

Entscheidungsunterstützung/ Künstliche Intelligenz

Teil 3

**BiTS, Sommersemester 2005
Dr. Stefan Kooths**

Gliederung

1. Einführung
2. Entscheidungslehre
3. Entscheidungsunterstützungssysteme
4. Künstliche Intelligenz im Überblick
- 5. AHP und ANP**
6. GENEFER-Technologien
7. Prognosen (Finanzzeitreihen)
8. Simulation (Spielkonsolenmarkt)
9. MSS-Produktpräsentationen

AHP,ANP

- AHP = Analytic Hierarchy Process
 - unterstützt multikriterielle Entscheidungsfindung
 - endogene Gewichts- und Prioritätenermittlung durch Paarvergleiche (Verhältnisskala)
 - quantitative und qualitative Kriterien
 - **A**lytisch = Zerlegung der Gesamtentscheidung (mit anschließender Synthese!)
 - **H**ierarchiestufen, Lokalisierung von Einzelentscheidungen (Top-Down-Beziehungen zwischen Zielen)
 - **P**rozess = Vorgehensmodell (keine magische Formel)
- ANP = Analytic Network Process
 - AHP
 - Feedback (Netz statt Hierarchie)

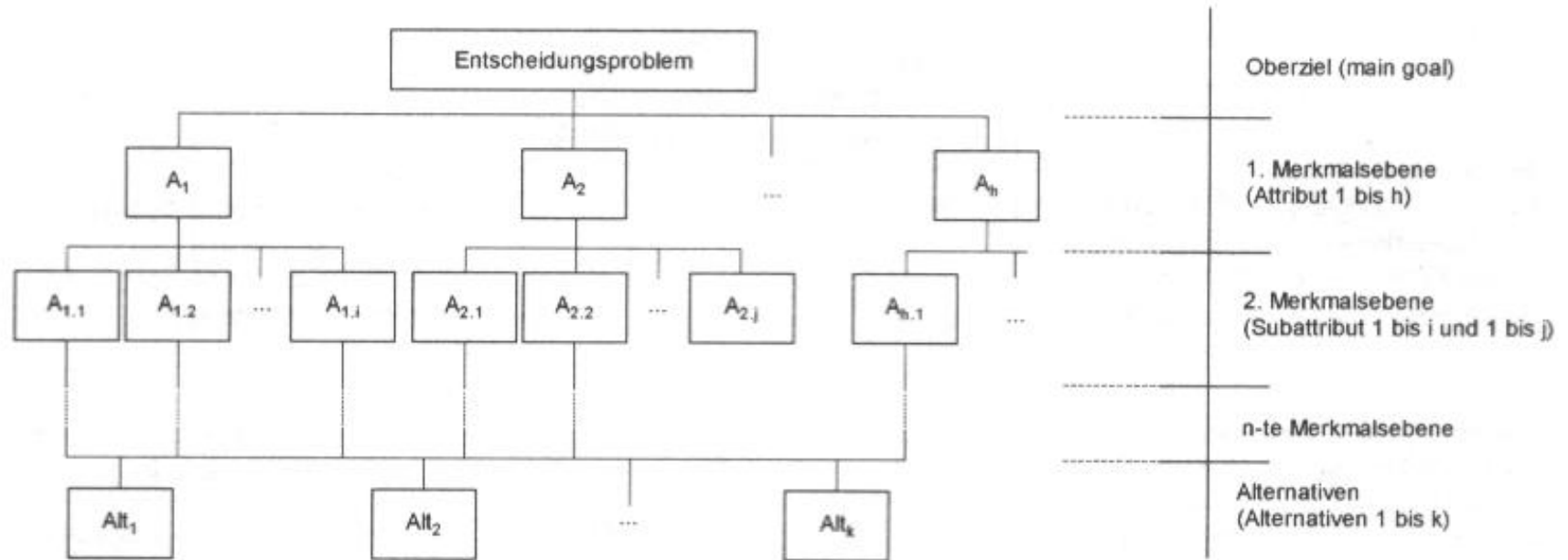
Weitere zentrale Eigenschaften

- relative Vergleiche
 - keine absoluten Scoring-Punkte
 - keine ad-hoc Gewichte
- Toleranz gegenüber leichter Inkonsistenz
 - Eingabefehler
 - Konzentrationsmängel
 - Informationsdefizite
 - Modellfehler
 - inkonsistente Welt
- kompensatorisch
- Literatur: Forman/Selly (2001), Ch.4

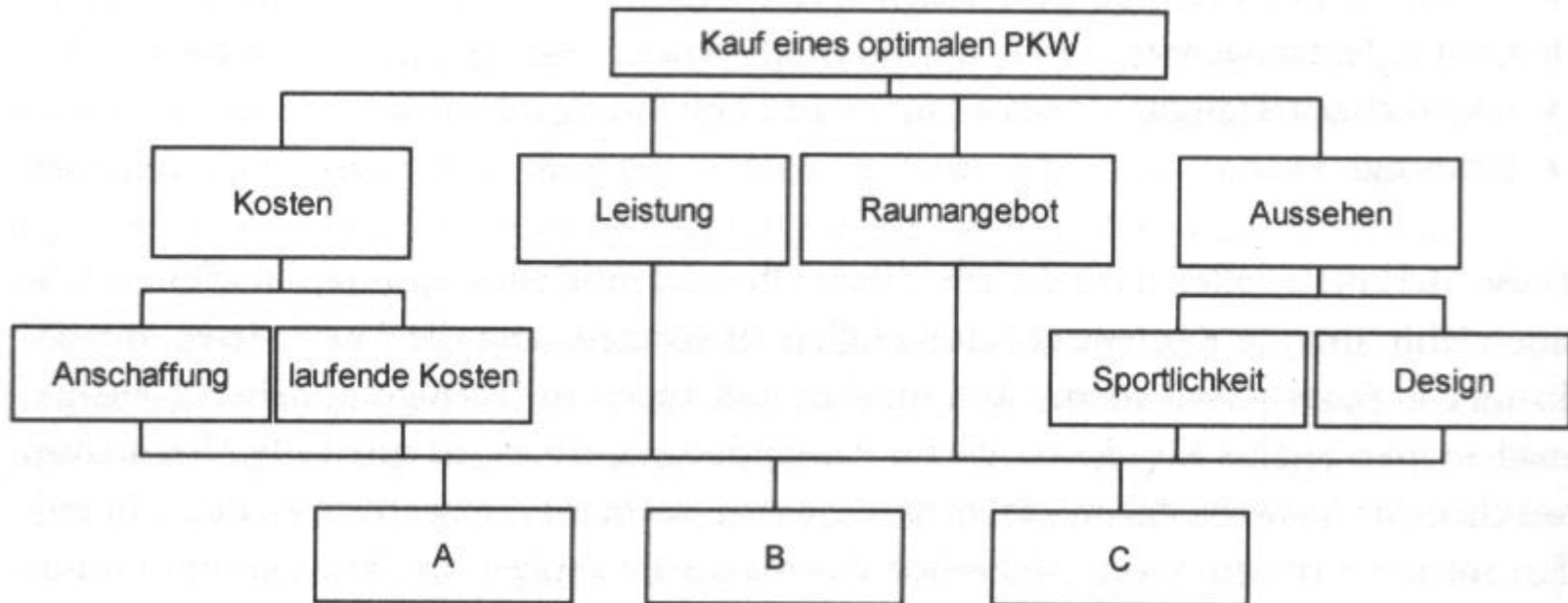
Grundkonsistenz

- notwendig, nicht hinreichend
- kein Primärziel für Entscheidungsprozess

Grundstruktur



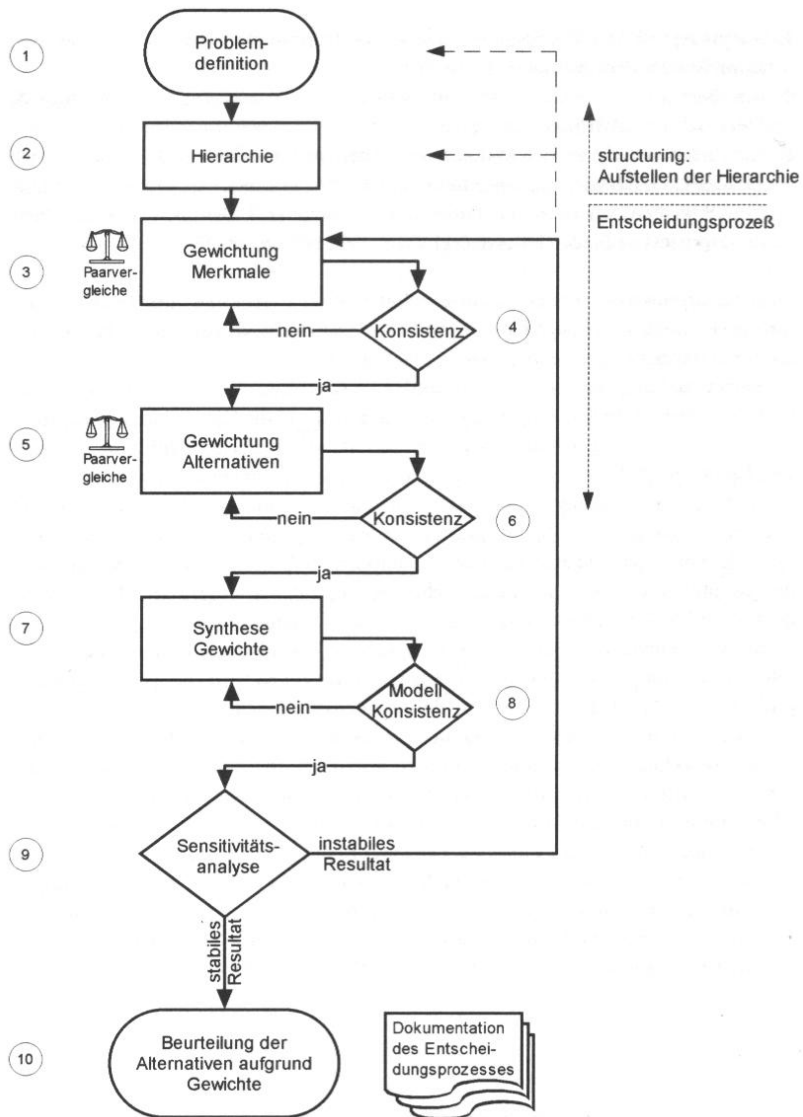
Beispiel: PKW-Kauf



Ablauf (Grobversion)

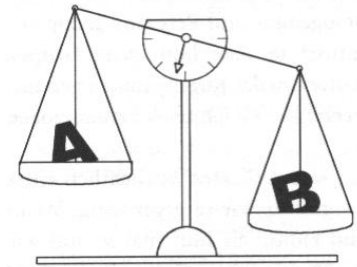
- Stufe 1
Aufstellung der Entscheidungshierarchie
- Stufe 2
Paarvergleiche über die Entscheidungselemente
(= Alternativen und Kriterien)
- Stufe 3
Errechnung von Prioritäten innerhalb der
Entscheidungselemente und Konsistenzcheck
- Rangreihung der Alternativen durch Aggregation
der Prioritäten der Entscheidungselemente über
die gesamte Hierarchie

Ablauf (Detailversion)



Axiome

- **Axiom 1 (paarweise Reziprozität)**
Entscheider kann jeweils zwei Elemente in Bezug auf ein Merkmal paarweise auf einer reziproken Skala vergleichen ($a_{ij} = 1/a_{ji}$)

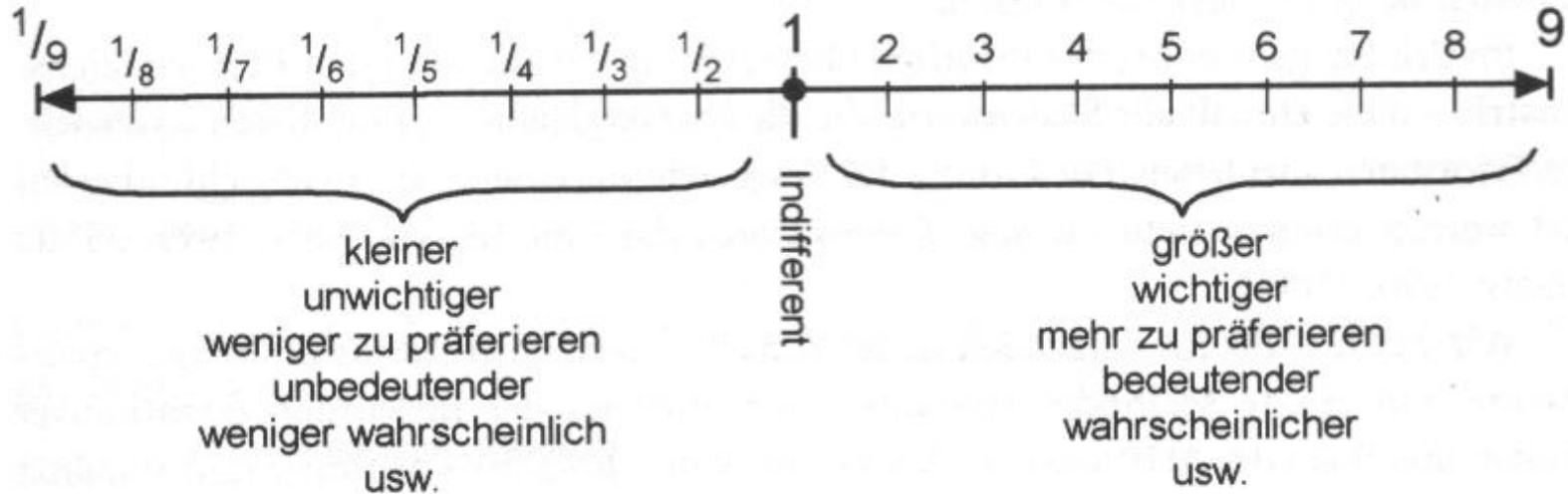


- **Axiom 2 (Endlichkeit)**
Ein Element wird niemals als unendlich viel besser als ein anderes betrachtet ($a_{ij} \ll \infty$)
- **Axiom 3 (Hierarchisierbarkeit)**
Ein Entscheidungsproblem lässt sich als Hierarchie formulieren
- **Axiom 4 (Vollständigkeit)**
Hierarchie enthält alle Alternativen und Kriterien

Skala für Paarvergleiche

AHP-Werte	Beschreibung	Interpretation
1	gleiche Bedeutung	Beide miteinander verglichenen Elemente haben die gleiche Bedeutung (immer im Bezug auf das Element der nächsthöheren Stufe).
3	etwas größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine etwas größere Bedeutung des einen Elements im Vergleich zum anderen Element.
5	erheblich größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine erheblich größere Bedeutung des einen Elements im Vergleich zum anderen Element.
7	sehr viel größere Bedeutung	Die erheblich größere Bedeutung, die ein Element im Vergleich zum anderen Element hat, konnte in der Vergangenheit klar gezeigt werden.
9	absolut dominierend	Der größtmöglichen Bedeutungsunterschied, der zwischen zwei Elementen denkbar ist.
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte	Feinabstufung

Reziproke Skala für Paarvergleiche



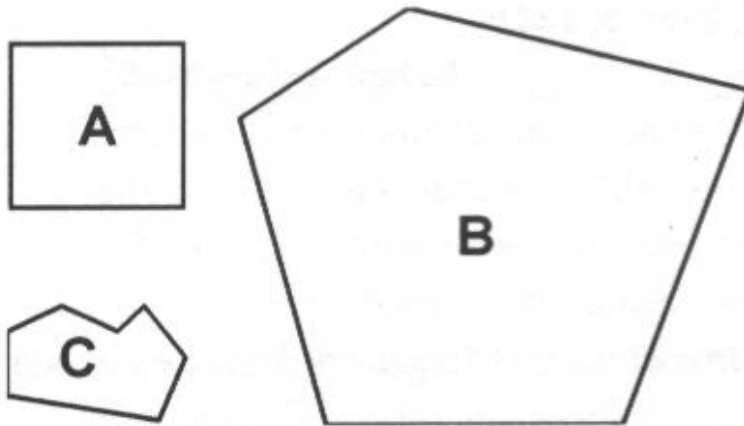
AHP-Werte	Beschreibung
1	gleiche Bedeutung
$1/3$	etwas geringere Bedeutung
$1/5$	erheblich geringere Bedeutung
$1/7$	sehr viel geringere Bedeutung
$1/9$	absolut unterlegen
$1/2, 1/4, 1/6, 1/8$	Zwischenwerte

AHP-Werte	Beschreibung	Interpretation
1	gleiche Bedeutung	Beide miteinander verglichenen Elemente haben die gleiche Bedeutung (immer im Bezug auf das Element der nächsthöheren Stufe).
3	etwas größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine etwas größere Bedeutung des einen Elements im Vergleich zum anderen Element.
5	erheblich größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine erheblich größere Bedeutung des einen Elements im Vergleich zum anderen Element.
7	sehr viel größere Bedeutung	Die erheblich größere Bedeutung, die ein Element im Vergleich zum anderen Element hat, konnte in der Vergangenheit klar gezeigt werden.
9	absolut dominierend	Der größtmöglichen Bedeutungsunterschied, der zwischen zwei Elementen denkbar ist.
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte	Feinabstufung

Lokale Prioritätenschätzung

- Erstellung der Evaluationsmatrix
 - $n \cdot (n-1) / 2$ Paarvergleiche bei n Elementen
 - Reziprozität
- Bestimmung der Partialgewichte
 - **Vereinfachtes Verfahren**
(implizite Konsistenzannahme)
 - **Exaktes Verfahren**
(Eigenvektor)
 - **Näherungsverfahren**
(beliebig genau)

Evaluationsmatrix durch Paarvergleiche



	A	B	C
A	1	1/5	2
B	5	1	3
C	1/2	1/3	1

Red arrows highlight the values 2, 3, and 1 in the matrix, indicating a path from A to C, B to C, and C to C.

a_{ij} = Einschätzung von Element i in Bezug auf Element j

Reziprozität und vollständige Evaluationsmatrix P

$$P = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_n \\ a_1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_3 & a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_n & a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

Flächenbeispiel

	A	B	C
A	1	1/5	2
B	5	1	8
C	1/2	1/8	1

bzw. $P = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 2 \\ 5 & 1 & 8 \\ 1/2 & 1/8 & 1 \end{bmatrix}$

Zur Gewöhnung: Bildschirm-Übung

Ein Abteilungsleiter muss für seine Angestellten neue Bildschirme anschaffen! Zur Auswahl stehen die Marken X, Y und Z. Aufgrund einer subjektiven Schätzung vermutet der Abteilungsleiter, dass X etwas schlechter als Y ist ($\frac{1}{3}$ in der AHP-Skala) und deutlich schlechter als Z ($\frac{1}{7}$ in der AHP-Skala); Y wiederum schätzt er etwas schlechter als Z ein ($\frac{1}{2}$ in der AHP-Skala). Bitte versuchen Sie, untenstehende Evaluationsskala zu vervollständigen.

	X	Y	Z
X			
Y			
Z			

Partialgewichte: Vereinfachtes Verfahren

- Normalisierung der Evaluationsmatrix
Division der Elemente durch Spaltensumme
- Partialgewichte = normalisierte Zeilensummen/n

	Evaluationsmatrix				Normalisierung				r_i	Gewicht w
	a_1	a_2	...	a_n	a_1	a_2	...	a_n		
a_1	$a_{11}=1$	a_{12}	...	a_{1n}	a_{11}/c_1	a_{12}/c_2	...	a_{1n}/c_n	r_1	$w_1 = r_1/n$
a_2	$a_{21}=1/a_{12}$	1		a_{2n}	a_{21}/c_1	a_{22}/c_2	...	a_{2n}/c_n	r_2	$w_2 = r_2/n$
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots
a_n	$a_{n1}=1/a_{1n}$	a_{2n}	...	$a_{nn}=1$	a_{n1}/c_1	a_{n2}/c_2	...	a_{nn}/c_n	r_n	$w_n = r_n/n$
c_i^{23}	$c_1 = \sum_{i=1}^n a_{i1}$	$c_2 = \sum_{i=1}^n a_{i2}$...	c_n	1	1	...	1	n	1

Flächenbeispiel

	A	B	C	A	B	C	r_i	w_i
A	1	1/5	2	0,15	0,15	0,18	0,48	0,16
B	5	1	8	0,77	0,76	0,73	2,26	0,75
C	1/2	1/8	1	0,08	0,09	0,09	0,26	0,09
c_i	6,50	1,33	11	1	1	1	3	1

Anteile an der „Gesamtfläche“

Bildschirmübung

	X	Y	Z
X			
Y			
Z			

X	Y	Z

Partialgewichte: Exaktes Verfahren (Eigenvektor)

Vorüberlegung zu konsistenten Evaluationsmatrizen

- gesuchte Gewichte seien bereits bekannt
- Verhältnis zweier Elemente zueinander muss sich aus ihren Partialgewichten bestimmen lassen:

$$a_{ij} = w_i / w_j$$

$$P = \begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & w_1 / w_3 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & w_2 / w_3 & \dots & w_2 / w_n \\ w_3 / w_1 & w_3 / w_2 & w_3 / w_3 & \dots & w_3 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & w_n / w_3 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix}$$

beachte:
gesuchter
Gewichtsvektor
kann durch
Normalisierung
jedes *beliebigen*
Spaltenvektors
gewonnen
werden

Gewichtsbestimmung als Eigenvektorproblem

$$\begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & w_1 / w_3 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & w_2 / w_3 & \dots & w_2 / w_n \\ w_3 / w_1 & w_3 / w_2 & w_3 / w_3 & \dots & w_3 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & w_n / w_3 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ nw_3 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ nw_n \end{bmatrix}$$

$$P \cdot w = n \cdot w$$

$$P \cdot w - n \cdot w = 0$$

$$(P - n \cdot I) \cdot w = 0$$

Grafische Interpretation des Eigenvektors

- Matrixoperation als lineare Funktion
- zweidimensionales Beispiel
(überschaubar und automatisch konsistent)



Berechnung von Eigenvektoren

- Demo (manuell)
- Demo (Web)
<http://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/eigenwert.htm>
- ernsthaft:
 - Excel-Add-ins bzw.
 - integriert in AHP-Software

Eigenvektorverfahren

- Konsistente Evaluationsmatrizen
 - n ist Eigenwert von P
 - w ist zugehöriger Eigenvektor
 - normalisiertes w ergibt den Gewichtsvektor
 - alle übrigen Eigenwerte sind null
- Leicht inkonsistente Evaluationsmatrizen
 - Bestimmung des größten Eigenvektors λ_{\max} ($> n$)
 - Bestimmung und Normalisierung des zugehörigen Eigenvektors
 - alle übrigen Eigenvektoren sind nahe null
 - **Kern des AHP**: Eigenvektor (Gewichtsvektor) ist relativ unempfindlich gegenüber kleinen Inkonsistenzen

Partialgewichte: Näherungsverfahren

- Potenzieren der Evaluationsmatrix (P^t)
- normalisierte Prioritäten aus potenziertes Evaluationsmatrix nähern sich mit steigenden t den Eigenvektorelementen an
- Flächenbeispiel:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,2 & 2 \\ 5 & 1 & 8 \\ 0,5 & 0,125 & 1 \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,2 & 2 \\ 5 & 1 & 8 \\ 0,5 & 0,125 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0,2 & 2 \\ 5 & 1 & 8 \\ 0,5 & 0,125 & 1 \end{bmatrix} = \overbrace{\begin{bmatrix} 3 & 0,65 & 5,6 \\ 14 & 3 & 26 \\ 1,63 & 0,35 & 3 \end{bmatrix}}^{\text{quadrierte Matrix}} \Rightarrow \overbrace{\begin{bmatrix} 0,16164264 \\ 0,75141983 \\ 0,08693753 \end{bmatrix}}^{\text{normalisierte Prioritäten}}$$

abermaliges Quadrieren und Normalisieren liefert:
(konvergente Entwicklung)

$$\begin{bmatrix} 0,16180746 \\ 0,75104143 \\ 0,08715111 \end{bmatrix}$$

Totale Konsistenz: Verfahrensvergleich

$$\begin{array}{l} A \xrightarrow{2} B \xrightarrow{3} C \\ A \xrightarrow{6} C \end{array} \quad \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 \\ 0,5 & 1 & 3 \\ 0,167 & 0,333 & 1 \end{bmatrix}$$

- vereinfachtes Verfahren und exaktes Verfahren liefern identische Gewichte
- nämlich: $\begin{bmatrix} 0,6 \\ 0,3 \\ 0,1 \end{bmatrix}$

Konsistenzmaße

- Konsistenzindex $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$

- Konsistenzverhältniszahl $CR = \frac{CI}{R}$

Größe der Matrix	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zufallskonsistenz R	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

- **Faustregel: $CR < 0,1$**

Inkonsistenzdiagnose (CR > 0,1)

- Frage: Welcher Paarvergleich trägt am stärksten zur Inkonsistenz bei?
- Lösungsweg
 - Bestimmung einer idealen Evaluationsmatrix P^*
 - $a_{ij}^* = w_i/w_j$
 - Vergleich zwischen idealen und tatsächlichen Evaluationselementen
- Antwort: Paarvergleich mit größter Abweichung zwischen a_{ij} und a_{ij}^*
- Caution: „It is possible to be perfectly consistent but consistently wrong.“

PKW-Kauf:

Partialgewichte, 1. Hierarchieebene

	Evaluationsmatrix				Normalisierung					Pr
	K	L	R	A	K	L	R	A	r_i	w_i
K	1	4	6	2	0,52	0,43	0,40	0,58	1,93	0,483
L	$\frac{1}{4}$	1	3	$\frac{1}{4}$	0,13	0,11	0,20	0,07	0,51	0,128
R	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{5}$	0,09	0,04	0,07	0,06	0,25	0,062
A	$\frac{1}{2}$	4	5	1	0,26	0,43	0,33	0,29	1,31	0,328
c_i	1,92	9,33	15	3,45	1	1	1	1	4	1

PKW-Kauf:

Partialgewichte, 2. Hierarchieebene

- Kosten

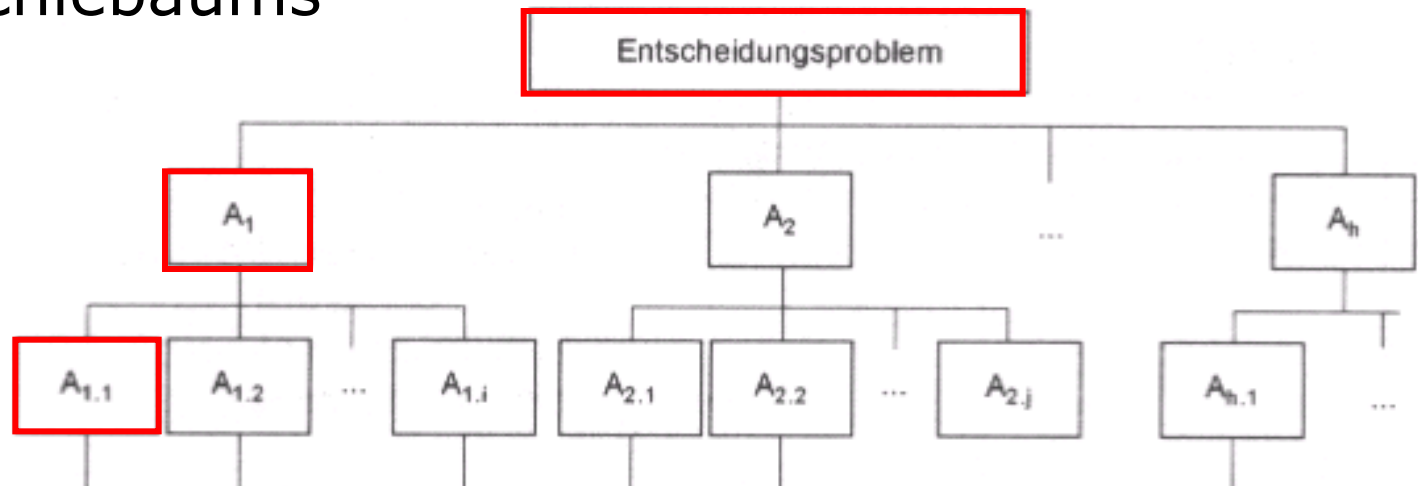
	K_A	K_L	K_A	K_L	r_i	w_i
Anschaffung (K_A)	1	3	0,75	0,75	1,50	0,750
laufende Kosten (K_L)	$\frac{1}{3}$	1	0,25	0,25	0,50	0,250
c_i	1,52	4	1	1	2	1

- Aussehen

	A_S	A_D	A_S	A_D	r_i	w_i
Sportlichkeit (A_S)	1	4	0,80	0,80	1,60	0,800
Design (A_D)	$\frac{1}{4}$	1	0,20	0,20	0,40	0,200
c_i	1,25	5	1	1	2	1

Globale (relative) Gewichte

- Bedeutung eines Entscheidungselements in Bezug auf das Oberziel
- Multiplikation des lokalen Gewichts mit den lokalen Gewichten der übergeordneten Hierarchieelemente auf dem Weg zur Wurzel des Hierarchiebaums



PKW-Kauf: Globale Gewichte

	W_{1. Ebene}	W_{2. Ebene}	W_{rel}
Kosten (K)	0,483		
– Anschaffung (K _A)		0,750	0,362
– laufende Kosten (K _L)		<u>0,250</u>	0,121
		$\Sigma=1$	
Leistung (L)	0,128		0,128
Raumangebot (R)	0,062		0,062
Aussehen (A)	0,328		
– Sportlichkeit (A _S)		0,800	0,262
– Design (A _D)		<u>0,200</u>	
		$\Sigma=1$	0,065
c_i			1^{*)}

Behandlung quantitativer Daten

- direkte Partialgewichtsberechnung möglich ...

- positiver Einfluss
(je größer desto besser)

$$w_i = \frac{a_i}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

- negativer Einfluss
(je kleiner desto besser)

$$w_i = \frac{\frac{1}{a_i}}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n}}$$

- ... aber nur bei linearer Nutzenfunktion sinnvoll
 - Bsp.: Höchstgeschwindigkeit eines PKW (nicht-linear)

PKW-Kauf: Behandlung quantitativer Daten

	A	B	C
Anschaffungskosten	17.000 €	13.500 €	21.000 €
laufende Kosten/km	0,21 €	0,25 €	0,18 €
Leistung	75 kWh	67 kWh	96 kWh
Raumangebot	2,7 m ³	3 m ³	3,5 m ³
Sportlichkeit*)	5	7	12

Gewicht von PKW A in Bezug auf Anschaffungskosten:

$$w = \frac{\frac{1}{17.000}}{\left(\frac{1}{17.000} + \frac{1}{13.500} + \frac{1}{21.000}\right)} = \frac{5,8823 \cdot 10^{-5}}{1,8052 \cdot 10^{-4}} = 0,326$$

Vorverarbeitung quantitativer Daten

- Nähe zu einem Optimum

$$a_i^{\text{transformiert}} = |\text{opt} - a_i|$$

- Nähe zu einem Maximum

$$a_i^{\text{transformiert}} = \text{max} - a_i$$

- Entfernung von einem Minimum

$$a_i^{\text{transformiert}} = a_i - \text{min}$$



Spreizung
(höherer Kontrast)

Errechnung der Gesamtgewichte und Entscheidung (finale Alternativenbewertung)

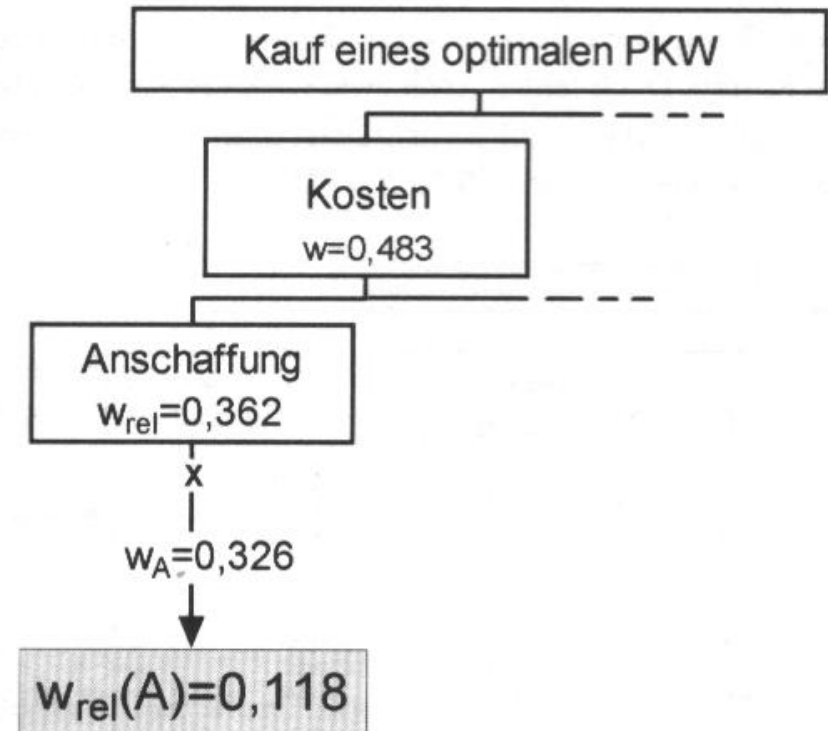
- Beurteilung aller Alternativen in Bezug auf alle jeweils niedrigst-hierarchischen Merkmale
- Gewichtung der Alternativenbeurteilung mit dem globalen Gewicht des Bezugsmerkmals (= globale merkmalsbezogene Alternativengewichte)
- Aggregation über alle globalen Gewichte einer Alternative
- Empfehlung: Wähle die Alternative mit dem höchsten globalen Gesamtgewicht

PKW-Kauf: Finale Alternativenbewertung

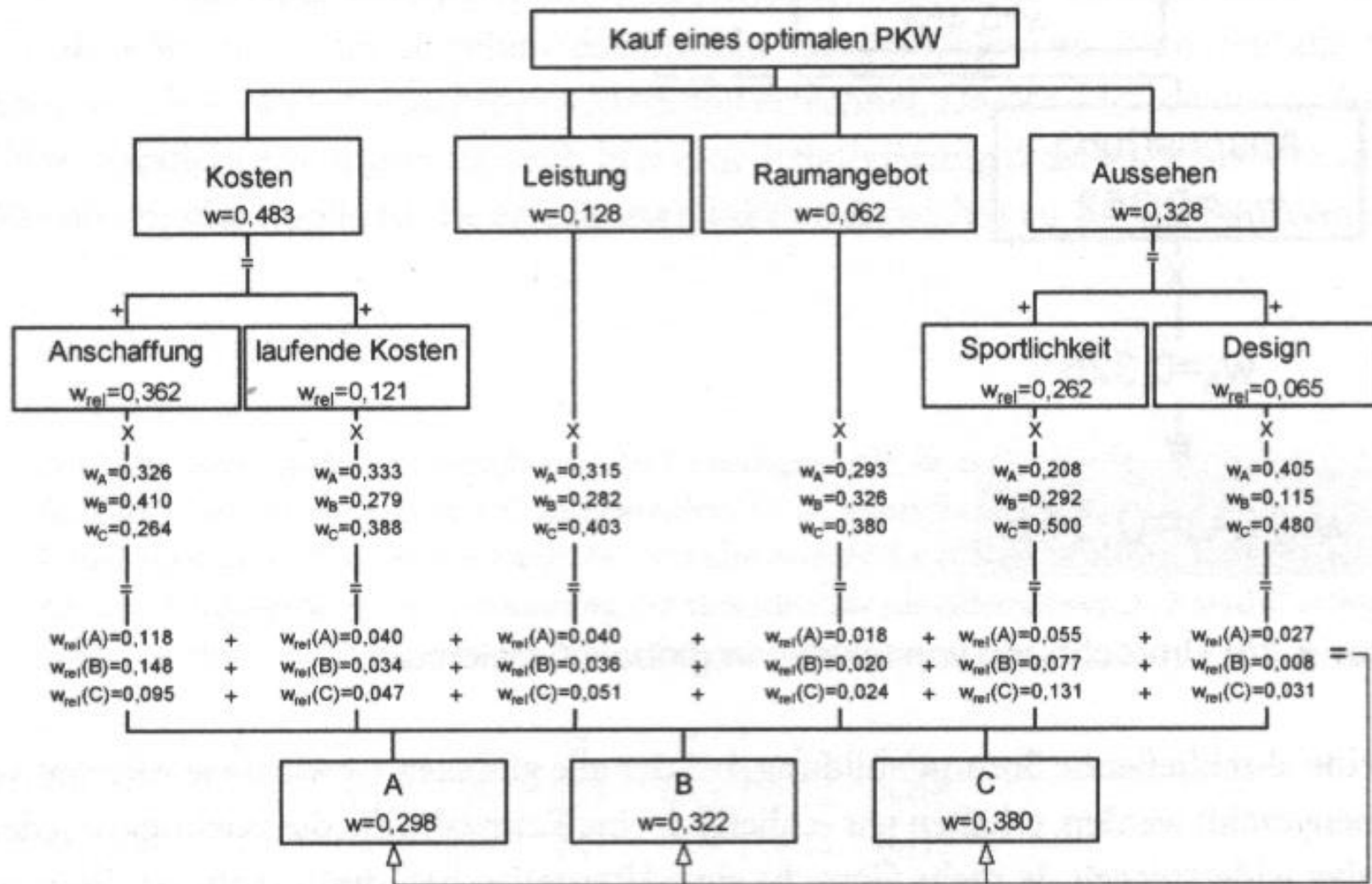
- Lokale Alternativengewichte

	w_A	w_B	w_C	Σ
Anschaffungskosten	0,326	0,410	0,264	1
laufende Kosten/km	0,333	0,279	0,388	1
Leistung	0,315	0,282	0,403	1
Raumangebot	0,293	0,326	0,380	1
Sportlichkeit	0,208	0,292	0,500	1
Design	0,405	0,115	0,480	1

- Ermittlung eines globalen Alternativengewichtes



PKW-Kauf: Entscheidungshierarchie und Gesamtergebnis



Interpretation und Sensitivitätsanalyse

- Interpretation
 - Alternativenordnung
 - Aussage über den Vorsprung des Favoriten
- Sensitivitätsanalyse
 - Einfluss der Merkmalsgewichtung auf die Alternativenbewertung (Gesamtgewichte)
 - Break-Even-Berechnung (Änderung der Alternativenordnung)
 - wichtig insbesondere bei knappem Ausgang

TO DO

- Termine für Präsentationen
- Update: Slide 32

Erweitertes AHP-Ablaufschema 1/3

Step 1: Problem definition and research

1a: Problem *identification*

1b: Identify *objectives*⁴¹ and *alternatives*. A listing of the *pros and cons* of each alternative is often helpful in identifying the objectives.

1c: Research the alternatives

Step 2: Eliminate infeasible alternatives

2a: Determine the “*musts*”

2b: Eliminate alternatives that do not satisfy the “*musts*”

Step 3: Structure a decision model in the form of a hierarchy to include goal, objectives (and sub objectives), and alternatives. Add other factors (such as actors and scenarios) as required

Erweitertes AHP-Ablaufschema 2/3

Step 4: Evaluate the factors in the model by making pairwise relative comparisons

4a: Use as much factual data as is available, but remember to *interpret* the data as it relates to satisfying your objectives. (That is, do not assume a linear *utility curve* without thinking about whether it is a reasonable assumption).

4b: Use knowledge, experience, and intuition for those qualitative aspects of the problem or when hard data is available.

Step 5: Synthesize to identify the “best” alternative

Erweitertes AHP-Ablaufschema 3/3

Step 6: Examine and verify decision, iterate as required

- 6a: Examine the solution and perform sensitivity analyses. If the solution is sensitive to factors in the model for which you do not have the best data available, consider spending the time and money to collect the necessary data and iterate back to step 4.
- 6b: Check the decision against your *intuition*. If they don't agree, ask yourself why your intuition tells you a different alternative is best. See if the reason(s) are already in the model. If not, revise the model (and or judgments). Iterate as required. In general you will find that both your model and intuition may change (i.e. you are learning). When your intuition (possibly different now than it was before) and the model agree, continue on to step 7.

Step 7: Document the decision for justification and control

AHP-Erweiterungen

- Ratings
- Ideale vs. Distributive Synthese
- Kosten-Nutzen-Analysen
- Feedback: ANP

Ratings

- Zweck
 - Alternative zu paarweisen Alternativenvergleichen
 - sinnvoll bei großer Alternativenanzahl
- Vorgehen
 - Formulierung von Intensities (unscharfe Kategorien) für alle untersten Kriterien
 - Paarvergleiche der Intensities
 - Beurteilung der Alternativen gemäß den Intensities
 - Synthese der Ergebnisse

Ideale vs. Distributive Synthese

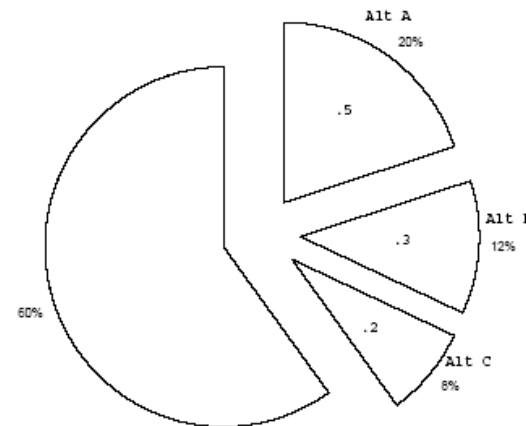
- Offene vs. geschlossene Systeme
 - offen = Prioritätenmasse hängt ab von der Alternativenanzahl
 - geschlossen = Prioritätenmasse ist konstant und wird auf Alternativen verteilt (= Standard-AHP)
- Verhinderung vs. Zulassung von Rank Reversals
 - Reaktion der Alternativenordnung auf Hinzufügung irrelevanter (= dominierter) Alternativen
 - Präferenzverwässerungseffekt (Bsp.: polit. Wahlen)
- „Überfluss vs. Knappheit“
 - variable vs. feste Ressourcenausstattung
 - neue Alternativen erfordern entweder neue Ressourcen oder Umverteilung bestehender Allokation

Distributive Synthese (Beispiel)

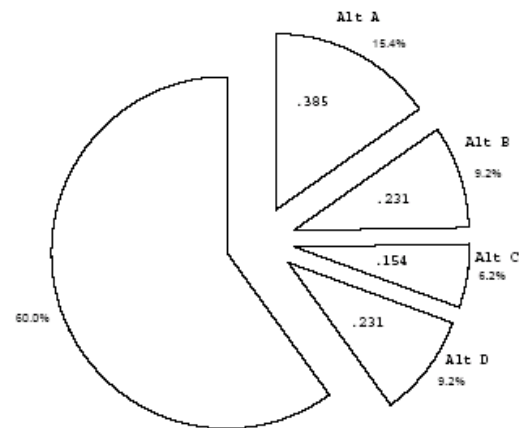
- Kriteriengewicht: 0.4

- 3 Alternativen

- A: 0,5 \Rightarrow 0,2
- B: 0,3 \Rightarrow 0,12
- C: 0,2 \Rightarrow 0,08



- Hinzufügung von Alternative D (identisch zu B)
- A: 0,385 \Rightarrow 0,154
- B: 0,231 \Rightarrow 0,092
- C: 0,154 \Rightarrow 0,062
- D: 0,231 \Rightarrow 0,092



Ideale Synthese

- Präferenzzuteilung proportional zur relativen Präferenz in Bezug auf die beste (= ideale) Alternative
- Normalisierung erst auf Ziel-Ebene
- 3 Alternativen
 - A: $0,5 \Rightarrow 0,4$
 - B: $0,3 \Rightarrow 0,24$
 - C: $0,2 \Rightarrow 0,16$
- Hinzufügung von Alternative D (identisch zu B)
 - A: $0,385 \Rightarrow 0,4$
 - B: $0,231 \Rightarrow 0,24$
 - C: $0,154 \Rightarrow 0,16$
 - D: $0,231 \Rightarrow 0,24$

Proportionalität vs. Substitution

- Wie ändert eine neue Alternative den Wert der ähnlichsten bislang betrachteten Alternativen?
- offene Systeme: gar nicht
 - Proportionalität
 - Unabhängigkeit von irrelevanten Alternativen
- geschlossene Systeme: u. U. erheblich
 - Substitutionseffekt
 - Wert hängt von relativer Knappheit ab
- Beispiel: Personalbeurteilung
- Hintergrund: Ist eine dominierte Alternative wirklich irrelevant?

Kosten-Nutzen (und andere) Analysen

- vorab:
 - deutsch: Kosten-Nutzen-Analyse
 - angelsächsisch: Benefit-Cost-Analysis
- getrennte Präferenzhierarchien für Nutzen- und Kosten-Komponenten
- Zusammenführung über Nutzen-Kosten-Verhältnisse (Nutzen/Kosten)
- erweiterbar auf
 - Nutzen-Kosten-Risiko (BCR):
 $\text{Nutzen}/(\text{Kosten} * \text{Risiko})$
 - Nutzen-Chancen-Kosten-Risiko (BOCR)
 $(\text{Nutzen} * \text{Chancen})/(\text{Kosten} * \text{Risiko})$

Feedback: ANP

- ANP = Analytic Network Process
- Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz
 - Top-Down: Beurteilung der Alternativen nach Gewichtung der Kriterien
 - Bottom-Up: Beurteilung der Kriterien nach Kenntnis der Alternativen

Beispiel Brückenbau

Kriterien und Alternativen

- Kriterien
 - Sicherheit
 - Ästhetik
- Naive Kriterienbeurteilung
 - naiv = ex ante = vor Kenntnis der Alternativen
 - Sicherheit ist gegenüber Ästhetik absolut dominierend (9 : 1 auf der AHP-Skala)



- Alternativen
 - Brücke A: extrem sicher und schön
 - Brücke B: extremst (!) sicher und hässlich

Beispiel Brückenbau

Top-Down-Bewertung der Alternativen: Sicherheit

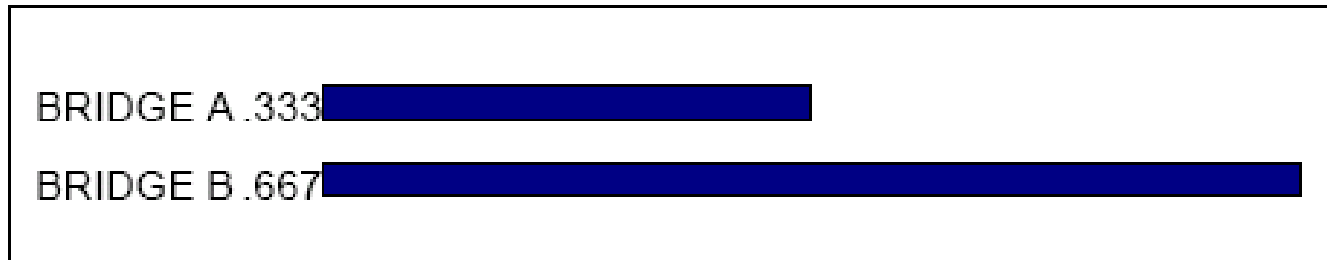
Node: 10000

Compare the relative PREFERENCE with respect to: SAFETY < GOAL

1=EQUAL 3=MODERATE 5=STRONG 7=VERY STRONG 9=EXTREME

1	BRIDGE A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	BRIDGE B
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Abbreviation	Definition
Goal	Mayor selecting bridge
SAFETY	Bridge safety
BRIDGE A	Extremely safe and BEAUTIFUL
BRIDGE B	Extreeeemely safe but UGLY!



Inconsistency Ratio =0.0

Beispiel Brückenbau

Top-Down-Bewertung der Alternativen: Ästhetik

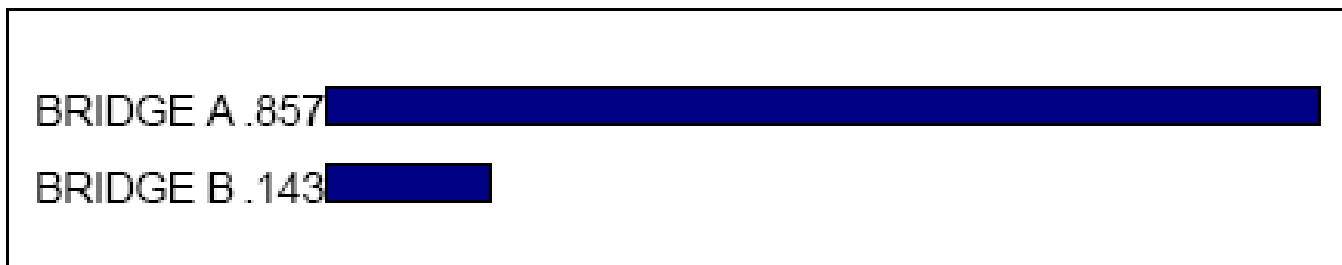
Node: 20000

Compare the relative PREFERENCE with respect to: AESTHEST < GOAL

1=EQUAL 3=MODERATE 5=STRONG 7=VERY STRONG 9=EXTREME

1	BRIDGE A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	BRIDGE B
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Abbreviation	Definition
Goal	Mayor selecting bridge
AESTHEST	Bridge aesthetics
BRIDGE A	Extremely safe and BEAUTIFUL
BRIDGE B	Extreeeemely safe but UGLY!



Inconsistency Ratio =0.0

Beispiel Brückenbau

Synthese nach Top-Down-Bewertung

Synthesis of Leaf Nodes with respect to GOAL

Distributive Mode

OVERALL INCONSISTENCY INDEX = 0.0

BRIDGE A .386 

BRIDGE B .614 

Abbreviation	Definition
BRIDGE A	Extremely safe and BEAUTIFUL
BRIDGE B	Extreeeemely safe but UGLY!

⇒ **Ergebnis ist kontra-intuitiv!**

Beispiel Brückenbau

Mentale Rückkoppelung

- Ergebnis ist unbefriedigend (kontra-intuitiv)
 - Ursache: relative Gewichtung der Kriterien hängt auch von den Alternativen ab
- ⇒ **Neugewichtung (Feedback)**

Compare the relative IMPORTANCE with respect to: GOAL Node: 0

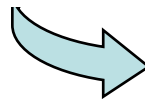
1=EQUAL 3=MODERATE 5=STRONG 7=VERY STRONG 9=EXTREME

1	SAFETY	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AESTHEST
---	--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Abbreviation	Definition
Goal	Mayor selecting bridge
SAFETY	Bridge safety
AESTHEST	Bridge aesthetics

SAFETY	.333	<div style="width: 33.3%;"></div>
AESTHEST	.667	<div style="width: 66.7%;"></div>

Inconsistency Ratio = 0.0



Synthesis of Leaf Nodes with respect to GOAL

Distributive Mode

OVERALL INCONSISTENCY INDEX = 0.0

BRIDGE A	.683	<div style="width: 68.3%;"></div>
BRIDGE B	.317	<div style="width: 31.7%;"></div>

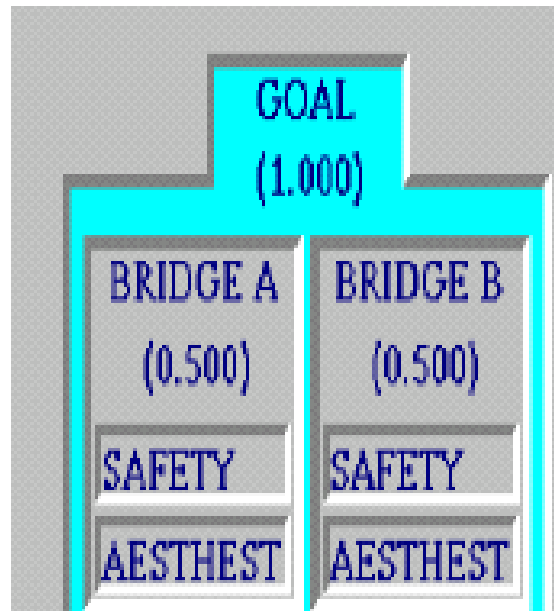
Abbreviation	Definition
BRIDGE A	Extremely safe and BEAUTIFUL
BRIDGE B	Extreeeemely safe but UGLY!

AHP mit Feedback: Iterationsverfahren

- Schritt 1:
 - Vorbereitung
 - Gleichgewichtung der Alternativen
- Schritt 2:
 - Beurteilung der Kriterien in Bezug auf Alternativen
 - Synthese als Kriteriengewichte
- Schritt 3:
 - Beurteilung der Alternativen mit Kriteriengewichten
 - Synthese als neue Alternativengewichte
 - falls Gewichtsänderung hinreichend klein dann Ende, sonst weiter mit Schritt 2

Beispiel Brückenbau

Iterationsschritt 1



Beispiel Brückenbau

Iterationsschritt 2 (Brücke A)

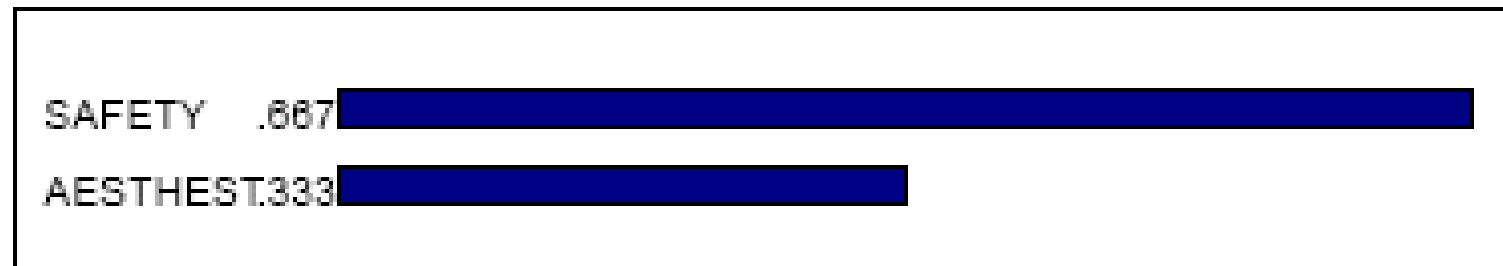
Node: 10000

Compare the relative IMPORTANCE with respect to: BRIDGE A < GOAL

1=EQUAL 3=MODERATE 5=STRONG 7=VERY STRONG 9=EXTREME

1	SAFETY	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AESTHEST
---	--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Abbreviation	Definition
Goal	
BRIDGE A	
SAFETY	
AESTHEST	



Inconsistency Ratio =0.0

Beispiel Brückenbau

Iterationsschritt 2 (Brücke B)

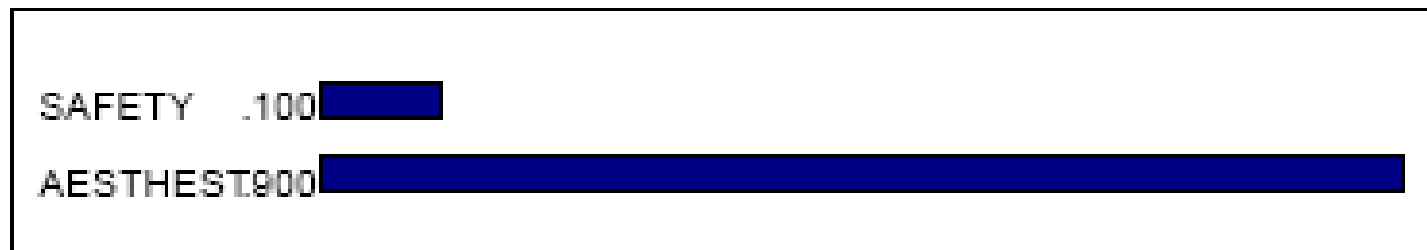
Node: 20000

Compare the relative IMPORTANCE with respect to: BRIDGE B < GOAL

1=EQUAL 3=MODERATE 5=STRONG 7=VERY STRONG 9=EXTREME

1	SAFETY	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AESTHEST
---	--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Abbreviation	Definition
Goal	
BRIDGE B	Extreeeemely safe but UGLY!
SAFETY	
AESTHEST	

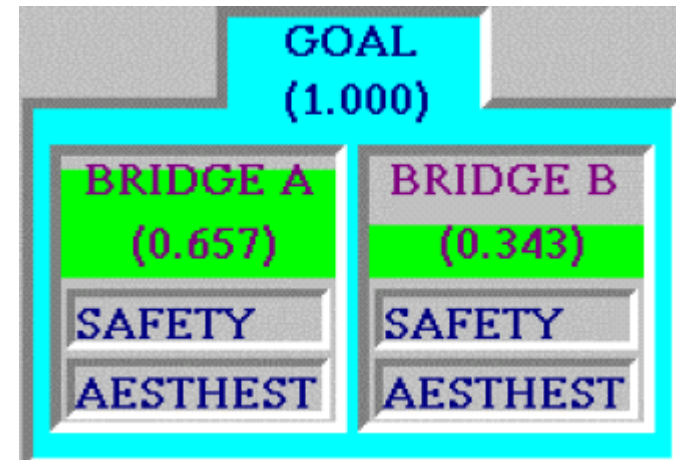


Inconsistency Ratio =0.0

Beispiel Brückenbau

Iterationsschritt 3 (Abschluss von Runde 1)

- Kriteriengewichte



- Alternativenbewertung



Beispiel Brückenbau

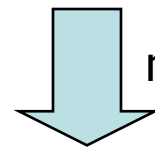
Ergebnisse der Iterationsrunden

Iteration# / Alt or Obj	BridgeA or Safety	BridgeB or Aesthetics
2nd Alt:	.610	.390
3 rd Obj:	.446	.554
3 rd Alt:	.624	.376
4 th Obj:	.454	.546
4 th Alt:	.619	.381
5 th Obj:	.451	.549
5 th Alt:	.621	.379
6 th Obj:	.452	.548
6 th Alt:	.620	.380
7 th Obj:	.451	.549
7 th Alt:	.621	.379

Beispiel Brückenbau

AHP mit Feedback: Supermatrizen

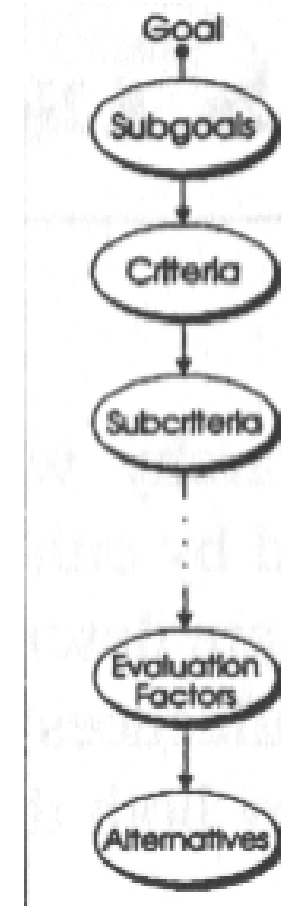
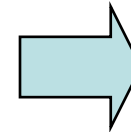
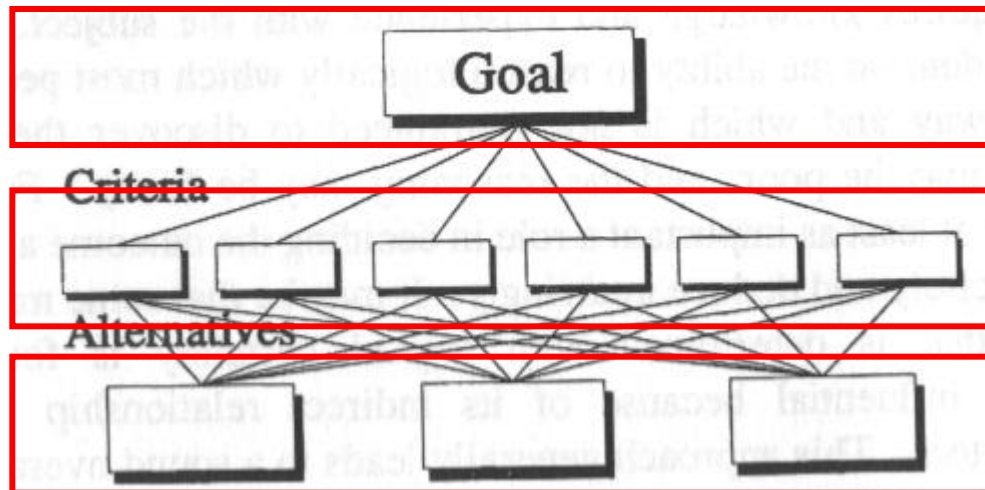
0.	0.	0.667	0.1
0.	0.	0.333	0.9
0.333	0.857	0.	0.
0.667	0.143	0.	0.



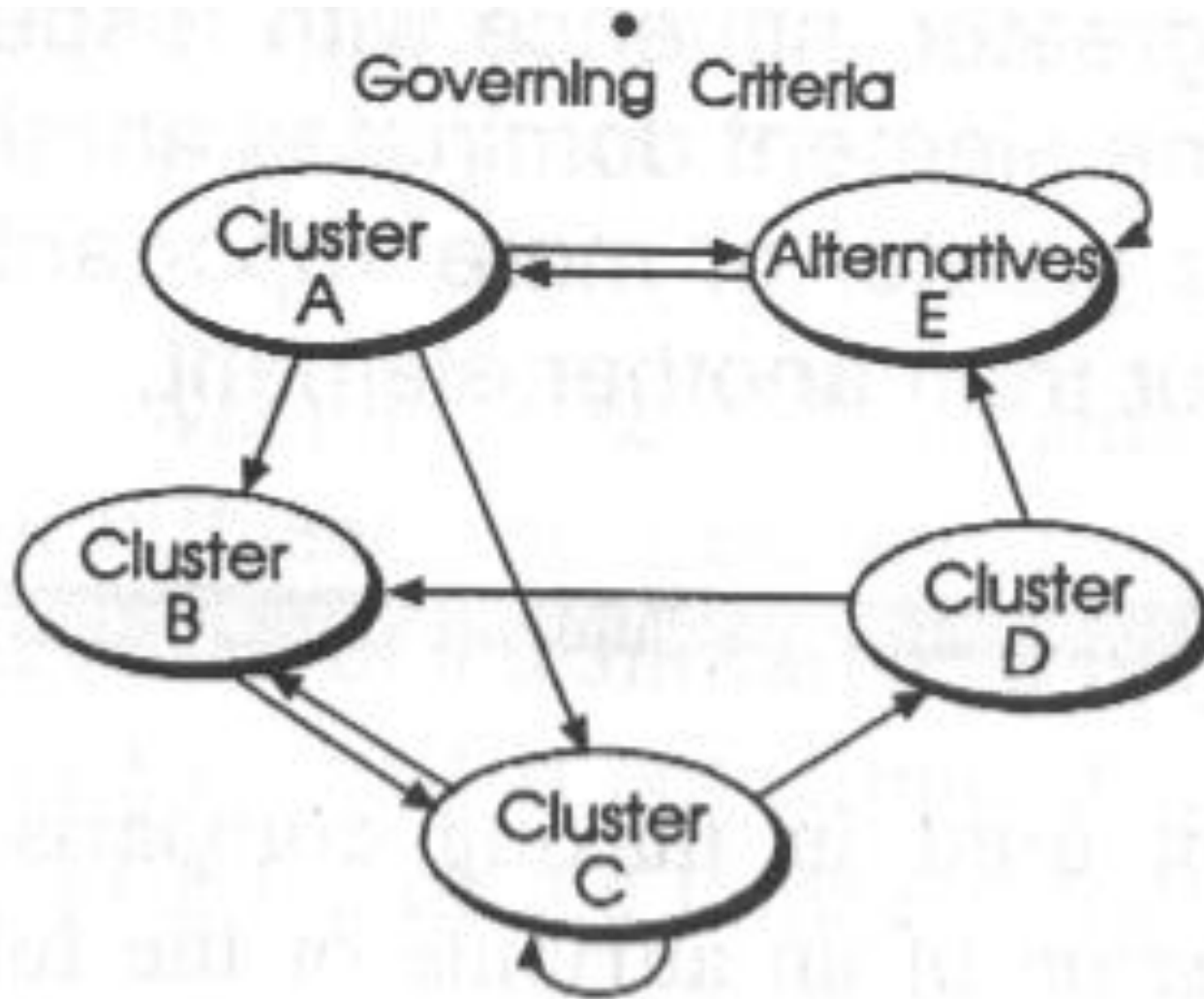
n-te Potenz ($n \rightarrow \text{unendlich}$)

0.452	0.452	0.	0.
0.548	0.548	0.	0.
0.	0.	0.621	0.621
0.	0.	0.379	0.379

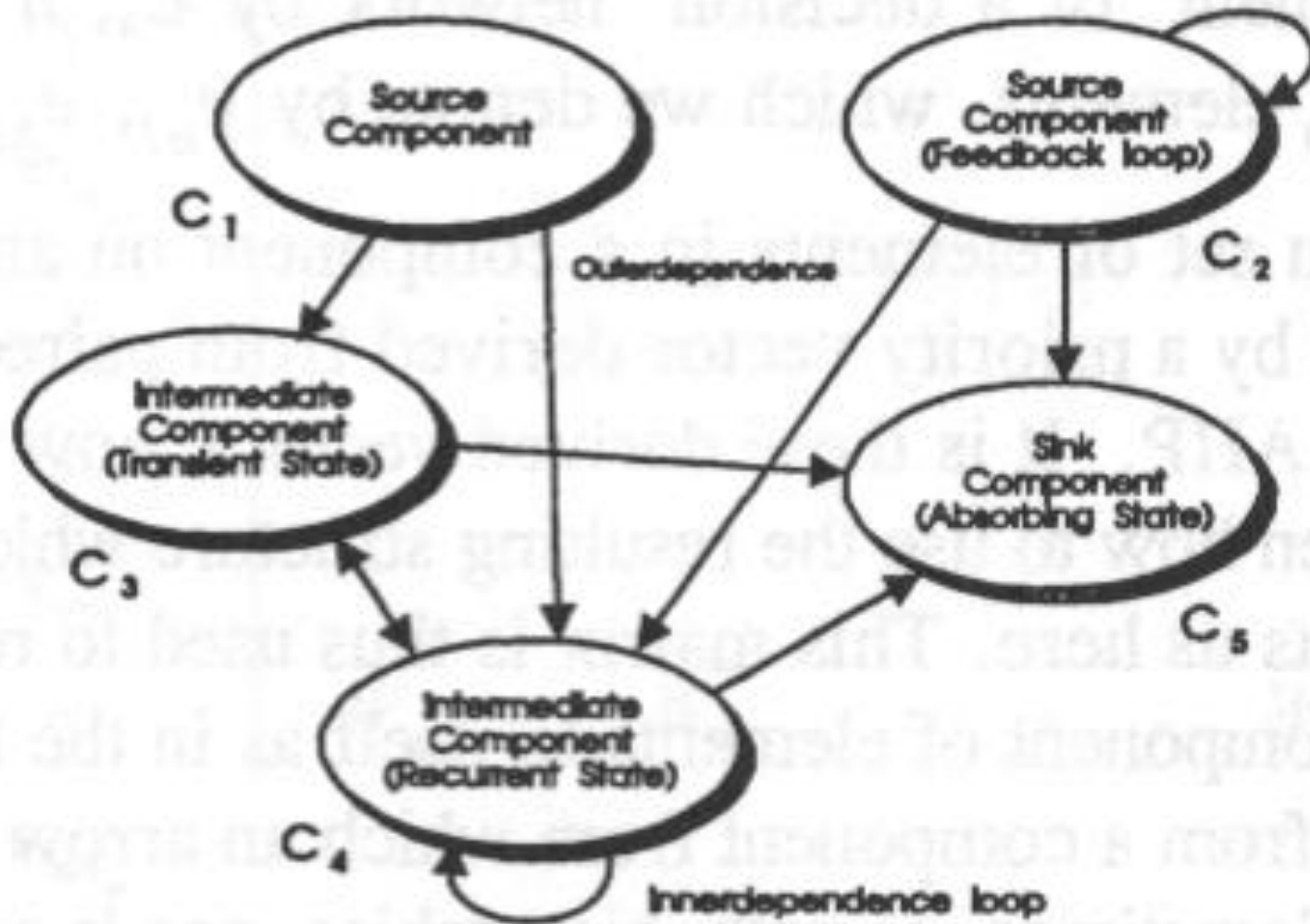
ANP als AHP: Hierarchieebenen als Cluster



ANP: Netzwerke als allgemeine Hierarchien



Clustertypen



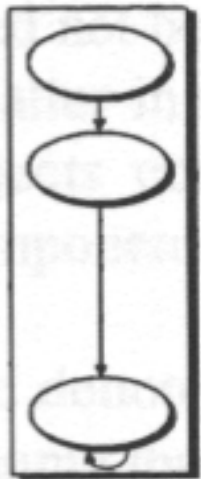
Paarvergleiche zwischen Clustern

- Beispiel
 - Cluster 3: 2 Elemente (A, B)
 - Cluster 4: 3 Elemente (I, II, III)
 - Interdependenz zwischen Cluster 3 und Cluster 4
- Einfluss von Cluster 3 auf Cluster 4
 - Vergleich zwischen I, II, III in Bezug auf A
 - Vergleich zwischen I, II, III in Bezug auf B
- Einfluss von Cluster 4 auf Cluster 3
 - Vergleich zwischen A, B in Bezug auf I
 - Vergleich zwischen A, B in Bezug auf II
 - Vergleich zwischen A, B in Bezug auf III

Eigenvektor-Matrix
 $W_{4,3} (3 \times 2)$

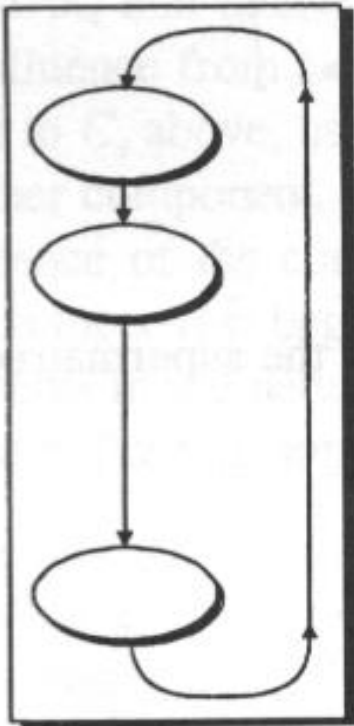
Eigenvektor-Matrix
 $W_{3,4} (2 \times 3)$

Supermatrizen für Hierarchien



$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & \cdot & 0 & 0 \\ W_{21} & 0 & 0 & \dots & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & \dots & \cdot & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & W_{n-1, n-2} & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \cdot & W_{n, n-1} & I \end{bmatrix}$$

Supermatrizen für Holarchien



$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & W_{1,n} \\ W_{21} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & W_{n-1,n-2} & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & W_{n,n-1} & 0 \end{bmatrix}$$

Stochastizität der Supermatrix

- (Spalten-) Stochastizität
 - Summe der Spaltenelemente = 1
 - automatisch erfüllt bei Hierarchien und Holarchien
- allgemeine Netzwerke
 - paarweise Clustervergleiche
 - **Gewichtung** (ggfs. Re-**Normalisierung**) der Clusterzeilen mit Clustergewicht
 - ⇒ **Weighted Supermatrix**
- mathematischer Hintergrund
 - Eigenvektor stochastischer Matrizen ist immer 1
 - ermöglicht Anwendung (relativ) einfacher Lösungsverfahren
 - erlaubt inhaltliche Interpretation der Ergebnisse

ANP-Lösungsverfahren

- hinreichend häufige Potenzierung der (gewichteten) Supermatrix \Rightarrow **Limit Supermatrix**
- Stochastizität bewirkt Stabilisierung
 - einfach
 - zyklisch
- inhaltliche Interpretation
 - gegenseitige Beeinflussung (unendlich) oft wirken lassen (Wirkungsrunden)
 - Lösung ist das Ergebnis ein Abfolge direkter, indirekter, indirekt-indirekter, ..., Beeinflussung
 - analog: Input-Output-Matrizen

ANP: Einfache Lösung

- Hierarchie mit m Ebenen
- hier: $k \geq m-1$

$$W^k = \begin{bmatrix} 0 & & & 0 & & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & & & 0 & & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & & & 0 & & \dots & 0 & 0 & 0 \\ W_{m,m-1} & W_{m-1,m-2} & \dots & W_{32} & W_{21} & W_{m,m-1} & W_{m-1,m-2} & \dots & W_{32} & \dots & W_{m,m-1} & W_{m-1,m-2} & W_{m,m-1} & I \end{bmatrix}$$

ANP: Zyklische Lösung (Bsp.: 3-Phasen Zyklus) 1

$$W = \begin{bmatrix} 0 & W_{12} & 0 \\ 0 & 0 & W_{23} \\ W_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & W_{12}W_{23} \\ W_{23}W_{31} & 0 & 0 \\ 0 & W_{31}W_{12} & 0 \end{bmatrix}$$

$$W^3 = \begin{bmatrix} W_{12}W_{23}W_{31} & 0 & 0 \\ 0 & W_{23}W_{31}W_{12} & 0 \\ 0 & 0 & W_{31}W_{12}W_{23} \end{bmatrix}$$

ANP: Zyklische Lösung (Bsp.: 3-Phasen Zyklus) 2

$$W^{3k} = \begin{bmatrix} (W_{12}W_{23}W_{31})^k & 0 & 0 \\ 0 & (W_{23}W_{31}W_{12})^k & 0 \\ 0 & 0 & (W_{31}W_{12}W_{23})^k \end{bmatrix}$$

$$W^{3k+1} = \begin{bmatrix} 0 & (W_{12}W_{23}W_{12})^k W_{12} & 0 \\ 0 & 0 & (W_{23}W_{31}W_{12})^k W_{23} \\ (W_{31}W_{12}W_{23})^k W_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W^{3k+2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & (W_{12}W_{23}W_{31})^k W_{12}W_{23} \\ (W_{23}W_{31}W_{12})^k W_{23}W_{31} & 0 & 0 \\ 0 & (W_{31}W_{12}W_{23})^k W_{31}W_{12} & 0 \end{bmatrix}$$

Lösung:

Durchschnittsbildung

Feedback-Wirkung

gewichtet

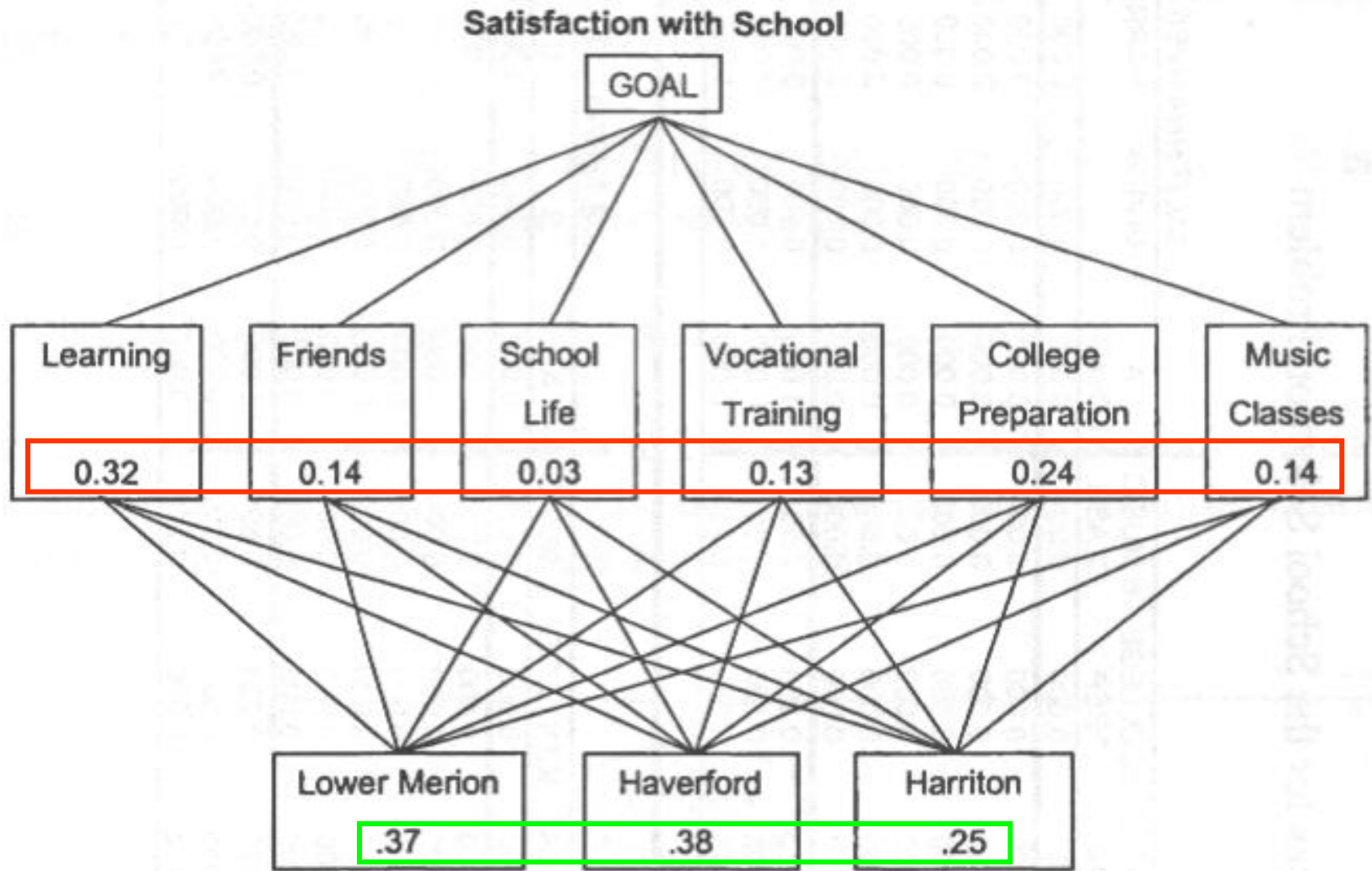
	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{21}	e_{22}	e_{31}	e_{32}	e_{41}	e_{42}
e_{11}	0.021	0.025	0.028	0.025	0.018	0.022	0.026	0.020	0.028
e_{12}	0.005	0.005	0.005	0.189	0.245	0.243	0.225	0.241	0.246
e_{13}	0.223	0.220	0.217	0.119	0.071	0.068	0.082	0.073	0.059
e_{21}	0.219	0.214	0.222	0.000	0.000	0.277	0.277	0.222	0.250
e_{22}	0.031	0.036	0.028	0.000	0.000	0.056	0.056	0.111	0.083
e_{31}	0.208	0.214	0.214	0.266	0.276	0.000	0.000	0.250	0.286
e_{32}	0.042	0.036	0.036	0.067	0.056	0.000	0.000	0.083	0.048
e_{41}	0.188	0.219	0.219	0.278	0.278	0.267	0.278	0.000	0.000
e_{42}	0.063	0.031	0.031	0.056	0.056	0.067	0.056	0.000	0.000

Limit

	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{21}	e_{22}	e_{31}	e_{32}	e_{41}	e_{42}
e_{11}	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
e_{12}	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
e_{13}	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
e_{21}	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183
e_{22}	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
e_{31}	0.187	0.187	0.187	0.187	0.187	0.187	0.187	0.187	0.187
e_{32}	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
e_{41}	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193
e_{42}	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038

Beispiel Schulauswahl

Hierarchisches Netz



Beispiel Schulauswahl Supermatrizen

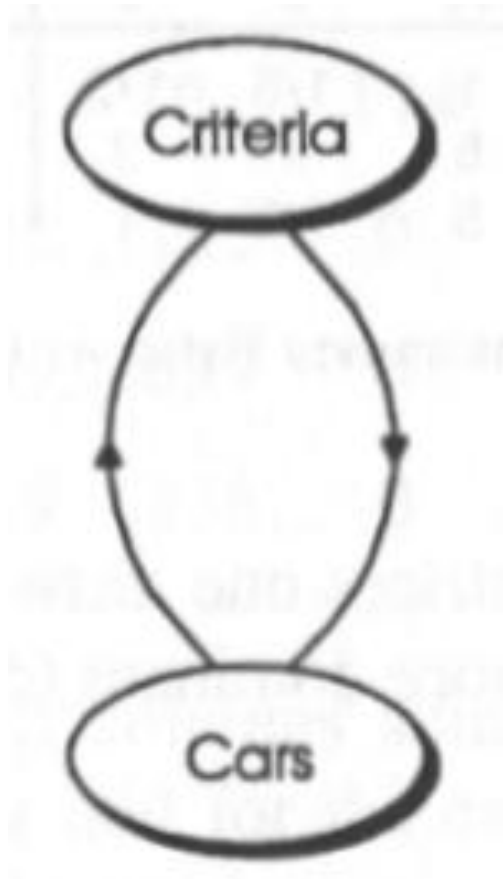
Unweighted Supermatrix											
Component	Nodes	1 GOAL	2 CRITERIA						3 ALTERNATIVES		
		GOAL	1 LEARN- ING	2 FRIENDS	3 SCHOOL LIFE	4 VOCAT TRNG	5 COLLEGE PREP	6 MUSIC CLASS	A LOWER	B HAVER-	C HARRI-
1 GOAL	GOAL NODE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2 CRITERIA	1 LEARNING	0.321	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2 FRIENDS	0.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3 SCHOOL LIF	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	4 VOCATIONA	0.128	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 COLLEGE PR.	0.237	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	6 MUSIC CLA~	0.139	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3 ALTERN.	A LOWER MER.	0.000	0.157	0.333	0.455	0.772	0.250	0.691	1.000	0.000	0.000
	B HAVERFORD~	0.000	0.594	0.333	0.091	0.055	0.500	0.091	0.000	1.000	0.000
	C HARRITON ~	0.000	0.249	0.333	0.455	0.173	0.250	0.218	0.000	0.000	1.000

Limiting Supermatrix											
Component	Nodes	1 GOAL	2 CRITERIA						3 ALTERNATIVES		
		GOAL	1 LEARN	2 FRIEN	3 SCHOOL	4 VOCAT	5 COLLEGE	6 MUSIC	A	B	C
1 GOAL	GOAL NODE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2 CRITERIA	1 LEARNING	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2 FRIENDS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3 SCHOOL LI-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	4 VOCATIONA~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 COLLEGE P~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	6 MUSIC CLA~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3 ALTERN.	A LOWER MER~	0.367	0.157	0.333	0.455	0.772	0.250	0.691	1.000	0.000	0.000
	B HAVERFORD~	0.378	0.594	0.333	0.091	0.055	0.500	0.091	0.000	1.000	0.000
	C HARRITON ~	0.254	0.249	0.333	0.455	0.173	0.250	0.218	0.000	0.000	1.000

Übung: Reproduktion der Evaluationsmatrizen

Beispiel Automobilkauf

Holarchisches Netz



- Kriterien
 - Cost (C)
 - Repair (R)
 - Durability (D)

- Alternativen
 - American (A)
 - European (E)
 - Japanese (J)

Beispiel Automobilkauf

Evaluationsmatrizen (Kriterien → Alternativen)

Welcher von jeweils zwei Autotypen erfüllt das betrachtete Kriterium besser und um wieviel besser?

Cost	A	E	J	Eigenvector
A	1	5	3	.637
E	1/5	1	1/3	.105
J	1/3	3	1	.258

Consistency Ratio = .033

Repair Cost	A	E	J	Eigenvector
A	1	5	2	.582
E	1/5	1	1/3	.109
J	1/2	3	1	.003

Consistency Ratio = .003

Durability	A	E	J	Eigenvector
A	1	1/5	1/3	.105
E	5	1	3	.637
J	3	1/3	1	.258

Consistency Ratio = .033

Beispiel Automobilkauf

Evaluationsmatrizen (Alternativen → Kriterien)

Welches von jeweils zwei Kriterien ist in Bezug auf den betrachteten Autotyp charakteristischer und um wieviel charakteristischer?

American	C	R	D	Eigenvector
C	1	3	4	.634
R	1/3	1	1	.192
D	1/4	1	1	.174

Consistency Ratio = .008

European	C	R	D	Eigenvector
C	1	1	½	.250
R	1	1	½	.250
D	2	2	1	.500

Consistency Ratio = .008

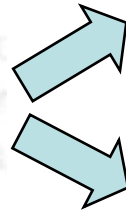
Japanese	C	R	D	Eigenvector
C	1	2	1	.400
R	½	1	½	.200
D	1	2	1	.400

Consistency Ratio = .000

Beispiel Automobilkauf

Supermatrizen

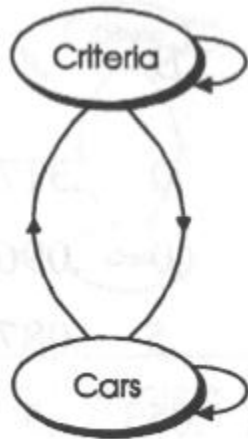
	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>J</i>
<i>C</i>	0	0	0	.634	.250	.400
<i>R</i>	0	0	0	.192	.250	.200
<i>D</i>	0	0	0	.174	.500	.400
<i>A</i>	.637	.582	.105	0	0	0
<i>E</i>	.105	.109	.637	0	0	0
<i>J</i>	.259	.309	.258	0	0	0



	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>J</i>
<i>C</i>	0	0	0	.464	.464	.464
<i>R</i>	0	0	0	.210	.210	.210
<i>D</i>	0	0	0	.326	.326	.326
<i>A</i>	.452	.452	.452	0	0	0
<i>E</i>	.279	.279	.279	0	0	0
<i>J</i>	.269	.269	.269	0	0	0
<i>C</i>	.464	.464	.464	0	0	0
<i>R</i>	.210	.210	.210	0	0	0
<i>D</i>	.326	.326	.326	0	0	0
<i>A</i>	0	0	0	.452	.452	.452
<i>E</i>	0	0	0	.279	.279	.279
<i>J</i>	0	0	0	.269	.269	.269

Beispiel Automobilkauf

Holarchisches Netz mit Einfach-Loops



	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>J</i>
<i>C</i>	1	0	0	.634	.250	.400
<i>R</i>	0	1	0	.192	.250	.200
<i>D</i>	0	0	1	.174	.500	.400
<i>A</i>	.637	.582	.105	1	0	0
<i>E</i>	.105	.109	.637	0	1	0
<i>J</i>	.259	.309	.258	0	0	1

Beispiel Automobilkauf

Ergebnis mit Einfach-Loops

Weighted Supermatrix

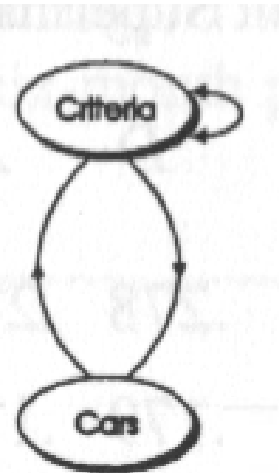
	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>J</i>
<i>C</i>	.5	0	0	.317	.125	.200
<i>R</i>	0	.5	0	.096	.125	.100
<i>D</i>	0	0	.5	.087	.250	.200
<i>A</i>	.319	.291	.053	.5	0	0
<i>E</i>	.053	.055	.319	0	.5	0
<i>J</i>	.129	.155	.129	0	0	.5

Limit Supermatrix

	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>J</i>
<i>C</i>	.232	.232	.232	.232	.232	.232
<i>R</i>	.105	.105	.105	.105	.105	.105
<i>D</i>	.163	.163	.163	.163	.163	.163
<i>A</i>	.226	.226	.226	.226	.226	.226
<i>E</i>	.140	.140	.140	.140	.140	.140
<i>J</i>	.134	.134	.134	.134	.134	.134

Beispiel Automobilkauf

Innere Abhängigkeiten zwischen den Kriterien



Weighted Supermatrix

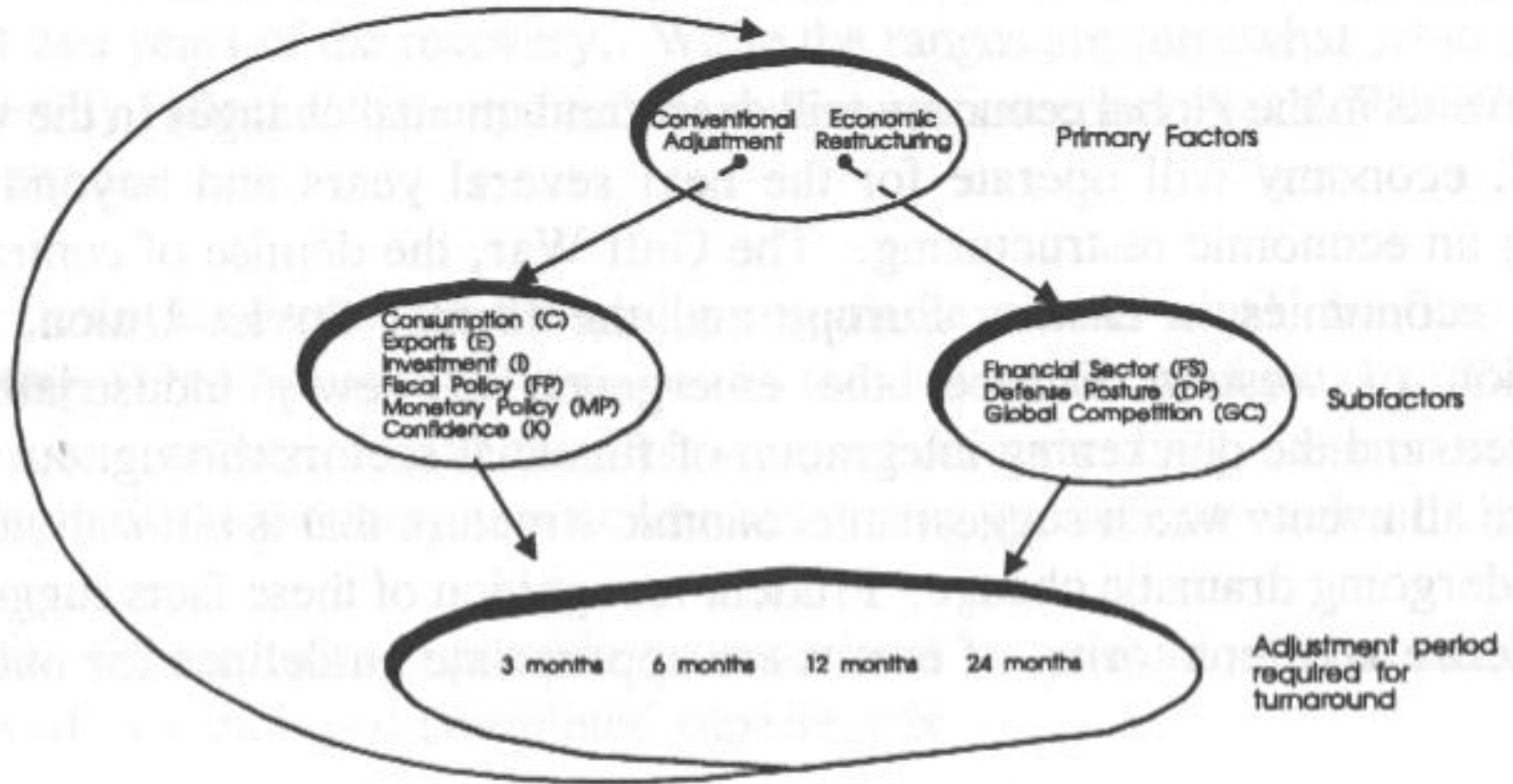
	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>J</i>
<i>C</i>	.150	.100	.300	.634	.250	.400
<i>R</i>	.200	.125	.150	.192	.250	.200
<i>D</i>	.150	.275	.050	.174	.500	.400
<i>A</i>	.319	.291	.053	0	0	0
<i>E</i>	.053	.055	.319	0	0	0
<i>J</i>	.219	.155	.129	0	0	0

Limit Supermatrix

	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>J</i>
<i>C</i>	.278	.278	.278	.278	.278	.278
<i>R</i>	.179	.179	.179	.179	.179	.179
<i>D</i>	.210	.210	.210	.210	.210	.210
<i>A</i>	.152	.152	.152	.152	.152	.152
<i>E</i>	.091	.091	.091	.091	.091	.091
<i>J</i>	.091	.091	.091	.091	.091	.091

Beispiel Konjunkturwende

Holarchisches Netz



Beispiel Konjunkturwende

Bedeutung der Subfaktoren für Primärfaktoren

Panel A: Which subfactor has the greater potential to influence Conventional Adjustment and how strongly?

		C	E	I	K	F	M	Vector Weights
Consumption	(C)	1	7	5	1/5	1/2	1/5	0.118
Exports	(E)	1/7	1	1/5	1/5	1/5	1/7	0.029
Investment	(I)	1/5	5	1	1/5	1/3	1/5	0.058
Confidence	(K)	5	5	5	1	5	1	0.334
Fiscal Policy	(F)	2	5	3	1/5	1	1/5	0.118
Monetary Policy	(M)	5	7	5	1	5	1	0.343

Panel B: Which subfactor has the greater potential to influence Economic Restructuring and how strongly?

		FS	DP	GC	Vector Weights
Financial Sector	(FS)	1	3	3	0.584
Defense Posture	(DS)	1/3	1	3	0.281
Global Competition	(GC)	1/3	1/3	1	0.135

Beispiel Konjunkturwende

Bedeutung der Zeiträume für CA-Subfaktoren

For each panel below, which time period is more likely to indicate a turnaround if the relevant factor is the sole driving force?

Panel A: Relative importance of targeted time periods for consumption to drive a turnaround

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	1/5	1/7	1/7	.043
6 months	5	1	1/5	1/5	.113
12 months	7	5	1	1/3	.310
24 months	7	5	3	1	.534

Panel B: Relative importance of targeted time periods for exports to drive a turnaround

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	1	1/5	1/5	.083
6 months	1	1	1/5	1/5	.083
12 months	5	5	1	1	.417
24 months	5	5	1	1	.417

Panel C: Relative importance of targeted time periods for investment to drive a turnaround

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	1	1/5	1/5	.078
6 months	1	1	1/5	1/5	.078
12 months	5	5	1	1/3	.305
24 months	5	5	3	1	.538

Panel D: Relative importance of targeted time periods for fiscal policy to drive a turnaround

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	1	1/3	1/5	.099
6 months	1	1	1/5	1/5	.087
12 months	3	5	1	1	.382
24 months	5	5	1	1	.432

Panel E: Relative importance of targeted time periods for monetary policy to drive a turnaround

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	5	7	7	.605
6 months	1/5	1	5	7	.262
12 months	1/7	1/5	1	1/5	.042
24 months	1/7	1/7	5	1	.091

Panel F: Expected time for a change of confidence indicators of consumer and investor activity to support a turnaround in the economy

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	3	5	5	.517
6 months	1/3	1	5	5	.305
12 months	1/5	1/5	1	5	.124
24 months	1/5	1/5	1/5	1	.054

Beispiel Konjunkturwende

Bedeutung der Zeiträume für ER-Subfaktoren

For each panel below, which time period is more likely to indicate a turnaround if the relevant factor is the sole driving force?

Panel A: Financial system restructuring time

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	1/3	1/5	1/7	.049
6 months	3	1	1/5	1/7	.085
12 months	5	5	1	1/5	.236
24 months	7	7	5	1	.630

Panel B: Defense readjustment time

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	1/3	1/5	1/7	.049
6 months	3	1	1/5	1/7	.085
12 months	5	5	1	1/5	.236
24 months	7	7	5	1	.630

Panel C: Global competition adjustment time

	3	6	12	24	Vec. Wts.
3 months	1	1	1/5	1/5	.078
6 months	1	1	1/5	1/5	.078
12 months	5	5	1	1/3	.305
24 months	5	5	3	1	.538

Beispiel Konjunkturwende

Bedeutung der Primärfaktoren für Zeiträume

For each panel below, which factor is more likely to produce a turnaround during the specified time period?

Conventional Adjustment --> CA

Restructuring --> R

Panel A: 3 Months

Panel B: 6 Months

	CA	R	Vec. Wts.
CA	1	5	.833
R	1/5	1	.167

	CA	R	Vec. Wts.
CA	1	5	.833
R	1/5	1	.167

Panel C: 1 Year

Panel D: 2 Years

	CA	R	Vec. Wts.
CA	1	1	.500
R	1	1	.500

	CA	R	Vec. Wts.
CA	1	1/5	.167
R	5	1	.833

Beispiel Konjunkturwende

Ausgangs-Supermatrix

	C.A.	E.R.	Con.	Exp.	Inv.	Con.	F.P.	M.P.	F.S.	D.P.	G.C.	3 mo.	6 mo.	1 yr.	≥2 years
Conven. Adjust	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.833	0.833	0.500	0.167
Econ. Restruct.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.167	0.167	0.500	0.833
Consum.	0.118	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Exports	0.029	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Invest.	0.058	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Confid.	0.334	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fiscal Policy	0.118	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Monetary Policy	0.343	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Financ. Sector	0.0	0.584	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Defense Posture	0.0	0.281	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Global Compet.	0.0	0.135	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 months	0.0	0.0	0.043	0.083	0.078	0.517	0.099	0.605	0.049	0.049	0.089	0.0	0.0	0.0	0.0
6 months	0.0	0.0	0.113	0.083	0.078	0.305	0.086	0.262	0.085	0.085	0.089	0.0	0.0	0.0	0.0
1 year	0.0	0.0	0.310	0.417	0.305	0.124	0.383	0.042	0.236	0.236	0.209	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 2 years	0.0	0.0	0.534	0.417	0.539	0.054	0.432	0.091	0.630	0.630	0.613	0.0	0.0	0.0	0.0

Beispiel Konjunkturwende

Limit-Supermatrix (Phasen 1 und 2)

	C.A.	E.R.	Con.	Exp.	Inv.	Con.	F.P.	M.P.	F.S.	D.P.	G.C.	3 mo.	6 mo.	1 yr.	≥ 2 years
Conven. Adjust	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.484	0.484	0.484	0.484
Econ. Restruct.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.516	0.516	0.516	0.516
Consum.	0.057	0.057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exports	0.014	0.014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invest.	0.028	0.028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Confid.	0.162	0.162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fiscal Policy	0.057	0.057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monetary Policy	0.166	0.166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Financ. Sector	0.302	0.302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Defense Posture	0.145	0.145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Global Compet.	0.070	0.070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 months	0	0	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0	0	0	0
6 months	0	0	0.152	0.151	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0	0	0	0
1 year	0	0	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0	0	0	0
≥ 2 years	0	0	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0	0	0	0

	C.A.	E.R.	Con.	Exp.	Inv.	Con.	F.P.	M.P.	F.S.	D.P.	G.C.	3 mo.	6 mo.	1 yr.	≥ 2 years
Conven.-Adjust	0.0	0.0	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.0	0.0	0.0	0.0
Econ. Restruct.	0.0	0.0	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.0	0.0	0.0	0.0
Consum.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.057	0.057	0.057	0.057
Exports	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.014	0.014	0.014	0.014
Invest.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.028	0.028	0.028	0.028
Confid.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.162	0.162	0.162	0.162
Fiscal Policy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.057	0.057	0.057	0.057
Monetary Policy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.166	0.166	0.166	0.166
Financ. Sector	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.301	0.301	0.301	0.301
Defense Posture	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.145	0.145	0.145	0.145
Global Compet.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.070	0.070	0.070	0.070
3 months	0.224	0.224	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6 months	0.151	0.151	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 year	0.201	0.201	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 2 years	0.424	0.424	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Beispiel Konjunkturwende

Limit-Supermatrix (Phase 3, Summe) und Ergebnis

	C.A.	E.R.	Con.	Exp.	Inv.	Con.	F.P.	M.P.	F.S.	D.P.	G.C.	3 mo.	6 mo.	1 yr.	≥ 2 yrs
Conven. Adjust	0.484	0.484	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Econ. Restruct.	0.516	0.516	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consum.	0	0	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0	0	0	0
Exports	0	0	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0	0	0	0
Invest.	0	0	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0	0	0	0
Confid.	0	0	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0	0	0	0
Fiscal Policy	0	0	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0	0	0	0
Monetary Policy	0	0	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0	0	0	0
Financ. Sector	0	0	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0	0	0	0
Defense Posture	0	0	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0	0	0	0
Global Compet.	0	0	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.70	0	0	0	0
3 months	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.223	0.223	0.233	0.233
6 months	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.152	0.152	0.152	0.152
1 year	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.201	0.201	0.201	0.201
≥ 2 years	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.424	0.424	0.424	0.424

	C.A.	E.R.	Con.	Exp.	Inv.	Con.	F.P.	M.P.	F.S.	D.P.	G.C.	3 mo.	6 mo.	1 yr.	≥ 2 years
Conven. Adjust	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484	0.484
Econ. Restruct.	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516
Consum.	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
Exports	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
Invest.	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
Confid.	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162
Fiscal Policy	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
Monetary Policy	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166
Finance. Sector	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302
Defense Posture	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145
Global Compet.	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
3 months	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223
6 months	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152
1 year	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201
≥ 2 years	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424

$$.223 \times 1.5 + .152 \times 4.5 + .201 \times 9 + .424 \times 18 = 10.46 \text{ months.}^*$$