Modell implizierten Momentenmatrix, wobei die Diskrepanzdefinition von der Schätzmethode abhängt
- Die um Eins verminderte Stichprobengröße **N**

Speziell die starke Abhängigkeit von **N** beeinträchtigt die Nützlichkeit der Prüfgröße **CMIN** (und der zugehörigen Überschreitungswahrscheinlichkeit **P**) zur Modellbeurteilung bei größeren Stichproben:

$$\mathbf{CMIN} := (\mathbf{N} - 1) \cdot \mathbf{FMIN}$$

Bei gleicher Stichproben-Momentenmatrix und gleichem Modell führt ein doppelt so großes **N** zu einer ungefähr doppelt so großen **CMIN**-Statistik. Bei Gültigkeit des Modells ist dies eine sinnvolle Normierung, weil bei wachsendem **N** eine immer besserer Fit von Modell und Daten zu erwarten ist. Ist das Modell jedoch streng genommen falsch, was in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften als sicher angenommen werden kann, so konvergiert die Diskrepanz **FMIN** bei wachsendem **N** *nicht* gegen Null, und **CMIN** steigt drastisch an. Die Power des  $\chi^2$ -Tests zur Aufdeckung der als sicher anzunehmenden Modelldefekte steigt mit dem Stichprobenumfang. Damit geht auch für ein „gut passendes“ Modell die Wahrscheinlichkeit gegen Eins, dass es (streng genommen zu Recht) verworfen wird.

#### CMIN/DF

Bei den Schätzmethode mit approximativer  $\chi^2_{df}$ -Verteilung der **CMIN**-Statistik (ML, GLS, ADF) ist für *gültige* Modelle ein Quotient nahe Eins zu erwarten. Empfehlungen zur Obergrenze für *akzeptable* Modelle schwanken zwischen 2 und 5.

## F0, RMSEA und PCLOSE

Als **F0** bezeichnet Amos die folgende Schätzung der Diskrepanz zwischen der *Populations*-Momentenmatrix und der Modellimplikation:

$$\mathbf{F0} := \max\left(\frac{\mathbf{CMIN} - \mathbf{DF}}{\mathbf{N} - 1}, 0\right)$$

Während das **F0**-Kriterium keine Belohnung für sparsame Modelle (mit vielen Freiheitsgraden) enthält, ist diese im **RMSEA**-Maß (*Root Mean Square Error of Approximation*) enthalten:

$$\mathbf{RMSEA} := \sqrt{\frac{\mathbf{F0}}{\mathbf{DF}}}$$

Amos liefert unter der Bezeichnung **LO90** bzw. **HI90** auch eine untere bzw. obere Schranke für das 90% - Vertrauensintervall zum RMSEA-Wert.

Browne & Cudeck (1993, S. 136ff) geben zum **RMSEA**-Maß folgende Bewertungshinweise:

<b>RMSEA</b> ≤ 0,05	gut
0,05 < <b>RMSEA</b> ≤ 0,08	akzeptabel
<b>RMSEA</b> > 0,08	inakzeptabel

Amos liefert unter der Bezeichnung **PCLOSE** eine Größe, die tendenziell als Überschreitungswahrscheinlichkeit zur folgenden Nullhypothese interpretiert werden kann:

$$H_0: \mathbf{RMSEA} \leq 0,05$$

## AIC, BCC und BIC

Beim **Akaike Information Criterion** (AIC), beim **Browne-Cudeck Criterion** (BCC) und beim **Bayes Information Criterion** (BIC) handelt es sich um informationstheoretische Gütemaße, die komplexe Modelle (mit zahlreichen Parametern) bestrafen. Wir beschränken uns auf die Darstellung des Akaike Information Criterion, welches die historische Vorreiterrolle gespielt hat und eine angenehm einfache Formel besitzt:

$$\mathbf{AIC} := \mathbf{CMIN} + 2 \mathbf{NPAR}$$

Hinsichtlich der wachsenden Tendenz zur Bevorzugung sparsamer Modelle bilden die drei Gütemaße folgende Rangreihe:

$$\mathbf{AIC} < \mathbf{BCC} < \mathbf{BIC}$$

## AIC<sub>0</sub>, BCC<sub>0</sub> und BIC<sub>0</sub>

Subtrahiert man vom jeweiligen Gütemaß das Minimum aller zum Vergleich anstehender Modelle, dann erreicht das beste Modell den Wert Null und die Interpretation wird etwas erleichtert.

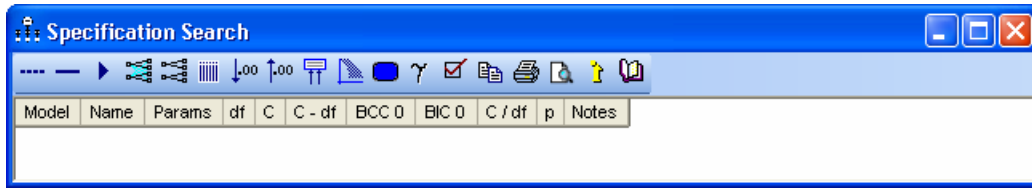
## 7.2 Spezifikationssuche

Wir greifen auf die in Abschnitt 5 beschriebenen Simulationsdaten und das dort vorgestellte Pfaddiagramm zurück und starten mit

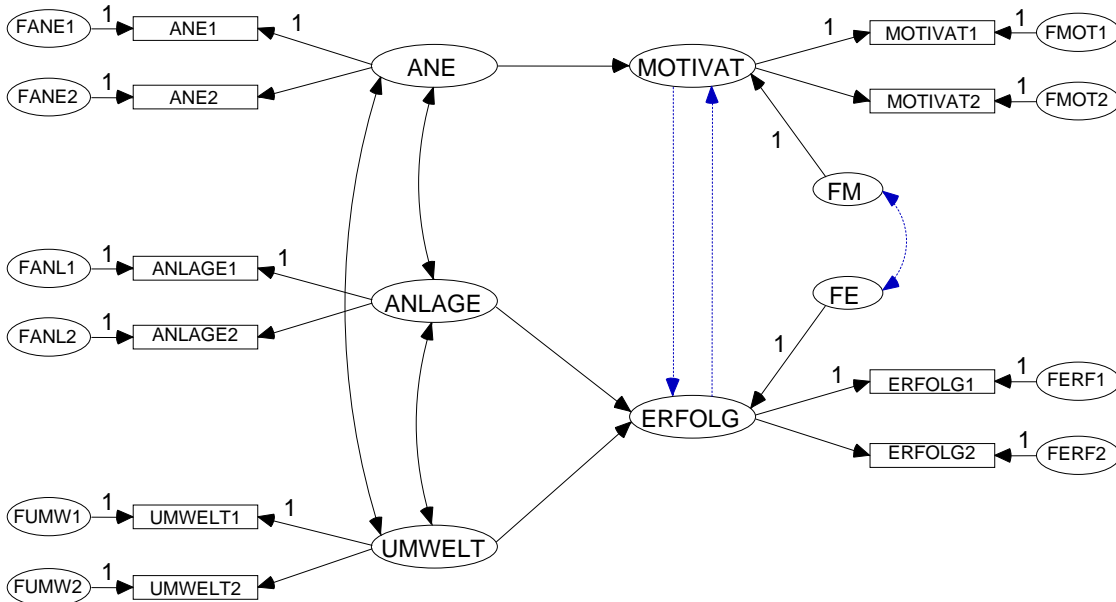


oder **Analyse > Specification Search**

das folgende Fenster:



Bei eingerastetem  - Schalter deklarieren wir im Pfaddiagramm per Mausklick drei Parameter als **optional**:

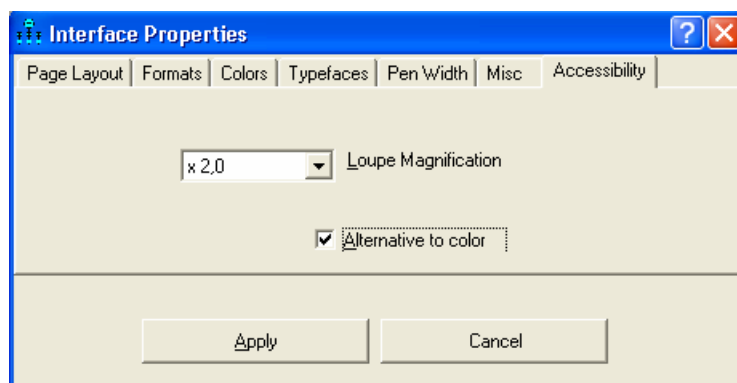


Bei eingerastetem  - Schalter kann man einen Parameter per Mausklick wieder in den Normalzustand zurückversetzen.

Damit die *optionalen* Parameter nicht nur farblich, sondern auch über den Linientyp hervorgehoben werden, muss man nach

### View > Interface Properties > Accessibility


das Kontrollkästchen **Alternative to color** markieren:

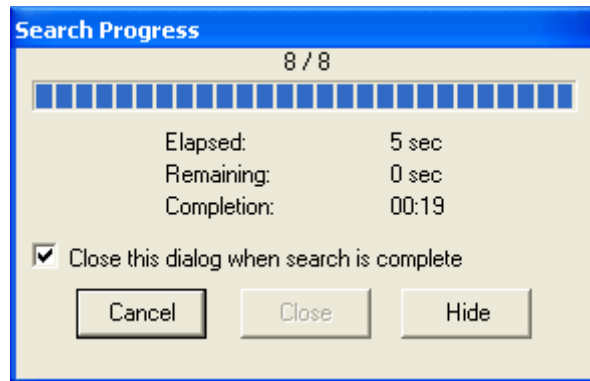


Die optionalen Parameter legen fest, welche Modelle bei der Spezifikationsuche zu berücksichtigen sind, wobei jeder einzelne optionale Parameter einen Faktor mit den folgenden Zuständen beisteuert:

- Parameter ist auf Null fixiert
- Parameter ist frei schätzbar

Gemeinsam ergeben  $k$  optionale Parameter  $2^k$  Kombinationen bzw. Kandidatenmodelle, so dass im Beispiel acht Modelle zur Konkurrenz zugelassen sind.

Mit einem Mausklick auf den Schalter  der Spezifikations-Symbolleiste lässt man alle Modelle schätzen:



Anschließend erscheinen im Fenster der Spezifikationssuche die Ergebnisse aller Modelle, z.B.:

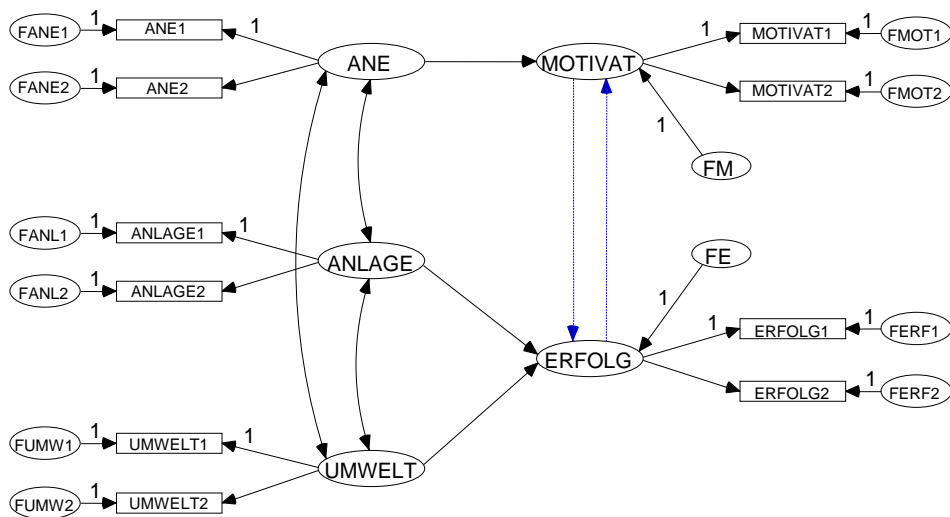
Model	Name	Params	df	C	C - df	BCC 0	BIC 0	C / df	p	Notes
1	Default model	26	29	140,177	111,177	112,016	104,233	4,834	0,000	
2	Default model	27	28	33,350	5,350	7,249	3,357	1,191	0,223	
3	Default model	27	28	35,390	7,390	9,289	5,398	1,264	0,159	
4	Default model	27	28	45,058	17,058	18,957	15,065	1,609	0,022	
5	Default model	28	27	24,042	-2,958	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	0,890	0,628	
6	Default model	28	27	28,024	1,024	3,981	3,981	1,038	0,410	
7	Default model	28	27	33,336	6,336	9,294	9,294	1,235	0,186	
8	Default model	29	26	22,867	<u>-3,133</u>	0,884	4,775	<u>0,879</u>	<u>0,640</u>	
Sat	[Saturated]	55	0	0,000	0,000	31,555	136,625			


In den vergleichsrelevanten Spalten ist der Wert des günstigsten Modells unterstrichen.

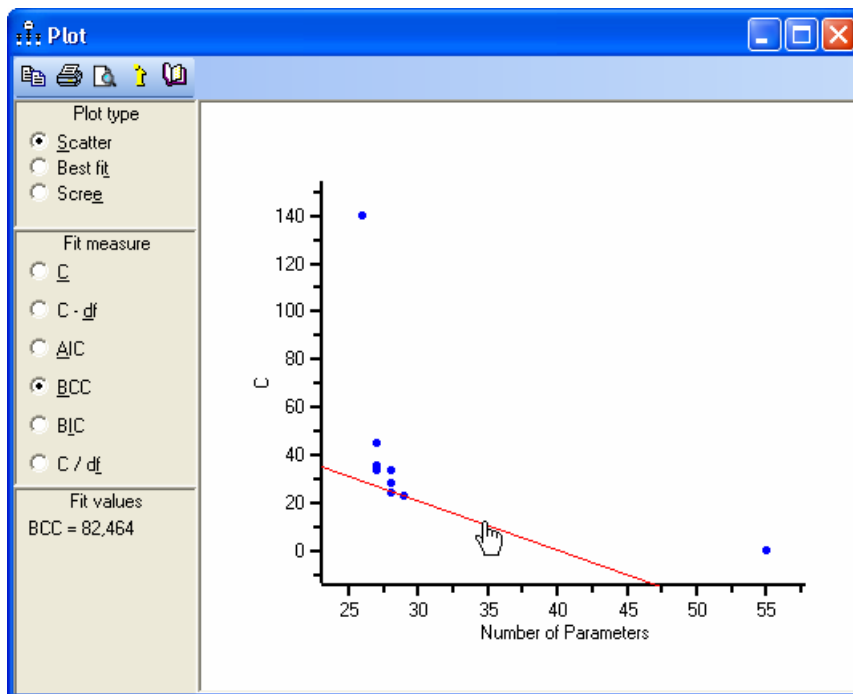
Bei Verwendung *mehrerer* Kriterien ist kaum damit zu rechnen, dass *ein* Modell *alle* Kriterien für sich entscheidet. Im Beispiel kommen zwei Modelle in die engere Wahl:

- Modell 8  
Dies ist das wahre Modell der Simulationsstudie (siehe Abschnitt 5). Es entscheidet die **CMIN** – abhängigen Disziplinen für sich.
- Modell 5  
Modell 5 gewinnt die informationstheoretischen Disziplinen. Hier ist im Vergleich zum Modell 5 die Kovarianz der Residuen zu den endogenen Variablen auf Null fixiert.

Per Doppelklick auf seine Zeile im Spezifikationsfenster erhält man zu einem Modell sein Pfaddiagramm, z.B. bei Modell 5:

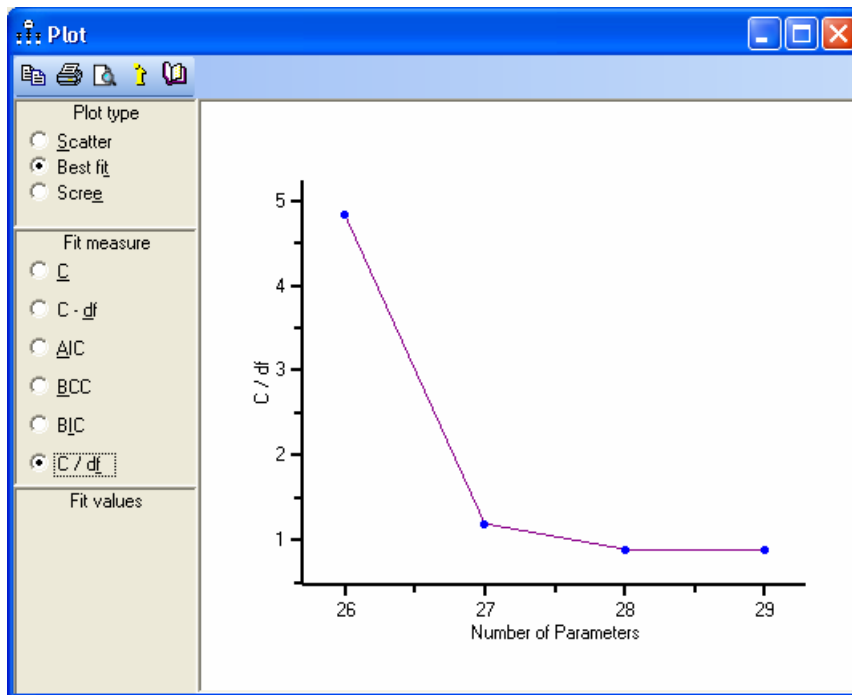


Über den Schalter  des Spezifikationsfensters ist eine Dialogbox zugänglich, die zahlreiche grafische Hilfen zur Modellauswahl bietet:



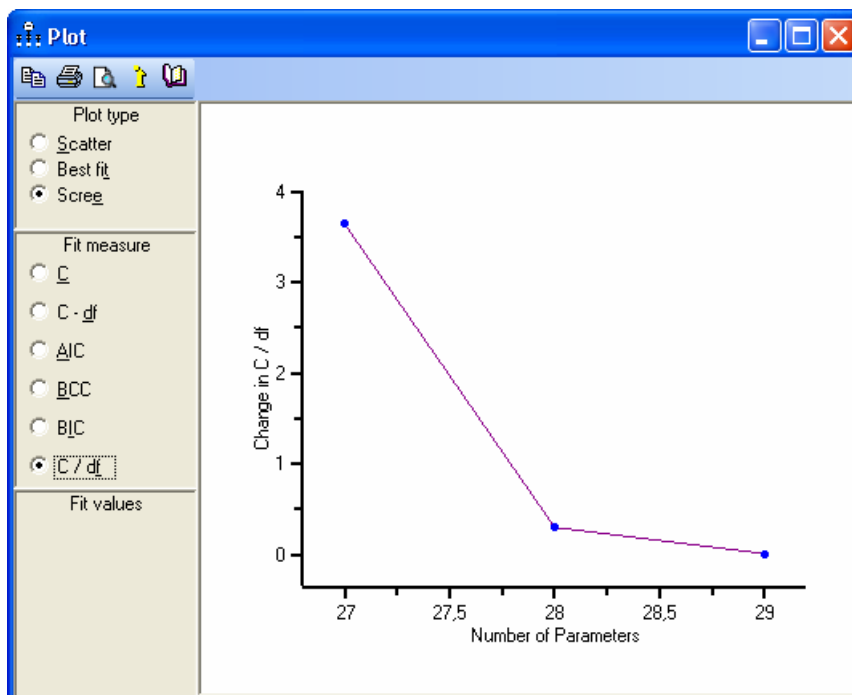
Im **Scatter**-Plot sind die (CMIN, NPAR) – Paare aller Modelle zu sehen, wobei man per Mausklick auf einen Punkt die Nummer und den **CMIN**-Wert des zugehörigen Modells erhält. Eine verschiebbare Gerade kennzeichnet für ein **Fit measure** alle Modell mit konstantem Wert für dieses Kriterium. So zeigt sich in unserem Beispiel, dass die Modelle 5 und 8 praktisch denselben **BCC**-Wert besitzen.

In folgendem Plot ist der beste **CMIN/DF** – Wert für ein Modell mit 26, 27, 28 oder 29 Parametern zu sehen:



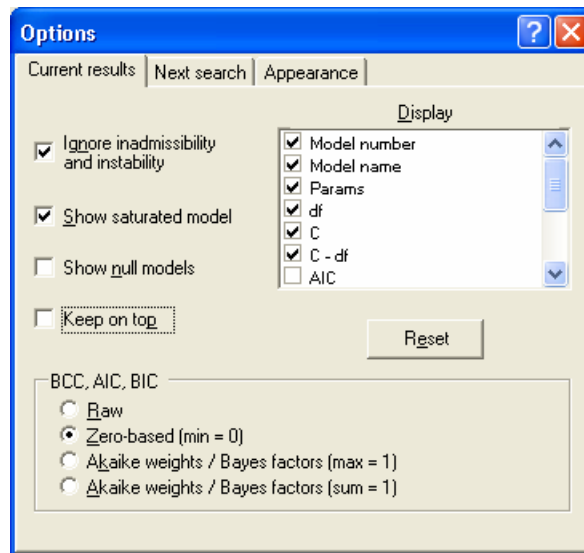
Offenbar empfiehlt es sich *nicht*, weniger als 27 Parameter zu verwenden.

Der folgende **Scree**-Plot dokumentiert für das beste Modell mit 27 Parametern eine deutliche Überlegenheit beim **CMIN/DF** – Kriterium gegenüber dem besten Modell mit 26 Parametern (Reduktion um 3,643), während bei einer weiteren Steigerung der Parameterzahl nur noch geringfügige Verbesserungen erreicht werden (0,301 bzw. 0,011):



Mit dem Schalter  erreicht man einen Optionsdialog:





Hier kann man z.B. über das Kontrollkästchen **Keep on top** festlegen, ob das Fenster der Spezifikationsuche ständig im Vordergrund bleiben soll.

## 8 Die simultane Analyse mehrerer Gruppen

Arbuckle (2007, S. 161) nennt zwei wesentliche Vorteile der simultanen Analyse mehrerer Gruppen im Vergleich zu Einzelanalysen pro Gruppe:

- Es können Signifikanztests zu Gruppenunterschieden hinsichtlich diverser Verteilungseigenschaften durchgeführt werden (z.B. Vergleich von Kovarianzmatrizen, Ladungsmustern, Pfadkoeffizienten, Erwartungswerten).  
Dies ermöglicht insbesondere die Überprüfung von *Interaktionshypothesen*, allerdings mit der Einschränkung auf *kategoriale* Moderatoren (siehe Baltes-Götz 2006). Man kann z.B. untersuchen, ob die Gruppenzugehörigkeit den Effekt einer latenten exogenen Variablen auf eine latente endogene Variable moderiert.
- Sind die Gruppen hinsichtlich wesentlicher Verteilungseigenschaften äquivalent, erlaubt die simultane Analyse präzisere Parameterschätzungen.

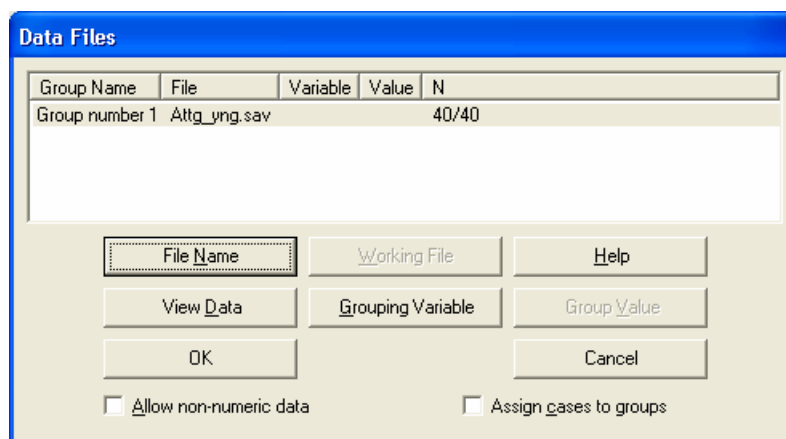
Im Demonstrationsbeispiel greifen wir wieder auf die Daten aus Attig (1983) zurück (vgl. Abschnitt 2), betrachten aber neben den jungen Probanden eine zusätzliche Stichprobe mit *alten* Teilnehmern. Dabei interessieren wir uns nur für die einfache und die unterstützte Erinnerungsleistung *vor* dem Gedächtnistraining (Variablen: **recall1**, **cued1**).

Die Daten jeder Gruppe werden in einer eigenen Datei erwartet. In unserem Beispiel kommen die SPSS-Dateien **Attg\_yng.sav** und **Attg\_old.sav** zum Einsatz, die sich im **Examples**-Unterverzeichnis zum Amos – Programmordner befinden.

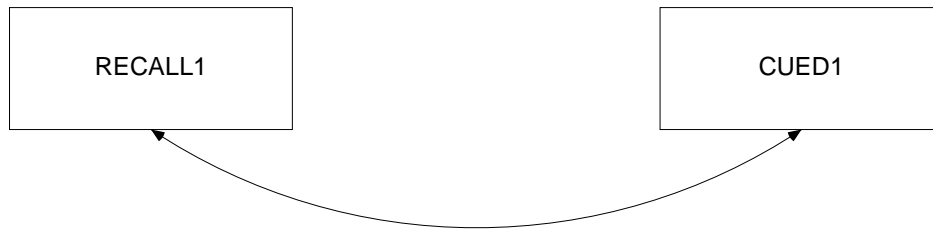
Weiterhin gelten folgende Regeln:

- Per Voreinstellung sind die Pfaddiagramme der einzelnen Gruppen identisch. Wenn es dabei bleibt, muss also nur *ein* Pfaddiagramm gezeichnet werden.
- Für unbenannte Parameter schätzt Amos in jeder Gruppe einen eigenen Wert.  
Die beiden ersten Regeln kann man also so zusammenfassen: Per Voreinstellung besitzen die Gruppen eine identische Modellstruktur, aber individuelle Parameterwerte.
- Parameter aus verschiedenen Gruppen können durch identische Benennung gleich gesetzt werden (vgl. Abschnitt 4.3). Derartige Restriktionen erlauben sehr flexible Hypothesenprüfungen.

Öffnen Sie in einem neuen Amos-Projekt über **File > Data Files > File Name** die Datei der jüngeren Probanden:

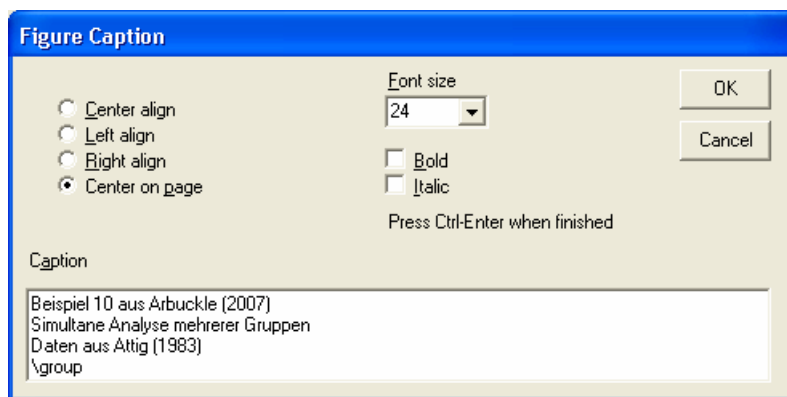


Erstellen Sie das folgende Pfaddiagramm:



Beispiel 10 aus Arbuckle (2007)  
 Simultane Analyse mehrerer Gruppen  
 Daten aus Attig (1983)  
 Group number 1

In der Diagrammbeschriftung (zu erstellen mit dem **Title**-Werkzeug) sorgt das Testmakro `\group` dafür, dass die aktuell dargestellte Gruppe stets erkennbar ist:

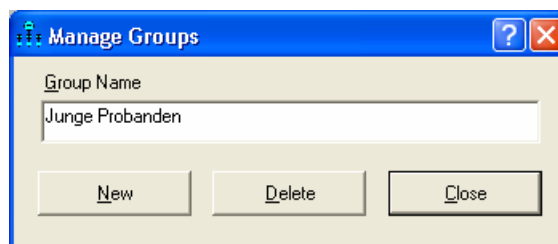


Nun wollen wir noch eine zweite Gruppe in die Analyse aufnehmen und außerdem für beide Gruppen eine informative Bezeichnung vereinbaren. Dazu starten wir den **Gruppenmanager** mit

### Analyze > Manage Groups

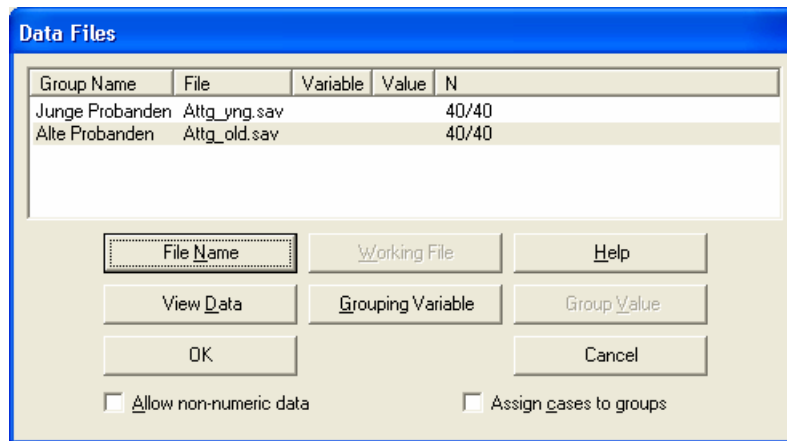
Alternativ kann der Gruppenmanager auch per Doppelklick auf einen Eintrag im Gruppenauswahlbereich des Amos-Fensters gestartet werden.

Zunächst ersetzen wir die automatisch vergebene Gruppenbezeichnung **Group number 1** durch **Junge Probanden**:



Dann legen wir mit **New** eine weitere Gruppe an und benennen diese gleich passend.

Schließlich muss über **File > Data Files** noch die Eingabedatei zur zweiten Gruppe vereinbart werden:



Nach unseren bisherigen Modellspezifikationen hat Amos in jeder Gruppe zwei Varianzen und eine Kovarianz zu schätzen. Es sind keine Restriktion und damit auch keine Freiheitsgrade für einen Modelltest vorhanden, wie die Textausgabe bestätigt:

**Computation of degrees of freedom (Default model)**

Number of distinct sample moments: 6  
 Number of distinct parameters to be estimated: 6  
 Degrees of freedom (6 - 6): 0

**Result (Default model)**

Minimum was achieved  
 Chi-square = ,000  
 Degrees of freedom = 0  
 Probability level cannot be computed

**Scalar Estimates (Junge Probanden - Default model)**

**Maximum Likelihood Estimates**

**Covariances: (Junge Probanden - Default model)**

		Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
RECALL1	<--> CUED1	3,225	,944	3,416	***	

**Variances: (Junge Probanden - Default model)**

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
RECALL1	5,788	1,311	4,416	***	
CUED1	4,210	,953	4,416	***	

Scalar Estimates (Alte Probanden - Default model)

Maximum Likelihood Estimates

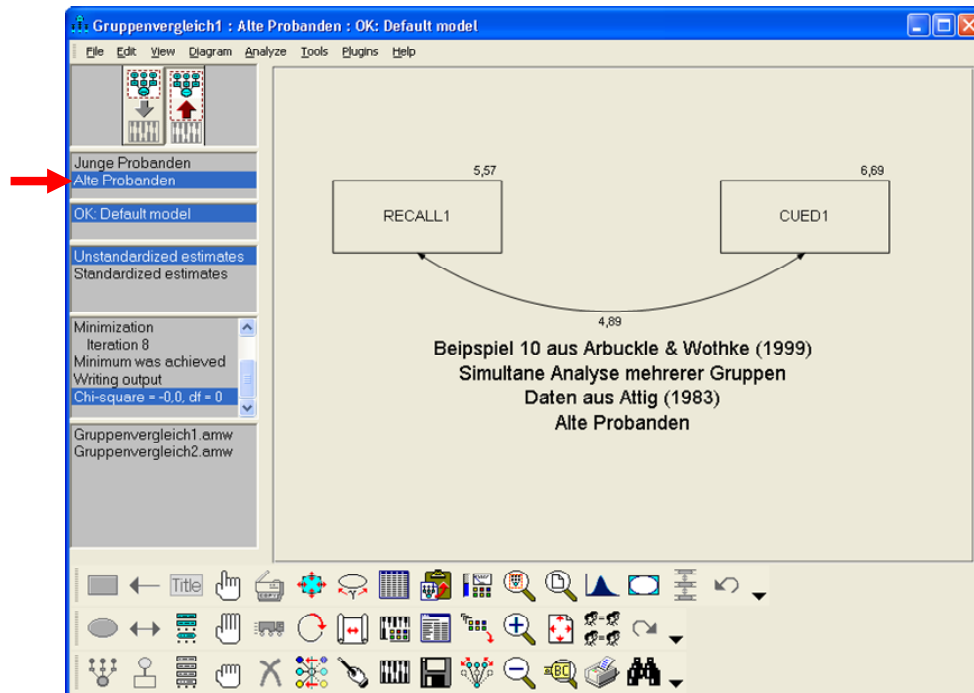
Covariances: (Alte Probanden - Default model)

		Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
RECALL1	<--> CUED1	4,887	1,252	3,902	***

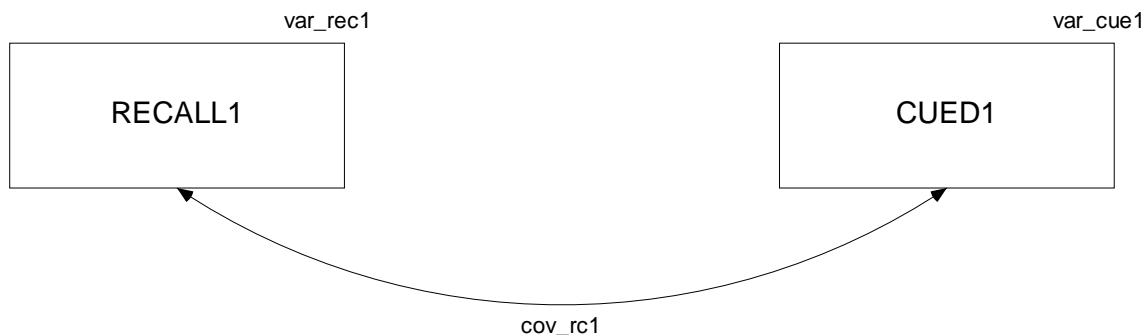
Variances: (Alte Probanden - Default model)

	Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
RECALL1	5,569	1,261	4,416	***
CUED1	6,694	1,516	4,416	***

Das Ausgabe-Pfaddiagramm zeigt jeweils die Schätzergebnisse der im Gruppenauswahlbereich des Amos-Fensters markierten Gruppe, z.B.:



Nun soll die Hypothese identischer Varianz-Kovarianzmatrizen geprüft werden. Dazu geben wir korrespondierenden Parametern in beiden Gruppen identische Namen:



Auch bei offener **Object Properties** – Dialogbox sind Gruppenwechsel per Mausklick auf die Einträge im Gruppenauswahlbereich möglich.

Der  $\chi^2$ -Modelltest hat keine Einwände gegen die Gleichheitsrestriktionen, also gegen die Nullhypothese homogener Varianz-Kovarianzmatrizen:

**Notes for Model (Default model)**

**Computation of degrees of freedom (Default model)**

Number of distinct sample moments: 6  
 Number of distinct parameters to be estimated: 3  
 Degrees of freedom (6 - 3): 3

**Result (Default model)**

Minimum was achieved  
 Chi-square = 4,588  
 Degrees of freedom = 3  
 Probability level = ,205

Neben den Schätzern sind auch die Standardfehler in beiden Gruppen gleich und dabei kleiner als im un-restringierten Modell:

**Scalar Estimates (Junge Probanden - Default model)**

**Maximum Likelihood Estimates**

**Covariances: (Junge Probanden - Default model)**

		Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
RECALL1	<--> CUED1	4,056	,780	5,202	***cov_rc1

**Variances: (Junge Probanden - Default model)**

	Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
RECALL1	5,678	,909	6,245	***var_rec1
CUED1	5,452	,873	6,245	***var_cue1

Der eingangs erwähnte Präzisionsgewinn bei der simultanen Analyse mehrerer Gruppen stellt sich also genau dann ein, wenn durch Gleichheitsrestriktionen gemeinsame Parameterschätzungen möglich werden.

## 9 Bootstrapping

In der amerikanischen Variante der Münchhausen-Geschichte schafft es der Held, sich an den eigenen Stiefelriemen aus dem Sumpf zu ziehen, und das vorgeschlagene Verfahren liefert den Namen für eine prominente statistische Schätz- und Testmethodologie, die erstmals von Efron (1982) ausformuliert worden ist.

### 9.1 Prinzip und Nutzen

Man behandelt die Stichprobe als *Population*, ermittelt durch Ziehen mit Zurücklegen zahlreiche Sekundärstichproben (meist 500 – 1000) mit derselben Größe wie die Originalstichprobe, wobei in der Regel etliche Fälle *mehrfach* in einer Sekundärstichprobe vertreten sind. Aus jeder Sekundärstichprobe wird mit den üblichen Methoden (z.B. ML) ein Schätzer für den interessierenden Parameter gewonnen, so dass man eine empirische Stichprobenkennwerteverteilung erhält. Diese ersetzt die theoretische Stichprobenkennwerteverteilung, die auf der Normalverteilungsannahme (vgl. Abschnitt 3.1) und Asymptotik basiert. Aus der empirischen Stichprobenkennwerteverteilung lassen sich Vertrauensintervalle und Testentscheidungen konstruieren, die nicht von der Normalverteilungsannahme abhängen und eventuell mit kleineren Stichproben auskommen.

Lange war die benötigte Rechenleistung ein Hindernis für die Weiterentwicklung und Anwendung der Bootstrap-Technologie, doch mittlerweile suchen die CPU-Hersteller nach relevanten Anwendungen für ihre Gigahertz- und Multicore-Boliden.

In folgenden Situationen ist die voraussetzungsfreie und sehr generell einsetzbare Ermittlung von Vertrauensintervallen zu Parameterschätzungen durch Bootstrap-Methoden von Interesse:

- Bei grob verletzter Normalverteilungsannahme sind die daraus abgeleiteten Standardfehler in der Regel zu klein und die zugehörigen Tests zu liberal. Mit Hilfe der Bootstrap-Technik gelangt man in vielen Fällen zu realistischeren Standardfehlern und vermeidet überhöhte  $\alpha$ -Fehlerraten.
- Für manche Statistiken (z.B. Determinationskoeffizienten, spezielle Modellgültigkeitskriterien, indirekte Effekte) lassen sich aus der Normalverteilungsannahme keine Standardfehler herleiten.

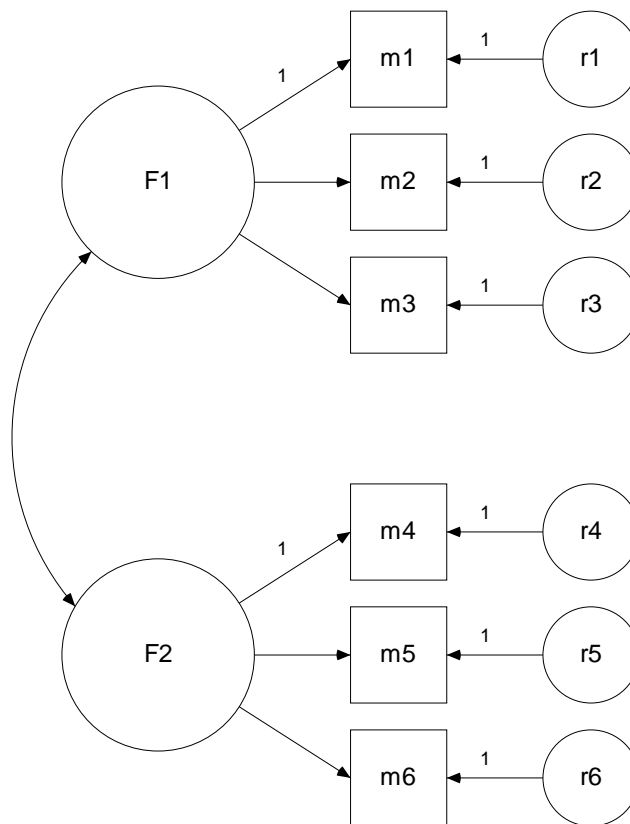
Damit eine Stichprobe als Pseudo-Population taugt, muss sie repräsentativ und hinreichend groß sein. Leider sind präzise Angaben zur erforderlichen Minimalgröße kaum zu finden. Bei sehr großen Stichproben ( $N > 1000$ ) kann man darauf setzen, dass sich Verletzungen der Normalverteilungsannahme nur geringfügig auf die letztlich relevanten Stichprobenkennwerteverteilungen auswirken (zentraler Grenzwertsatz), so dass Bootstrap-Methoden hier wenig relevant sind.

Die Standardabweichung der Parameterschätzungen aus den Sekundärstichproben liefert den **Bootstrap-Standardfehler**. Über das 2,5- und das 97,5 - Perzentil erhält man ein 95% - **Bootstrap-Vertrauensintervall**. Allerdings hat Efron (1987) eine verbesserte Variante vorgeschlagen, die Amos als *bias-corrected bootstrap confidence interval* anbietet. Nach Efron & Tibshirani (1993) lässt sich die Wahrscheinlichkeit schätzen, aus einer Population mit dem Parameterwert Null eine Stichprobe mit einem mindestens betragsgleichen Parameterschätzer zu gewinnen.

Bei einer großen Anzahl von Sekundärstichproben (z.B. 1000) werden sich die mittleren Parameterschätzungen aus den Sekundärstichproben kaum vom Originalschätzwert unterscheiden. Hier bietet die Bootstrap-Technik also keinen Genauigkeitsgewinn, und in der Regel wird man den Originalschätzwert verwenden. Demgegenüber können die Standardfehler, Vertrauensintervalle und Hypothesentests der Bootstrap-Technik von Nutzen sein.

### 9.2 Beispiel

Als Beispiel betrachten wir eine künstliche Population mit der folgenden faktoriellen Struktur von manifesten Variablen **M1**, ..., **M6**<sup>1</sup>



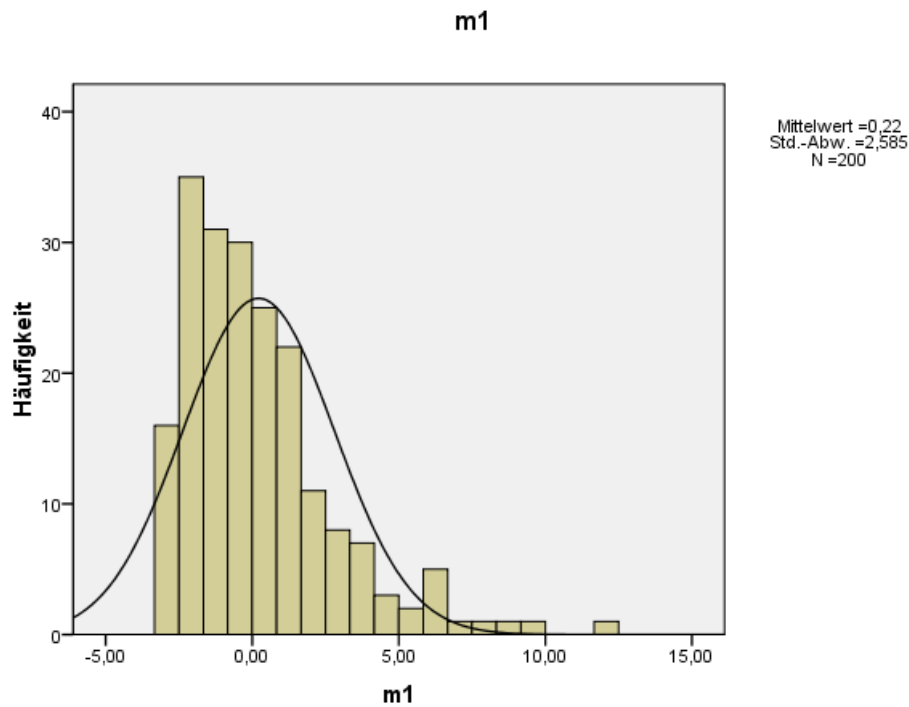
und den Ladungen:

Indikator	Faktor	
	F1	F2
M1	1	0
M2	0,5	0
M3	0	0
M4	0	1
M5	0	0,5
M6	0	0

Wie die beiden latenten Variablen sind auch alle manifesten Variablen (positiv) schief verteilt, z.B.:

<sup>1</sup> Sie finden das erzeugende SPSS-Programm **mcb.sps** und die Datendatei **mcb.sav** mit den resultierenden Zufallsdaten an der in Abschnitt 1.3 vereinbarten Stelle.





Die ML-Schätzergebnisse aus einer Stichprobe mit 200 Fällen zeigen trotz verletzter Normalitätsannahme einen guten Fit:

**Result (Default model)**

Minimum was achieved  
Chi-square = 9,743  
Degrees of freedom = 8  
Probability level = ,284

Allerdings wird die Ladung von **M6** auf dem Faktor **F2** irrtümlich als signifikant beurteilt:

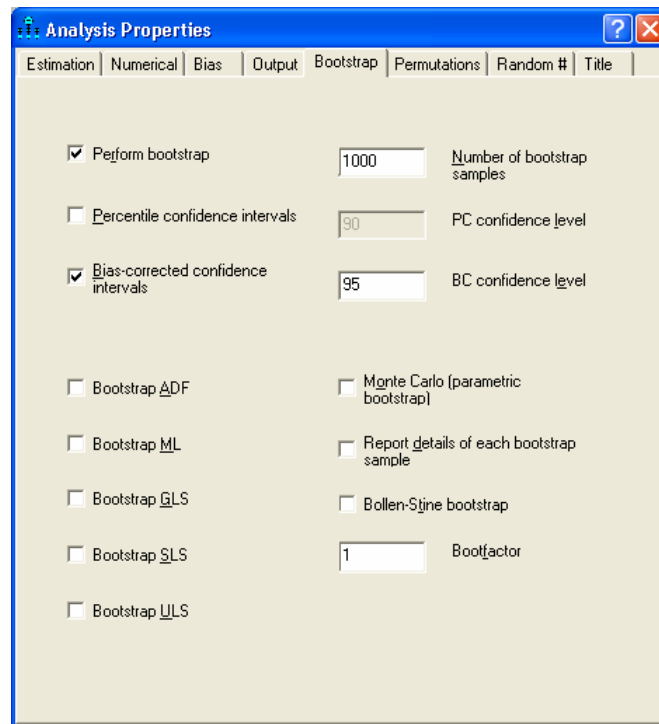
**Regression Weights: (Group number 1 - Default model)**

		Estimate	S.E.	C.R.	PLabel
m1 <---	F1	1,000			
m2 <---	F1	,419	,105	3,979	***
m3 <---	F1	-,066	,058	-1,137	,255
m4 <---	F2	1,000			
m5 <---	F2	,635	,150	4,240	***
m6 <---	F2	,220	,096	2,299	,021

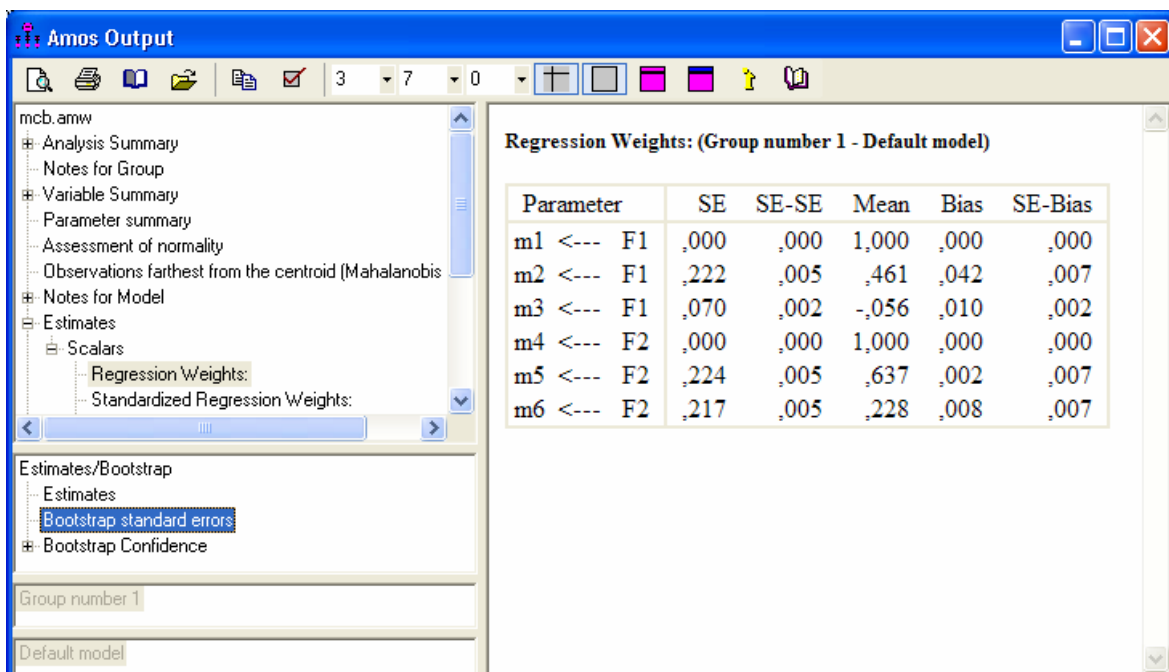
Wir fordern Amos nach

**View > Analysis Properties > Bootstrap**

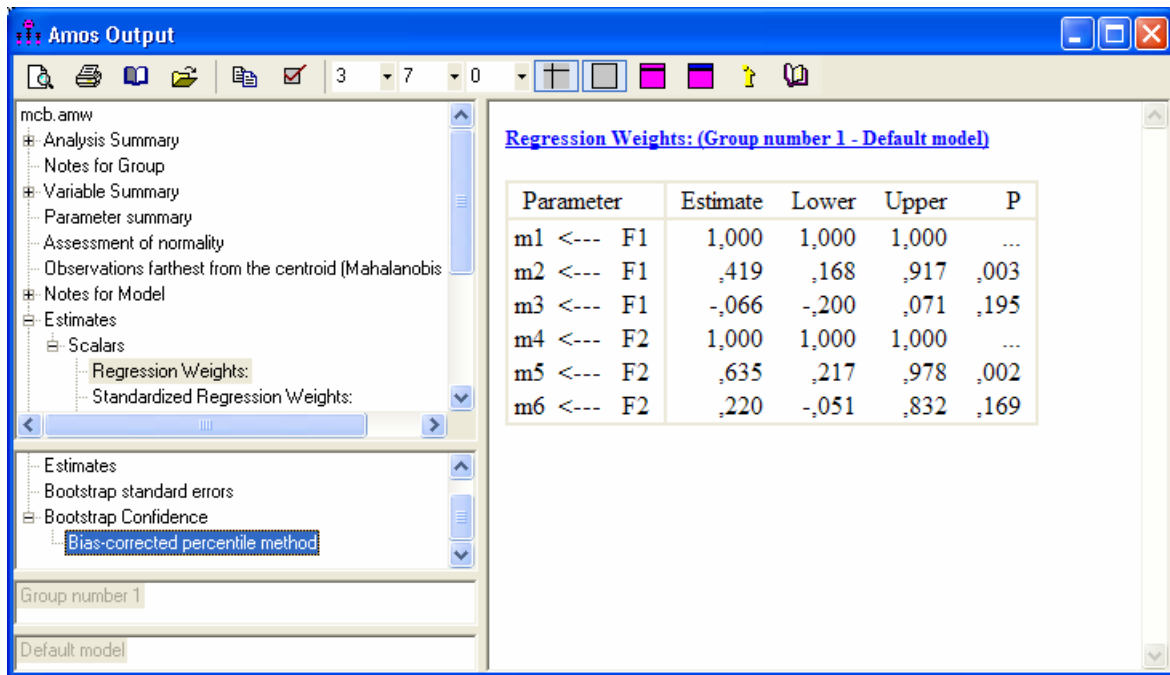
auf, 1000 Bootstrap-Sekundärstichproben zu ziehen und die korrigierten Vertrauensintervalle nach Efron (1987) zu berechnen:



In der Textausgabe fällt der Bootstrap-Standardfehler für die Ladung von **M6** auf dem Faktor **F2** erheblich größer aus (0,22) als der ML-Standardfehler (0,10):



Vom Bootstrap-Signifikanztest wird die korrekte Nullhypothese zum betroffenen Parameter beibehalten:



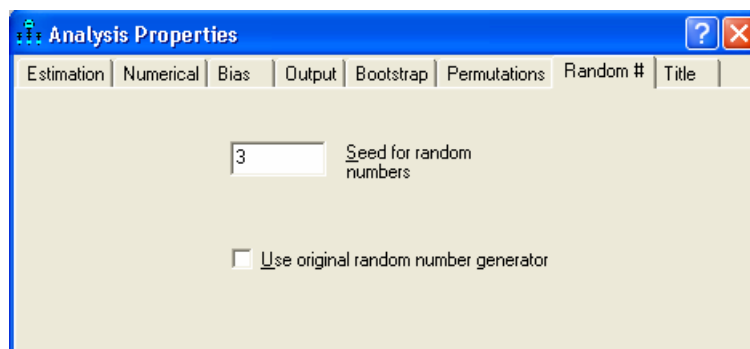
Im konstruierten Beispiel zeigen die von Amos berechneten Normalitätskriterien ein bedenkliches Bild:

**Assessment of normality (Group number 1)**

Variable	min	max	skew	c.r.	kurtosis	c.r.
m6	-1,000	13,172	3,632	20,970	19,658	56,748
m5	-1,978	5,550	1,152	6,653	1,173	3,387
m4	-2,969	9,202	,898	5,186	,544	1,571
m3	-1,000	10,016	2,948	17,022	12,817	36,999
m2	-1,897	4,905	1,097	6,334	,758	2,187
m1	-2,935	12,464	1,586	9,155	3,299	9,522
Multivariate					48,778	35,203

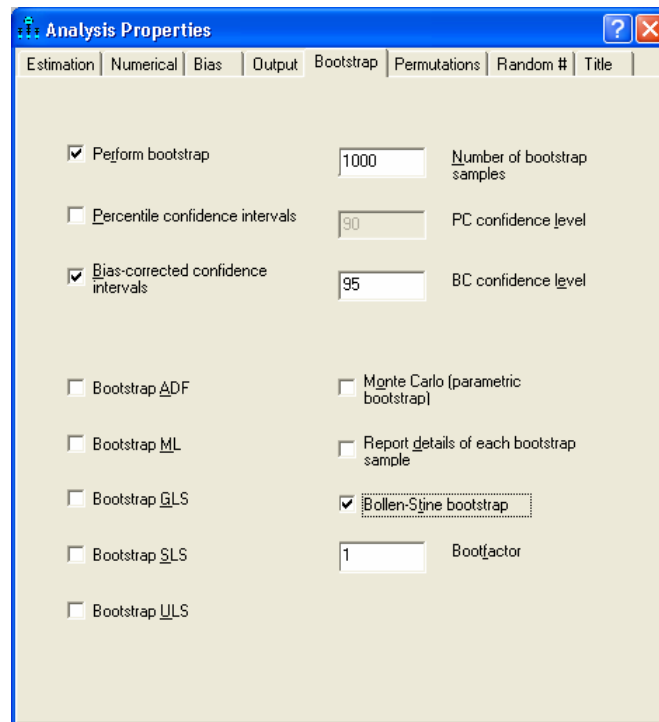
Die Abschnitt 3.4 angegebenen Grenzwerte für univariate Verteilungen (Betrag 3 für die Schiefe und Betrag 10 für die Wölbung) sind bei mehreren Variablen überschritten.

Bei allen Bootstrap-Methoden und anderen Techniken mit Zufallsbeteiligung hängen die Ergebnisse auch vom Startwert des Pseudozufallszahlengenerators ab, den man auf den Registerkarte **Random #** der Dialogbox **Analysis Properties** wählen kann:



### 9.3 Modellgültigkeitstest nach Bollen & Stine

Bei verletzter Normalverteilungsannahme sind nicht nur die Standardfehler zu den Parameterschätzungen betroffen, so dass Nullhypothesen zu den Parametern oft abgelehnt werden. Ein analoges Problem tritt auch beim Modellgültigkeitstest auf, so dass gültige Modell einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 5 % verworfen werden. Als Korrektiv haben Bollen & Stine (1993) einen Bootstrap-basierten Modelltest entwickelt, den Amos in der Dialogbox **Analysis Properties** auf der **Bootstrap**-Registerkarte anbietet:



Ist er gewählt, gibt Amos die eben beschriebenen Bootstrap-Konfidenzintervalle und -Tests nicht aus. Unser Modell hatte schon den unkorrigierten Gültigkeitstest überstanden ( $p = 0,28$ ) und schneidet jetzt noch besser ab:

#### Bollen-Stine Bootstrap (Default model)

The model fit better in 588 bootstrap samples.

It fit about equally well in 0 bootstrap samples.

It fit worse or failed to fit in 412 bootstrap samples.

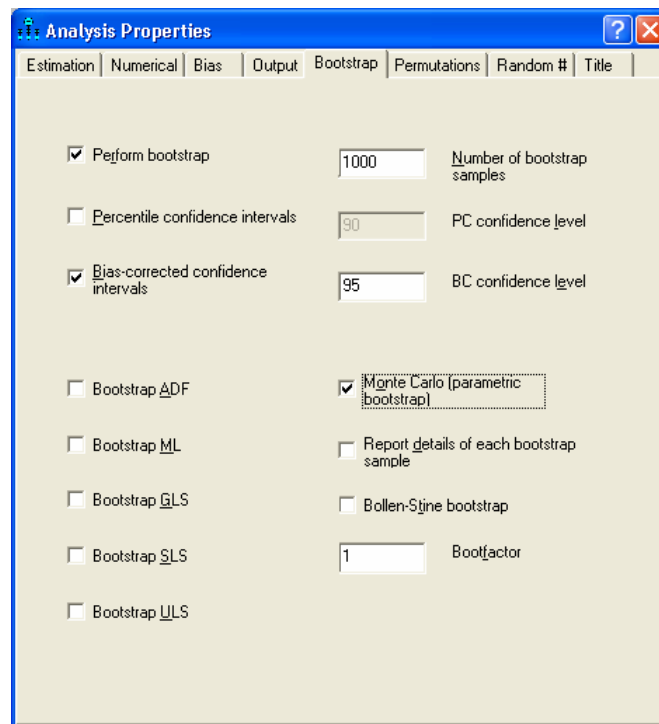
Testing the null hypothesis that the model is correct, Bollen-Stine bootstrap  $p = ,413$

Auch der korrigierte Test von Bollen & Stine (1993) tendiert dazu, in großen Stichproben Modelle „mit minimalen Fehlern“ zu verwerfen, so dass wir hier auf alternative Beurteilungsmethoden angewiesen bleiben.

### 9.4 Parametrisches Bootstrapping

Das bisher in Abschnitt 9 beschriebene Bootstrapping nennt man auch *nonparametrisch*, weil keine Normalverteilungsannahme im Spiel ist. Bei seiner Anwendung werden die Rohdaten benötigt. Das so genannten *parametrische Bootstrapping* ist auch mit Momentenmatrizen (z.B. Kovarianzmatrizen) durchführbar. Um aus Momentenmatrizen eine Sekundärstichprobe zu erzeugen, muss allerdings ein Verteilungsmodell unterstellt werden. Man verwendet die Momentenmatrizen der Primärstichprobe meist dazu, eine Normalverteilung festzulegen, und zieht die Sekundärstichproben aus der so definierten Population.

Amos bietet dieses Verfahren auf der **Bootstrap**-Registerkarte der Dialogbox **Analysis Properties** an:



Diese Technik eignet sich natürlich nicht bei fraglicher Normalitätsvoraussetzung, kann aber wohl zur Schätzung von Standardfehlern dienen.

## 10 Literatur und weitere Informationsquellen

### 10.1 Literatur

- Arbuckle, J. L. (2007). *Amos 16.0 User's Guide*. Chicago, IL: SPSS Inc.
- Attig, M. S. (1983). *The processing of spatial information by adults*. Presented at the annual meeting of The Gerontological Society, San Francisco.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2006). *Multivariate Analysemethoden* (11. Aufl.). Berlin: Springer.
- Baltes-Götz, B. (1994). *Einführung in die Analyse von Strukturgleichungsmodellen mit LISREL 7 und PRELIS unter SPSS*. Online-Dokumentation: <http://www.uni-trier.de/index.php?id=22734>
- Baltes-Götz, B. (2008). *Interaktionseffekte in Strukturgleichungsmodellen*. Online-Dokumentation: <http://www.uni-trier.de/index.php?id=22631>
- Baltes-Götz, B. (2007). *Einführung in das Programmieren mit C# 2.0*. Online-Dokumentation: <http://www.uni-trier.de/index.php?id=22777>
- Bollen, K.A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York: Wiley.
- Bollen, K. A. & Stine, R. A. (1993). Bootstrapping goodness-of-fit measures in structural equation models. In: K. A. Bollen & J. S. Scott (S. 111-135), *Testing structural equation models*. Newbury Park, CA: Sage.
- Browne, M. & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing equation model fit. In: K. A. Bollen & J. S. Scott (S. 136-162), *Testing structural equation models*. Newbury Park, CA: Sage.
- Byrne, B. (2001). *Structural equation modeling with AMOS*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S.G. & Aiken, L. (2003). *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences* (3<sup>rd</sup> ed.). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Efron, B. (1982). *The jackknife, the bootstrap and other resampling plans*. Philadelphia: SIAM-Monograph #38.
- Efron, B. (1987). Better bootstrap confidence intervals. *Journal of the American Statistical Association*, 82, 171-185.
- Efron, B. & Tibshirani, R. J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. New York: Chapman & Hill.
- Jöreskog, K. G. & Sörbom, D. (1989). *LISREL 7. A Guide to the program and applications*. Chicago, IL: SPSS.
- Kerchoff, A.C. (1974). *Ambition and attainment*. Rose Monograph Series.
- Kline, R. B. (2005). *Principles and Praxis of Structural Equation Modeling*. New York: Guilford Press.
- Lee, S.Y. (1985). Analysis of covariance and correlation structures. *Computational Statistics and Data Analysis*, 2, 279-295.
- Loehlin, J.C. (1987). *Latent variable models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Loehlin, J.C. (2004). *Latent variable models* (4<sup>th</sup> ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mardia, K.V. (1974). Applications of some measures of multivariate skewness and kurtosis in testing normality and robustness studies. *Sankhya*, Series B, 36, 115–128.
- Steyer, R. (1988). *Experiment, Regression und Kausalität: Die logische Struktur kausaler Regressionsmodelle*. Unveröff. Habilitationsschrift, Universität Trier.

## **10.2 Internet-Ressourcen**

SPSS bietet auf der folgenden Webseite einige Informationen zu Amos:

<http://www.spss.com/Amos>

Der Originalhersteller SmallWaters, Inc. betreibt die folgenden Webseiten:

<http://www.smallwaters.com/amos>

<http://www.amosdevelopment.com/>

Vor allem die zuletzt genannte Webseite bietet wertvolle didaktische Materialien (z.B. das Originalhandbuch und Videos zum Amos-Einsatz). Außerdem ist hier eine kostenlose Amos-Version für Studierende erhältlich, die allerdings auf die Analyse von maximal acht manifesten Variablen beschränkt ist.

## 11 Stichwortverzeichnis

.NET.....	23	zu den Parametern.....	20
ADF-Schätzer .....	54	zu Modellrestriktionen.....	28
AIC .....	60	Identifikationsproblem.....	41, 49
Akaike Information Criterion .....	60	Implizierte Momente .....	23
Amos-Version		Interaktion.....	66
für Studierende.....	79	Kovarianzmatrix .....	54
AStructure		Kurtosis.....	30
Methode .....	25	LAST-Beispiel.....	54
Ausaben		Latente Variablen .....	48
optionale .....	22	Lineare Regressionsanalyse.....	27
Bayes Information Criterion .....	60	Linienstärken .....	34
BCC .....	60	Löschen.....	12
BeginGroup		Makros .....	40
Methode .....	24	Markieren.....	12
Bias .....	54	Maximum Likelihood - Prinzip .....	20
BIC.....	60	Mehrgruppen-Modelle.....	66
Bollen & Stine - Test.....	76	Messfehler .....	48
Bootstrapping.....	71	Messmodell-Werkzeug.....	49
parametrisches .....	76	ML-Schätzer .....	54
Browne-Cudeck Criterion.....	60	Modelle verwalten .....	45
C.R.....	20, 44	Modifikationsindikatoren .....	54
Chiquadrat-Modelltest.....	27	Multivariate Normalität .....	30
critical ratio.....	20	Multivariate Normalverteilung.....	27
Critical Ratio.....	44	nonrekursiv .....	49
Daten		Nonrekursive Modelle .....	5
einlesen .....	16	Normalitätstest.....	30, 75
Dezimalstellen		Normalverteilung	
Anzahl ändern.....	19	multivariate .....	27
Diagrammbeschriftungen .....	32	OLS-Schätzverfahren .....	43
Eigenschaften übertragen.....	40	optionale Ausaben .....	22
Einlesen		Optionale Parameter .....	61
von Momentmatrizen.....	38	Ordinary Least Squares .....	43
Ellipse .....	40	Parameter-Restriktionen	
Ergebnisdatei .....	18	im Graphikmodus .....	28
Ergebnisse		in AmosEngine-Programmen .....	34
berechnen lassen .....	18	PathDiagrammer .....	26
im Pfaddiagramm anzeigen .....	21	PCLOSE .....	60
F0 .....	60	Pfadanalyse.....	44
Fehlervariablen		Pfaddiagramm	
automatisch erzeugen.....	42	übertragen .....	15
Fixierte exogene Variablen.....	27	zeichnen .....	9
Geschachtelte Modelle .....	46	Pfeilspitzen .....	34
Gleichheitsrestriktionen.....	28	Plugins .....	23
GLS-Schätzer.....	54	Projektdatei.....	14
Goldener Schnitt .....	39	öffnen.....	27
Gruppen-Manager.....	67	sichern.....	27
Hypothesentests		Pseudozufallszahlengenerator .....	75
Modellgültigkeit .....	27	Redo.....	12



Regression.....	38	Stichprobengröße.....	27
Restriktionen.....	28	Stichprobenmomente .....	23
RMSEA.....	60	Textmakros .....	32, 33, 34, 67
Rotationswerkzeug .....	49	TextOutput	
Rückgängig machen.....	12	Methode .....	24
saturiert .....	43	Touch Up - Werkzeug .....	40
Schätzung		t-Test.....	21
anfordern.....	18	t-Wert.....	20, 44
Schiefe .....	30	Undo .....	12
Seitenformat.....	11	Verteilungsvoraussetzungen.....	27
Sicherheitskopien.....	14	Vertikale Abstände ausgleichen .....	39
Spezifikationsuche .....	60	Vertrauensintervall .....	20
SPSS		Werkzeugpalette .....	8
Matrix-Datendatei.....	38, 54	Wölbung .....	30
Stabilitätsindex .....	51	Word .....	15
Standardfehler.....	20	Zauberstab .....	10, 40
Standardisierte Schätzungen.....	22	Zeichenfläche.....	11