

Schippels, G.; Dellmann, Klaus

Working Paper — Digitized Version

AHP: Ein Verfahren zur computergestützten Entscheidungsvorbereitung - Handbuch

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 166

Provided in Cooperation with:

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Schippels, G.; Dellmann, Klaus (1985) : AHP: Ein Verfahren zur computergestützten Entscheidungsvorbereitung - Handbuch, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 166, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/168608>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Nr. 166

A H P

- EIN VERFAHREN ZUR COMPUTERGESTÜTZTEN
ENTSCHEIDUNGSVORBEREITUNG -

G. Schippels - K. Dellmann

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1. Darstellung des analytischen hierarchischen Prozesses (AHP)	1
1.1. Einleitung	1
1.1.1. Begriffsbestimmung	1
1.1.2. Input des AHP-Verfahrens	2
1.1.3. Output des AHP-Verfahrens	2
1.1.4. Ablauf des Verfahrens	3
1.2. Hierarchische Strukturierung des Entscheidungsproblems	4
1.2.1. Hierarchische Strukturen	4
1.2.1.1. Komplette Hierarchien	4
1.2.1.2. Nicht-komplette Hierarchien	6
1.2.2. Komposition der Hierarchie	7
1.3. Quantifizieren der qualitativen Faktoren	8
1.3.1. Erstellung der paarweisen Vergleichsurteile	8
1.3.1.1. Fragestellungen bei der Durchführung der paarweisen Vergleiche	8
1.3.1.2. Implementierte Erleichterungen	10
1.3.1.3. Bedeutung der Einträge in der Vergleichsmatrix	10
1.3.2. Skalierung der paarweisen Vergleichsurteile	12
1.3.2.1. Anforderungen an die Skala	12
1.3.2.2. Definition der Skala	14
1.3.2.3. Interpretation der Skalenwerte	15

1.4. Eigenwertmethode	17
1.4.1. Mathematische Grundlagen	17
1.4.2. Bearbeitung der Vergleichsmatrizen	19
1.4.3. Gewichtung der Eigenvektoren	19
1.5. Konsistenz	21
1.5.1. Kardinale Konsistenz	21
1.5.2. Ordinale Konsistenz	22
1.5.3. Konsistenzmaße	22
1.5.3.1. Konsistenzindex	23
1.5.3.2. Zufallskonsistenz	23
1.5.3.3. Konsistenzverhältnis	24
1.5.4. Bedeutung der Konsistenz im AHP-Verfahren	25
1.6. Interpretation der Ergebnisse	26
1.7. Einsatzmöglichkeiten des AHP-Verfahrens	27
1.7.1. Setzen von Prioritäten	28
1.7.2. Planung	29
1.7.3. Allokation von Ressourcen	29
1.7.4. Prognose	30
1.8. Grenzen der Anwendung des AHP-Verfahrens	31

2. Anwendung des Programms AHP	32
2.1. Kurze Beschreibung des AHP-Verfahrens	32
2.2. Starten des Programms	33
2.3. Weitere Erläuterungen	34
2.3.1. Datensicherung	34
2.3.2. Fehlerbehandlung	35
2.3.3. Programmabbruch	35
3. Programmdokumentation	36
3.1. Programmkenndaten	36
3.2. Programmbeschreibung	37
Literaturverzeichnis	41

1. Darstellung des Analytischen Hierarchischen

Prozesses (AHP)

1.1. Einleitung

1.1.1. Begriffsbestimmung

Komplexe Entscheidungsprobleme sind durch eine hohe Anzahl für die Entscheidung relevanter Faktoren gekennzeichnet, die sich wechselseitig beeinflussen können.¹

Der von Th.L. Saaty im Jahre 1971 entwickelte Analytische Hierarchische Prozeß (AHP) ist ein Verfahren zur Behandlung komplexer, unstrukturierter Entscheidungsprobleme.² Es basiert auf der Eigenwertmethode.

Saaty formuliert die Zielsetzung des AHP wie folgt: "... to analyze a complex decision problem by combining its qualitative and quantitative aspects in a single framework and generating a set of priorities for alternative courses of action."³

Die Faktoren, die eine Entscheidung beeinflussen, sind oft nicht direkt meßbar. Die Anwendung des AHP-Verfahrens ermöglicht es, diese Einflußfaktoren zu quantifizieren.

¹vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, Applications in Business, Energy, Health and Transportation, Boston, La Hague, London 1982 (im folgenden zitiert als "T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities"), S. 3.

²Ebenda, S. XIII.

1.1.2. Input des AHP

Die Anwendung des AHP-Verfahrens erfordert folgenden Input:

1. Eine Beschreibung des Entscheidungsproblems in der Form einer hierarchischen Struktur, die die Beziehungen zwischen den für die Entscheidung relevanten Faktoren definiert.
2. Paarweise Vergleichsurteile des Entscheidungsträgers über das Verhältnis der Bedeutung bzw. des Einflusses jeweils zweier Entscheidungsfaktoren.¹

Auf diesen Input wird die Eigenwertmethode angewandt.

1.1.3. Output des AHP

Output des AHP ist ein Vektor, der Eigenvektor, der dem Entscheidungsträger die aus seinen Beurteilungen ermittelten relativen Prioritäten der zur Disposition stehenden Alternativen unter Berücksichtigung der gegebenen Hauptzielsetzung und eventuell vorhandener Nebenzielsetzungen anzeigt.²

¹vgl. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, New York 1980 (im folgenden zitiert als "T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process"), S. 4.

²vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, in: Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15 (1977), S. 234-281 (im folgenden zitiert als "T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures"), hier: S. 235.

1.1.4. Ablauf des Verfahrens

Bei der Anwendung des AHP-Verfahrens sind folgende Schritte durchzuführen:¹

1. Definition des Problems
2. Komposition der Hierarchie
3. Bewertung der Elemente jeder Ebene der Hierarchie unter Benutzung von Matrizen
4. Berechnung des Eigenwertes und des Eigenvektors für jede Bewertungsmatrix
5. Gewichten der Eigenvektoren
6. Überprüfen der Konsistenz
(Falls die Konsistenz nicht zufriedenstellend ist, werden die Schritte 3 bis 6 wiederholt)
7. Interpretation des Ergebnisses

¹vgl. T.L. Saaty, Y. Wind, Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process, in: Management Science, Vol. 26 (1980), S. 641-658 (im folgenden zitiert als "T.L. Saaty, Y. Wind, Marketing Applicatons "), hier: S. 646.

1.2. Hierarchische Strukturierung des

----- Entscheidungsproblems -----

1.2.1. Hierarchische Strukturen

Die Anwendung des AHP-Verfahrens erfordert eine hierarchische Strukturierung des Entscheidungsproblems. Diese hierarchische Struktur kann differenziert gestaltet werden. Es ist notwendig, in jedem Einzelfall die zu einem Entscheidungsproblem passende hierarchische Struktur zu formulieren.¹ Die Anzahl der Ebenen einer Hierarchie ist ebenso wie die Anzahl der Elemente einer Ebene beliebig. Zur Verknüpfung zweier benachbarter Ebenen gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten.

1.2.1.1. Komplette Hierarchien

Jedes Element einer Ebene ist mit jedem Element der nächsthöheren Ebene verbunden. Jedes Element der Ebene steht damit in einer Beziehung zu jedem Element der anderen Ebene.

¹Vgl. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 14.

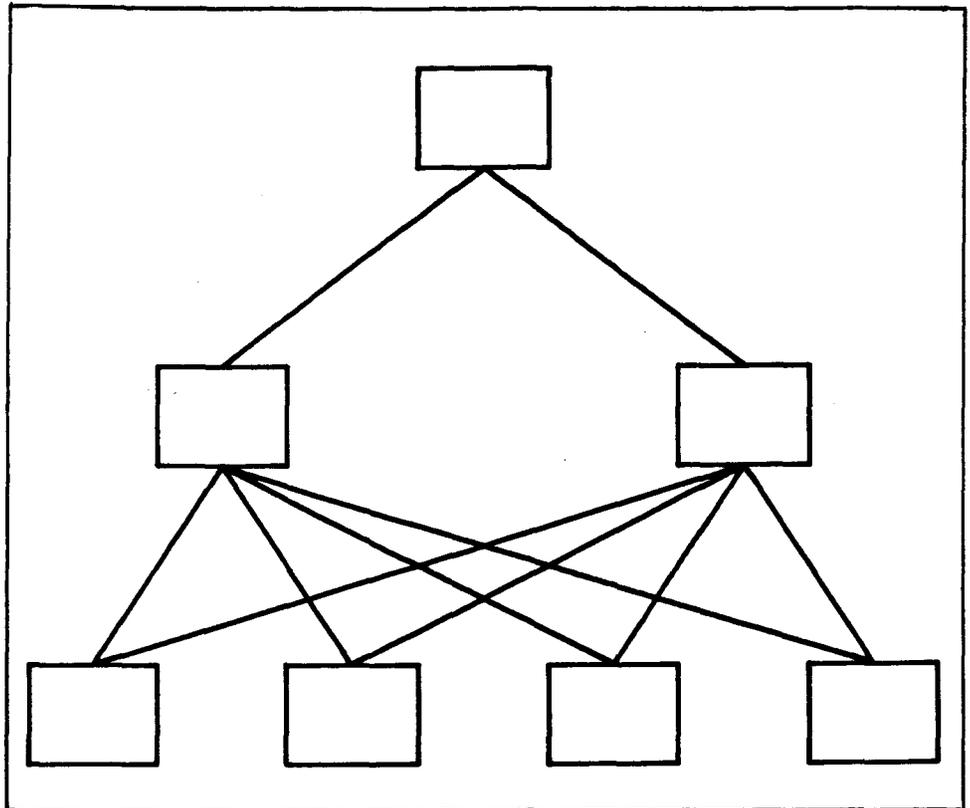


Abb. 1 : Komplette Hierarchie

Diese Verknüpfungsform wird als "komplette Hierarchie" bezeichnet.¹

1vgl. V. Ramanujam, T.L. Saaty, Technological Choice in Less Developed Countries: An Analytic Hierarchy Approach, in: Technological Forecasting and Social Change, Vol. 19 (1981), S. 81-98, hier: S. 82.

1.2.1.2. Nicht komplette Hierarchien

Jedes Element einer Ebene ist mit verschiedenen Elementen der nächsttieferen Ebene verbunden. Hier bestehen keine Beziehungen aller Elemente der beiden Ebenen zueinander.

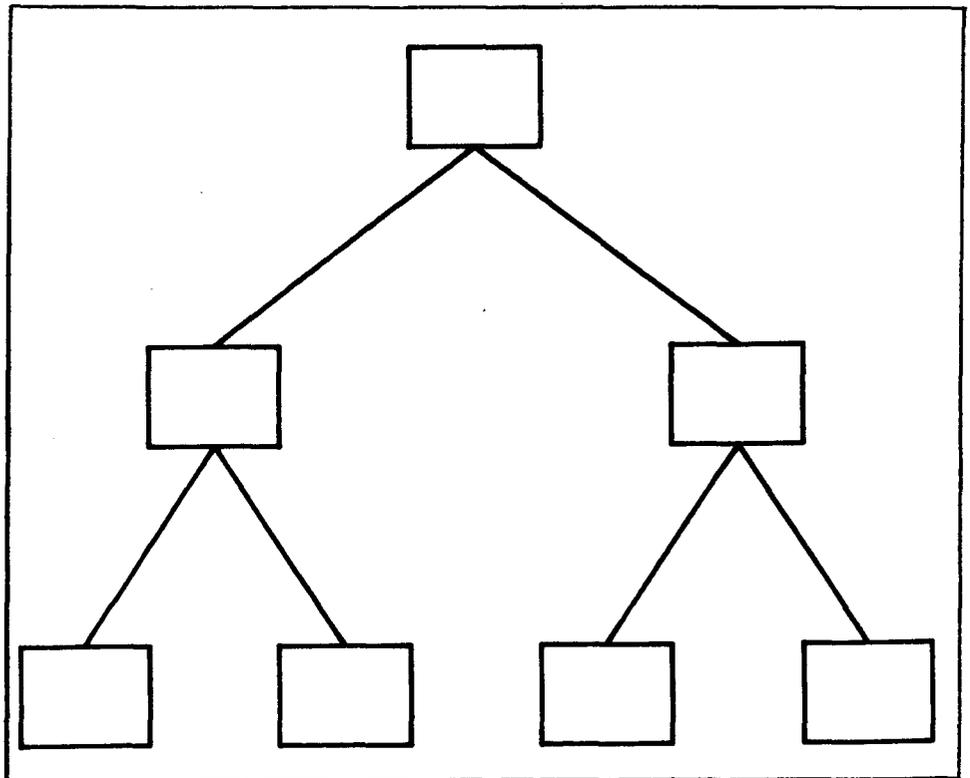


Abb. 2 : Nichtkomplette Hierarchie

Diese Verknüpfungsform wird als "nichtkomplette Hierarchie" bezeichnet.¹

¹vgl. V. Ramanujam, T.L. Saaty, a.a.O., hier: S. 82.

1.2.2. Komposition der Hierarchie

Eine Hierarchie kann aus beiden Formen zusammengesetzt werden oder aus jeweils nur einer der beiden Formen bestehen. Dadurch ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, zu einem Entscheidungsproblem eine Hierarchie aufzubauen. Formen, die in AHP-Anwendungen benutzt werden, sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet :

1. Die erste Ebene ist von der generellen Zielsetzung die zu erfüllen ist, besetzt.
2. Die letzte Ebene ist von den zur Disposition stehenden Alternativen besetzt.

In der mittleren Ebene gibt es viele Variationsmöglichkeiten, wie aus der Tabelle zu ersehen ist.¹

<i>Generic for a System</i>	<i>Environmental Constraints and Forces</i>	<i>Perspectives (Actors)</i>	<i>Objectives of Actors</i>	<i>Policies</i>	<i>Outcomes</i>	<i>Resultant Outcome</i>
Conflict	Constraints	Actors	Objectives	Policies	Outcomes	Compromise or Stable Outcome
Forward Planning	Present Organizational Policies	Other Actors	Objectives	Policies	Scenarios	Logical Future
Backward Planning	Organizational Response Policy	Other Actors	Other Actor Objectives	Other Actor Policies	Problems and Opportunities	Desired Future
Portfolio Selection	Criteria	Subcriteria	Objectives	Policies	Options	Best Option or Mix
Investment Choice	Risk Level	Major Forces	Criteria	Problem Areas	Specific Projects	
Prediction	Risk Level	Major Forces	Criteria	Problem Areas	Categories	

Quelle: T.L. Saaty, L.G. Vargas, *The Logic of Priorities*, a.a.O., S. 109.

¹vgl. dazu auch die Beispiele im zweiten Kapitel dieser Arbeit.

1.3. Quantifizieren der qualitativen Faktoren

1.3.1. Erstellung der paarweisen Vergleichsurteile

Der Entscheidungsträger hat n Alternativen A_1, \dots, A_n jeweils paarweise zu vergleichen. Das Ergebnis des Vergleichs, a_{ij} , wird in der Bewertungsmatrix A an der Stelle (i, j) eingetragen.

	A_1	A_2	\dots	A_n	
A_1	a_{11}	a_{12}	\dots	a_{1n}	
A_2	a_{21}	a_{22}	\dots	a_{2n}	
.	= A
.	
.	
A_n	a_{n1}	a_{n2}	\dots	a_{nn}	

1.3.1.1. Fragestellungen bei der Durchführung der

paarweisen Vergleiche

Die Fragestellung, die zu beantworten ist, um die Vergleichsurteile zu erhalten, ist jeweils dem aktuellen Entscheidungsproblem angepaßt. Nachfolgend sollen einige Möglichkeiten dargestellt werden:

1. Betrachten Sie zwei Merkmale , i auf der linken Seite der Matrix und j in der Kopfzeile. Welches der zwei Merkmale ist wichtiger für ein bestimmtes Ereignis und wieviel wichtiger ist es?
2. Betrachten Sie ein Merkmal X und ein Paar von Ereignissen , A und B. Welches Ereignis ist als Konsequenz von X wahrscheinlicher, und wieviel wahrscheinlicher ist es ?¹
3. Wieviel mehr Nutzen bringt ein Element A als ein Element B für ein Element X?²
4. Wieviel mehr wichtig oder repräsentativ ist A als B unter Bezugnahme auf C ?
5. Betrachten Sie zwei Alternativen A und B. Welche trägt wieviel mehr dazu bei, ein bestimmtes Ziel zu erreichen ?
6. Welches Ereignis, A oder B, übt einen größeren Einfluß auf das Element X aus ? Wieviel größer ist der Einfluß?

¹vgl. R.R. Yager, An Eigenvalue Method of Obtaining Subjective Probabilities, in: Behavioral Science, Vol. 24 (1979), S. 382-387, hier: S. 384.

²vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 14.

1.3.1.2. Implementierte Erleichterungen

Um die Arbeit des Entscheidenden zu erleichtern und die Konsistenz seiner Beurteilungen zu verbessern, werden die Einträge auf der Diagonalen, also alle a_{ij} mit $i=j$, gleich 1 gesetzt. Aus den gleichen Gründen wird, wenn der Wert für a_{ij} vorliegt, der Wert a_{ji} gleich $1/a_{ij}$, also gleich dem reziproken Wert, gesetzt.

Es wird dabei unterstellt, daß zwei Vergleiche zweier Alternativen bzw. Elemente hinsichtlich desselben Kriteriums immer dasselbe Ergebnis liefern, unabhängig von der Reihenfolge, in der die Elemente zur Entscheidung vorgelegt wurden.

Es sind damit bei n Alternativen, die paarweise verglichen werden sollen, nur $n(n-1)/2$ Paarvergleiche erforderlich, was den Entscheidungsvorgang erleichtert und beschleunigt.

1.3.1.3. Bedeutung der Matrixeinträge

Ein Wert a_{ij} in der Matrix A repräsentiert das Verhältnis der beiden Gewichte w_i und w_j zueinander:

$$a_{ij} = w_i/w_j. \quad 1,2$$

1vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier S. 235.

2zur Sensitivität des Eigenvektors bei Bewertungsänderungen siehe T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 192 ff.

	A ₁	A ₂	...	A _n	
A ₁	w ₁ /w ₁	w ₁ /w ₂	...	w ₁ /w _n	
A ₂	w ₂ /w ₁	w ₂ /w ₂	...	w ₂ /w _n	
.	
.	
.	
A _n	w _n /w ₁	w _n /w ₂	...	w _n /w _n	= A

1.3.2. Skalierung der paarweisen Vergleichsurteile

1.3.2.1. Anforderungen an die Skala

Saaty formuliert verschiedene Forderungen, die an eine Skala bei der Anwendung im AHP-Verfahren gestellt werden.

1. Die Skala soll soviele verschiedene Schattierungen wie möglich repräsentieren, die bei der Beurteilung der Gewichtsverhältnisse auftreten können.
2. Die Abstände zwischen den Werten sollen gleich eins sein.¹

Es ist erforderlich, daß sich der Entscheidungsträger aller gegebenen Skalenwerte bewußt ist.² Deshalb hat Saaty die Skaleneinteilung auf neun Punkte begrenzt. Er führt weitere Gründe für die Verwendung dieser Skala an:³

1. Die qualitativen Unterschiede sind in der Praxis sinnvoll und sind ausreichend präzise, wenn die Elemente, die verglichen werden, von derselben Größenordnung sind oder nahe beieinander liegen.

¹Vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 22.

²Vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier S. 245, Saaty führt an, in psychologischen Experimenten sei nachgewiesen worden, daß ein Individuum nicht mehr als 7 +/- 2 Objekte gleichzeitig vergleichen kann, ohne notwendige Informationen zu vernachlässigen. Er verweist auf G.A. Miller, The Magical Number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information, in: The Psychological Review, Vol. 63 (1956), S. 81-97.

³Vgl. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process.

2. Die menschliche Fähigkeit, qualitativ zu differenzieren, ist durch die fünf Attribute

- gleich
- schwach
- stark
- sehr stark
- absolut

gut repräsentiert. Wenn höhere Präzision notwendig ist, besteht die Möglichkeit eines Kompromisses. Diese Forderung erfüllt eine Skala mit neun Werten.

Die (1-9)-Skala erzielte in von Saaty durchgeführten Versuchen die realitätsnahesten Ergebnisse. Allerdings ist die Konsistenz, die bei Benutzung dieser Skala erlangt wird¹, meist unbefriedigender als bei Skalen mit gröberer Einteilung. Hier wurde den besseren Ergebnissen der Vorzug gegenüber der besseren Konsistenz anderer Skalen gegeben.

Bei Fällen, in denen Entscheidungen von geringer Komplexität getroffen werden müssen, ist möglicherweise eine gröber strukturierte Skala ausreichend, um die qualitativen Unterschiede der zu vergleichenden Elemente abzudecken. Dies gilt meines Erachtens besonders in den Fällen, bei denen der Entscheidungsträger noch nicht mit dem Beurteilungsverfahren vertraut ist, da es sich für den "Anfänger" als schwierig erweisen könnte, die Werte einer Skala, die von 1 bis 9 reicht, und deren Bedeutung sofort zu erfassen.

¹vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 247.

1.3.2.2. Definition der Skala

Die Bewertung der paarweisen Vergleiche erfolgt auf einer Verhältnisskala mit der Untergrenze 1 und der Obergrenze 9. Die Werte dieser Skala werden wie folgt definiert:¹

WERT	DEFINITION

1	gleiche Wichtigkeit beider Elemente
3	schwach höhere Wichtigkeit eines Elementes
5	stark höhere Wichtigkeit eines Elementes
7	deutlich höhere Wichtigkeit eines Elementes
9	absolut höhere Wichtigkeit eines Elementes
2,4,6,8	Zwischenwerte zwischen zwei benachbarten Werten. Sie werden nur benutzt, wenn ein Kompromiß nötig ist.

Reziproke Werte > 0 werden automatisch zugeordnet.

¹vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 246, und T.L. Saaty, Y. Wind, Marketing Applications, a.a.O., hier: S. 644.

1.3.2.3. Interpretation der Skalenwerte

Die Bedeutung der Skalenwerte paßt sich der Fragestellung bei der Durchführung der paarweisen Vergleiche an. Für zwei verschiedene Fragestellungen sollen die Bedeutungen angegeben werden.

1. "Vergleichen Sie zwei Aktivitäten ! Welche trägt wieviel mehr zur Zielerfüllung bei ? "

SKALENWERT	BEDEUTUNG
<hr/>	
1	Beide Aktivitäten tragen gleich viel zur Zielerfüllung bei
3	Eine Aktivität trägt schwach mehr zur Zielerfüllung bei
5	Eine Aktivität trägt mehr zur Zielerfüllung bei
7	Eine Aktivität trägt deutlich mehr zur Zielerfüllung bei
9	Eine Aktivität trägt absolut mehr zur Zielerfüllung bei

2. "Vergleichen Sie zwei Ereignisse ! Welches der beiden Ereignisse wird mit höherer Wahrscheinlichkeit eintreffen ? Wieviel größer ist die Wahrscheinlichkeit bei diesem Ereignis ? "

SKALENWERT	BEDEUTUNG ¹
1	Beide Ereignisse werden mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eintreten
3	Ein Ereignis wird mit einer etwas höheren Wahrscheinlichkeit eintreten
5	Ein Ereignis wird mit stark höherer Wahrscheinlichkeit eintreten
7	Ein Ereignis wird mit sehr viel höherer Wahrscheinlichkeit eintreten
9	Ein Ereignis wird mit absolut höherer Wahrscheinlichkeit eintreten

lvgl. R.R. Yager, a.a.O., hier: S. 384.

1.4. Eigenwertmethode

1.4.1. Mathematische Grundlagen¹

Nach der Durchführung der paarweisen Vergleiche besteht das Problem darin, aus der Bewertungsmatrix für die Elemente, die verglichen wurden, Gewichte herzuleiten.

Für eine konsistente Matrix ergibt sich der Vektor der Gewichte $(w_1 w_2 \dots w_n)$ der einzelnen Elemente direkt aus der Matrix.²

Die Einträge der Matrix A , a_{ij} , repräsentieren das Gewichtsverhältnis w_i/w_j der beiden Elemente i und j zueinander.

$$a_{ij} = w_i/w_j \quad i, j = 1, \dots, n$$

$$\Rightarrow a_{ij} \cdot w_j/w_i = 1 \quad i, j = 1, \dots, n$$

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j/w_i = n \quad i = 1, \dots, n$$

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j = w_i \cdot n \quad i = 1, \dots, n$$

Diese Gleichung läßt sich auch schreiben als

$$A \cdot w = n \cdot w$$

und ist in dieser Form als das Eigenwertproblem bekannt. Es bedeutet, daß w ein Eigenvektor von A

¹Im Rahmen dieser Diplomarbeit ist ein ausführliches Eingehen auf die mathematischen Zusammenhänge nicht möglich. Der Beweis für die Korrektheit der Methode ist nachzulesen in T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier : S. 235 ff.

²Die folgenden Ausführungen sind eng angelehnt an T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 50 f.

ist mit dem zugehörigen Eigenwert n . Ausgeschrieben lautet die Gleichung

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{pmatrix} = n \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{pmatrix}$$

Die bei der Durchführung des AHP erlangten Matrixeinträge a_{ij} sind jedoch keine objektiven Messungen, sondern subjektive und damit möglicherweise inkonsistente Urteile. Im Fall der Inkonsistenz weichen die Einträge a_{ij} vom wirklichen Gewichtsverhältnis w_i/w_j ab. Deswegen gilt die Gleichung $A \cdot w = n \cdot w$ nicht mehr. Statt dessen ist das Problem

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$$

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{pmatrix} = \lambda_{\max} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{pmatrix}$$

zu lösen.¹ Dies bedeutet, daß der zum größten

¹vgl. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 51.

Eigenwert gehörende Eigenvektor w , der diese Gleichung erfüllt, die Gewichte der beurteilten Elemente enthält.

1.4.2. Bearbeitung der Bewertungsmatrizen

Nach der Durchführung aller notwendigen paarweisen Vergleiche erfolgt die Berechnung. Dafür werden zunächst für jede Vergleichsmatrix der größte Eigenwert λ_{\max} und der zu diesem Eigenwert zugehörige Eigenvektor w bestimmt.¹ Alle Eigenvektoren werden normalisiert, d.h. sie werden so umgeformt, daß die Summe ihrer Elemente gleich eins ist.² Resultat dieses Bearbeitungsschrittes sind die Eigenvektoren jeder Bewertungsmatrix.

1.4.3 Gewichtung der Eigenvektoren

Nach der Normalisierung jedes einzelnen Eigenvektors folgt die Gewichtung dieser Eigenvektoren. Die Elemente der 2. Ebene wurden direkt hinsichtlich des Ziels miteinander verglichen. Deshalb enthält der normalisierte Eigenvektor der 2. Ebene bereits die Gewichte dieser Elemente hinsichtlich der Zielerfüllung und darf nicht mehr gewichtet werden. Für jede einzelne Ebene danach werden jetzt folgende Schritte durchgeführt:

¹Zur Berechnung von Eigenwert und Eigenvektor vgl. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 249 ff., ebenda, S. 179.

²Vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 235.

1. Die normalisierten Eigenvektoren einer Ebene werden zu einer Matrix zusammengefaßt, deren Spalten sie bilden.
2. Diese Matrix wird mit dem Eigenvektor der nächsthöheren Ebene multipliziert, die von den Kriterien besetzt wird, hinsichtlich derer die Elemente der zu bearbeitenden Ebene verglichen wurden. Dadurch wird jedes Element der Eigenvektoren einer Ebene mit der richtigen Stärke gewichtet.
3. Normalisierung dieses Vektors.

Das Ergebnis dieser Bearbeitungsfolge ist der Eigenvektor einer Ebene, dessen Komponenten die Gewichte der Elemente dieser Ebene sind.¹

Wenn diese Schritte für jede Ebene durchgeführt worden sind, ist das Ergebnis ein einzelner Vektor, der die Gewichte der Elemente der untersten Ebene enthält.²

Falls das Ergebnis z.B. auf ein Zukunftsszenario ausgerichtet werden soll³, wird ein anderer Algorithmus benutzt. Dann muß für jede Ebene nach der zweiten eine Gewichtematrix bestimmt werden, die wiederum mit der Gewichtematrix der nächsthöheren Ebene multipliziert wird. So erreicht man eine Gewichtung der einzelnen Elemente der Eigenvektoren unter Erhaltung der Szenariostruktur.

¹vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 235.

²vgl. ebenda.

³siehe Beispiel auf S. 69 ff.

Als Ergebnis liegen dann mehrere zu einer Matrix zusammengefaßte Eigenvektoren vor, die die Gewichte der Elemente der untersten Ebene hinsichtlich jedes Kriteriums der zweiten Ebene enthalten. Im Rahmen dieser Arbeit ist eine ausführlichere Darstellung der verschiedenen Algorithmen nicht möglich.

1.5. Konsistenz

Zunächst soll der Begriff der Konsistenz im Zusammenhang mit positiven reziproken Matrizen erläutert werden.

1.5.1. Kardinale Konsistenz

Eine Matrix A ist kardinal konsistent, wenn immer gilt :

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik} \quad ^1$$

Das bedeutet, daß durch eine einzige gegebene Zeile der Matrix A alle anderen Einträge bestimmt werden können.

¹Vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 236.

1.5.2. Ordinale Konsistenz (Transitivität)

Eine Matrix A ist ordinal konsistent (transitiv), wenn immer gilt :

$$A_i > A_j, A_j > A_k \Rightarrow A_i > A_k,$$

wobei A_i die Zeilen der Matrix sind. Transitivität ist also gegeben, wenn immer gilt

$$A_i \geq A_j \\ (\text{oder } a_{ik} \geq a_{jk}, \quad k=1, \dots, n) \\ \text{impliziert}$$

$$w_i \geq w_j \quad \text{für alle } i, j=1, \dots, n.^1$$

1.5.3. Konsistenzmaße

Eine positive reziproke Matrix der Größe $n \times n$ ist dann konsistent, wenn ihr größter Eigenwert gleich der Anzahl ihrer Zeilen bzw. Spalten ist.

Gegeben sei $A=(a_{ij}) \quad i, j = 1, \dots, n$ mit $a_{ij} > 0$ und $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$.

A ist dann und nur dann konsistent, wenn

$$\lambda_{\max} = n.^2$$

Für inkonsistente Matrizen gilt immer

$$\lambda_{\max} > n.^3$$

Der größte positive Eigenwert λ_{\max} ist ein Maß für die Konsistenz einer positiven reziproken Matrix.

¹vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 240.

²vgl. ebenda, hier: S. 239.

³vgl. ebenda, hier: S. 237.

Je näher der größte Eigenwert bei n liegt, desto konsistenter ist die Matrix. Es ist offensichtlich, daß ein Zusammenhang zwischen der Größe einer Matrix ,d.h. der Anzahl der Zeilen und Spalten, und der Konsistenz besteht. Bei kleineren Matrizen ist Konsistenz leichter zu erreichen, da der Entscheidungsträger nur wenige paarweise Vergleiche durchzuführen hat.

1.5.3.1. Konsistenzindex

Aus diesem Grund wird als Konsistenzmaß der Konsistenz-Index (C.I.)¹ gewählt, der die Matrixgröße berücksichtigt.

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad 2$$

Der Wert des Konsistenz-Index C.I. wird dann zu dem Wert ins Verhältnis gesetzt , der sich aus einer Matrix mit zufällig gewählten Einträgen ergibt.³

1.5.3.2. Zufallskonsistenz

Dieser Wert, der Zufallskonsistenz-Index (R.I.)⁴, ist für verschiedene Matrixgrößen in der folgenden Tabelle nachzusehen :

¹Consistency Index.

²T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 20.

³Vgl. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 21.

⁴Random Index.

Größe der Matrix	Zufalls- konsistenz- Index
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Quelle: T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 21.

1.5.3.3. Konsistenzverhältnis

Wenn jetzt der Konsistenz-Index der Matrix C.I. zum Zufalls-Konsistenz-Index R.I. ins Verhältnis gesetzt wird, der für diese Matrixgröße gilt, erhält man als endgültiges Maß das Konsistenz-Verhältnis C.R. (consistency ratio).¹

$$C.R. = C.I. / R.I.$$

1vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of priorities, a.a.O., S.25.

1.5.4. Bedeutung der Konsistenz im AHP-Verfahren

Matrizen, deren Einträge paarweise Vergleiche repräsentieren, sind selten kardinal konsistent und transitiv.¹ Das AHP-Verfahren berücksichtigt diesen Umstand dadurch, daß es vom Entscheidungsträger keine vollkommen konsistenten Beurteilungen anfordert. Das AHP-Verfahren erfordert weder kardinale noch ordinale Konsistenz. Allerdings sollten die Beurteilungen nicht zu inkonsistent sein. Saaty vertritt die Auffassung, daß ein Konsistenz-Verhältnis einer Matrix von maximal 0.1 (=10 %) akzeptabel ist.² Damit wird die Tatsache berücksichtigt, daß die Präferenzen eines Individuums nicht grundsätzlich konsistent sind. Eine Verbesserung des Konsistenz-Verhältnisses einer Matrix bedeutet nicht, daß dadurch eine bessere Lösung erlangt wird. Es bedeutet lediglich, daß die Beurteilungen weniger zufällig gemacht wurden.³

¹Vgl. R.R. Yager, a.a.O., hier: S. 385.

²Vgl. T.L. Saaty, Y. Wind, Marketing Applications, a.a.O., hier: S. 646.

³Vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 237.

1.6. Interpretation des Ergebnisses

Der Output des AHP, der gewichtete und normalisierte Eigenvektor der untersten Ebene, enthält die Gewichte dieser Ebene, die aus den subjektiven Vergleichsurteilen des Entscheidungsträgers errechnet wurden. Die Gewichte geben an, in welcher Höhe ein Element zur Erfüllung der Gesamtzielsetzung beiträgt. "This vector measures the relative priority of all entities at the lowest level that enables the accomplishment of the highest objective of the hierarchy"¹. Es ist aus dem Output sowohl eine Rangfolge der zur Disposition stehenden Alternativen als auch ihr Grad der Zielerfüllung abzuleiten. Je nach Problemstellung hat der Entscheidungsträger nach der Vorlage des Outputs verschiedene Handlungsmöglichkeiten.

1. Die Entscheidung wird ausschließlich zugunsten der Alternative mit dem höchsten Zielerfüllungsgrad getroffen.² Alle anderen Alternativen bleiben unberücksichtigt. Dies wird in der Regel bei Kaufentscheidungen der Fall sein.
2. Alle Alternativen werden proportional zur Höhe ihres Zielerfüllungsgrades berücksichtigt.³ Diese Möglichkeit bietet sich an, wenn eine optimale Verteilung von Ressourcen angestrebt wird.

¹T.L. Saaty, Y. Wind, Marketing Applications, a.a.O., hier: S.641.

²Vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 235.

³Vgl. ebenda.

3. Eine bestimmte Anzahl von Alternativen wird ausgewählt, wobei die Selektion nach der Höhe des Zielerfüllungsgrades vorgenommen wird. Alternativen mit zu niedrigen Werten werden vernachlässigt. Diese Möglichkeit wird u.a. bei der Bestimmung eines Investmentportfolio gewählt.¹

1.7. Einsatzmöglichkeiten des AHP-Verfahrens

Das AHP-Verfahren kann auf verschiedenen Gebieten mit unterschiedlichen Zielsetzungen angewendet werden.

Der Einsatzbereich läßt sich in vier Gebiete unterteilen²:

- Setzen von Prioritäten
- Planung
- Allokation von Ressourcen
- Prognose

Nachfolgend werden aus diesen Gebieten verschiedene Anwendungen, die bereits mit dem AHP-Verfahren durchgeführt wurden, aufgezählt.³

¹vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 247 ff.

²vgl. ebenda, S. 5 ff.

³Auf den Aufbau und die Ergebnisse der Untersuchungen wird hier nicht eingegangen. Näheres kann in der angegebenen Literatur nachgesehen werden.

1.7.1. Setzen von Prioritäten

- Entwicklung eines Transportsystems für den Sudan¹
- Auswahl von Technologien für unterentwickelte Länder²
- Erkennen relevanter Faktoren bei der Kauf/Leasing-Entscheidung³
- Planung der Allokation von Ressourcen im Bereich Forschung und Entwicklung eines Forschungsinstitutes⁴
- Auswahl einer Schule⁵
- Wahl eines Arbeitsplatzes⁶
- Auswahl eines Kandidaten für ein politisches Amt⁷

¹vgl. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process: Scenarios, Priorities and Cost/Benefits for the Sudan Transport Plan, in: Operational Research, (1981), S. 161-175.,
und T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 45 ff.

²vgl. V. Ramanujam, T.L. Saaty, a.a.O.
und T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 66 ff.

³vgl. L.G. Vargas, T.L. Saaty, Financial and Intangible Factors in Fleet Lease or Buy Decision, in: Industrial Marketing Management, Vol. 10 (1981), S. 1-10.

⁴vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 83 ff.

⁵vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier: S. 265 f.

⁶vgl. ebenda, hier: S. 269 f.

⁷vgl. T.L. Saaty, J.P. Bennet, A Theory of Analytical Hierarchies Applied to Political Candidacy, in: Behavioral Science, Vol. 22 (1977), S. 237-245,
und T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S.161 f.

1.7.2. Planung

- Untersuchung über mögliche Folgen verschiedener politischer Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Konflikt in Südafrika¹
- Planung der Entwicklung neuer Produkte²
- Planung des Bildungswesens in den USA³
- Bestimmung eines vorteilhaften Marketing-Mix⁴
- Urlaubsplanung⁵

1.7.3. Allokation von Ressourcen

- Bestimmung der in einem Krankenhaus erforderlichen Finanzmittel⁶
- Energierationierung ⁷

¹Vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 118 ff.

²Vgl. T.L. Saaty, Y. Wind, Marketing Applications , a.a.O., hier S. 652ff.

³Vgl. T.L. Saaty, P.C. Rogers, Higher Education in the United States, Scenario Construction Using a Hierarchical Framework with Eigenvector Weighting, in: Socio-Economic Planning Science, Vol. 10 (1976), S. 251-263, und T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, a.a.O., S. 132 ff.

⁴Vgl. T.L. Saaty, Y. Wind, Marketing Applications , a.a.O., hier: S. 655 ff.

⁵Vgl. T.L. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, a.a.O., hier : S. 270 ff., und T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 34 ff.

⁶Vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 165 ff.

⁷Vgl. ebenda, a.a.O., S.182 ff.

- Bestimmung eines Investment Portfolio¹
- Planung der Raumaufteilung beim Bau eines Einfamilienhauses²

1.7.4. Prognose

- Prognose der Entwicklung der Ölpreise³
- Ergebnisvorhersage beim Schachspiel⁴

1.8. Grenzen der Anwendung des AHP-Verfahrens

Der Anwender hat bei der Durchführung des AHP-Verfahrens verschiedene Punkte zu beachten:

1. Bei der Formulierung der Hierarchiestruktur sollten alle relevanten Faktoren beachtet werden. Das Vernachlässigen eines wichtigen Faktors kann zu falschen Ergebnissen führen.

¹Vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 247 ff.

²Vgl. T.L. Saaty, Thinking with Models, Oxford 1981, S. 148-175, hier: S. 170 ff.

³Vgl. ebenda, S. 163 ff.,
und T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 195 ff.

⁴Vgl. T.L. Saaty, L.G. Vargas, Hierarchical Analysis of Behavior in Competition: Prediction in Chess, in: Behavioral Science, Vol. 25 (1980), S. 180-191,
und T.L. Saaty, L.G. Vargas, The Logic of Priorities, a.a.O., S. 207 ff.

2. Bei der Durchführung der paarweisen Vergleiche sollten die Bewertungen sorgfältig durchdacht werden. Wie schon an anderer Stelle erwähnt, ist hierbei zu beachten, daß eine konsistente Bewertung nicht zwingend eine realitätsnahe Lösung impliziert.
3. Der Anwender sollte sich stets der Tatsache bewußt sein, daß das Ergebnis aus subjektiven Bewertungen gewonnen wurde. Die Quantifizierung der qualitativen Faktoren bedeutet nicht, daß diese Faktoren objektiv bewertet wurden.
4. Wie bei vielen Entscheidungsunterstützungssystemen, bei deren Benutzung Faktoren gewichtet werden, besteht auch hier die Gefahr, daß favorisierte Lösungen überbewertet werden, obwohl bei realistischer Betrachtung andere Wertungen gesetzt werden müßten. Hier führt das AHP-Verfahren zwar zum "gewünschten" Ergebnis, doch der Sinn der Anwendung ist in Frage gestellt.

Wenn diese Forderungen beachtet werden, ist der Analytische Hierarchische Prozess ein nützliches Verfahren, um die Entscheidungsfindung bei komplexen Problemen zu unterstützen.

2. Anwendung des Programms AHP

2.1. Kurze Beschreibung des AHP-Verfahrens

Der ANALYTISCHE HIERARCHISCHE PROZESS (AHP) ist ein Verfahren zur Behandlung unstrukturierter Entscheidungsprobleme. Der AHP ermöglicht es, komplexe Entscheidungen vorzubereiten.

INPUT des Programms sind:

1. Die Hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems
2. Ihre subjektiven Beurteilungen über die Stärke bzw. Wichtigkeit der für die Entscheidung relevanten Faktoren, die durch paarweise Vergleichsurteile gewonnen werden.

OUTPUT des Programms ist ein Vektor, der Ihnen anzeigt, welches Element bzw. welche Alternative für Sie am Wichtigsten ist, welches am Zweitwichtigsten u.s.w.

2.2. Starten des Programms

1. Einschalten des Dec Rainbow
2. Einschalten des Monitors
3. Einschalten des Druckers
4. Laden des Betriebssystems:
 - Legen Sie Ihre Systemdiskette in Laufwerk A: ein
 - Wenn auf dem Monitor die Abfragemeldung zur Wahl des Laufwerks erfolgt, wählen Sie Laufwerk A:
5. Legen Sie die Diskette mit dem Programm AHP und den Textfiles AHPHLP.TXT und AHPHL1.TXT in Laufwerk B: ein
6. Geben Sie ein : B: (WAGENRÜCKLAUF)
7. Geben Sie ein : AHP (WAGENRÜCKLAUF)

2.3. Weitere Erläuterungen

2.3.1. Datensicherung

Die Ausgabedaten können gesichert werden, wenn Sie als Ausgabemedium über den Buchstaben (F) das File AHPAUS.TXT auf dem eingeloggten Laufwerk wählen. Beachten Sie bitte, daß der Inhalt des Files AHPAUS.TXT bei jedem erneuten Anwählen gelöscht wird. Es empfiehlt sich daher, nachdem Daten in dieses File geschrieben wurden, das File umzubenennen oder zu kopieren. Das Umbenennen oder Kopieren kann nur im Betriebssystem erfolgen. Das Programm muß also vorher verlassen werden.

Beispiel für eine Umbenennung des Files AHPAUS.TXT in AUTOKAUF.TXT:

```
REN AUTOKAUF.TXT=AHPAUS.TXT < wr >
```

Beispiel für das Kopieren des Files AHPAUS.TXT auf eine andere Diskette (z.B. in Laufwerk B:):

```
PIP B:=AHPAUS.TXT < wr >
```

Beispiel für Kopieren und gleichzeitiges Umbenennen:

```
PIP B:AUTOKAUF=AHPAUS.TXT < WR >
```

Die Eingabedaten werden nicht gesichert. Solange das Programm läuft, können die aktuellen Daten über das Kontrollmenü abgerufen werden.

2.3.2. Fehlerbehandlung

Das Programm ist gegen Bedienungsfehler abgesichert. Falls trotzdem bei der Anwendung Fehler auftreten sollten, die zum Abbruch des Programms führen, notieren Sie sich bitte ihre vorherigen Eingaben und setzen Sie uns davon in Kenntnis.

2.3.3. Programmabbruch

Das Programm wird durch Eingabe von (V) im Hauptmenü beendet. Ein Abbruch des laufenden Programms von einer anderen Stelle aus ist nur durch Abschalten des Gerätes möglich. Bitte entfernen Sie vorher die Disketten aus den Laufwerken.

3. Programmdokumentation

3.1. Programmkenndaten

- 1. Programmname: AHP.CMD
- 2. Versionsbezeichnung: 27 08 84
- 3. Gerätebedarf:
 - Dec Rainbow
 - angeschlossener Drucker
- 4. Programmgröße:
 - AHP.CMD : 72 KB
 - AHP.TXT : 80 KB
- 5. Maximaler Speicherbedarf: 24 Kb
- 6. Programmbedarf:
 - Betriebssystem
 - Hersteller: Digital
Research
 - Name : CPM-86/80
 - Version : V 2.0 BIN
RX 50
- 7. Programmiersprache: Pascal
- 8. Compiler: MT+86

9. Dateien:

- Textdateien, die vom Programm
angerufen werden:

- AHPHLP.TXT

Speicherbedarf: 12 KB

- AHPHL1.TXT

Speicherbedarf: 8 KB

Diese Dateien müssen sich auf
dem gewählten Laufwerk
befinden.

- Ausgabedatei:

- AHPAUS.TXT

3.2. Programmbeschreibung

Das Programm AHP ist selbsterklärend.

Der Programmaufbau wird durch die folgenden Abbildungen
beschrieben.

Abb. 1 : Notwendiger Programm-
ablauf

```
*****
*
*
*   HAUPTMENUE :
*   -----
*
*   (S)  STARTEN DES PROGRAMMS
*
*   (H)  INFORMATIONEN ZUM ABLAUF
*        DER COMPUTERGESTUETZTEN
*        ENTSCHEIDUNGSANALYSE
*
*   (V)  VERLASSEN DES PROGRAMMS
*
*
*****
```

```
*****
*
*
*   EINGABE-MENUE :
*   -----
*
*   (E)  ERSTELLEN EINES NEUEN
*        DATENSATZES
*
*   (A)  AENDERN DER BEWERTUNGEN
*
*   (K)  KONTROLLE DER DATEN
*
*   (B)  BEENDEN DER DATENEINGABE
*        UND BERECHNUNG
*
*
*****
```

```
*****
*
*
*   AUSGABE-MENUE :
*   -----
*
*   (F)  WAEHLEN DER AUSGABEFORM
*
*   (A)  WAEHLEN DES AUSGABEMEDIUMS
*
*   (M)  HAUPTMENUE
*
*
*****
```

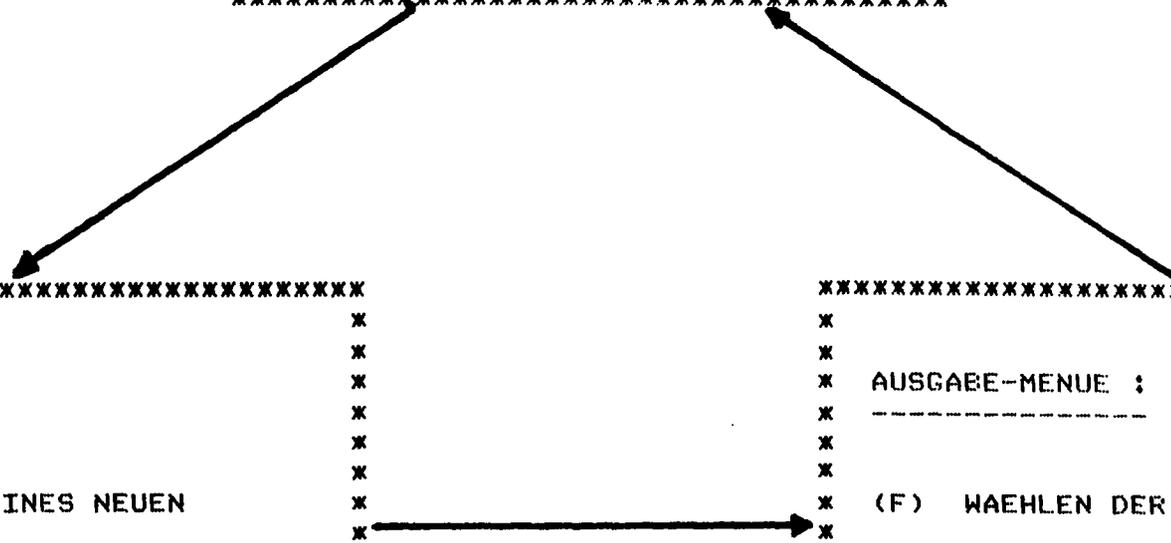


Abb. 2 : Programmablauf zwischen
Hauptmenü und Eingabe-
menü

```

*****
*
*
*  HAUPTMENUE :
*  -----
*
*  (S)  STARTEN DES PROGRAMMS
*
*  (H)  INFORMATIONEN ZUM ABLAUF
*        DER COMPUTERGESTUETZTEN
*        ENTSCHEIDUNGSANALYSE
*
*  (V)  VERLASSEN DES PROGRAMMS
*
*
*****

```

```

*****
*
*
*  EINGABE-MENUE :
*  -----
*
*  (E)  ERSTELLEN EINES NEUEN
*        DATENSATZES
*
*  (A)  AENDERN DER BEWERTUNGEN
*
*  (K)  KONTROLLE DER DATEN
*
*  (B)  BEENDEN DER DATENEINGABE
*        UND BERECHNUNG
*
*
*****

```

```

*****
*
*
*  (S)  STARTEN
*
*  (M)  ZURUECK INS HAUPTMENUE
*
*  (H)  WIEDERHOLEN DER INFORMATION
*
*
*****

```

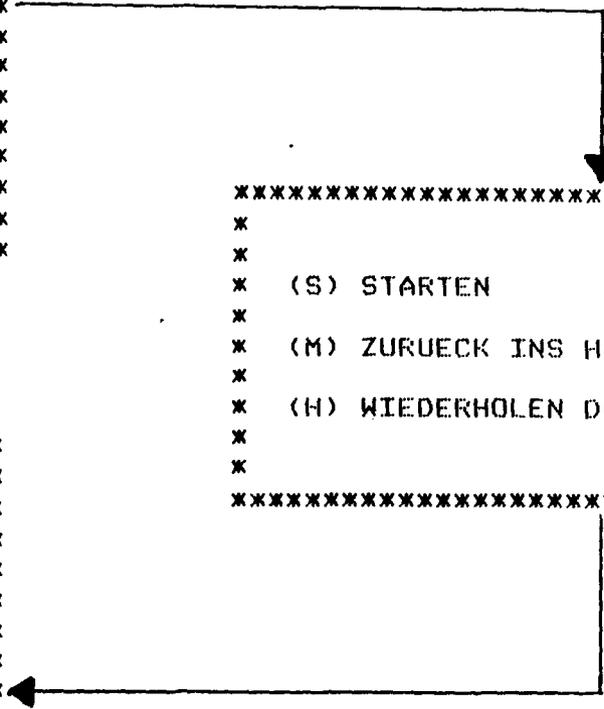
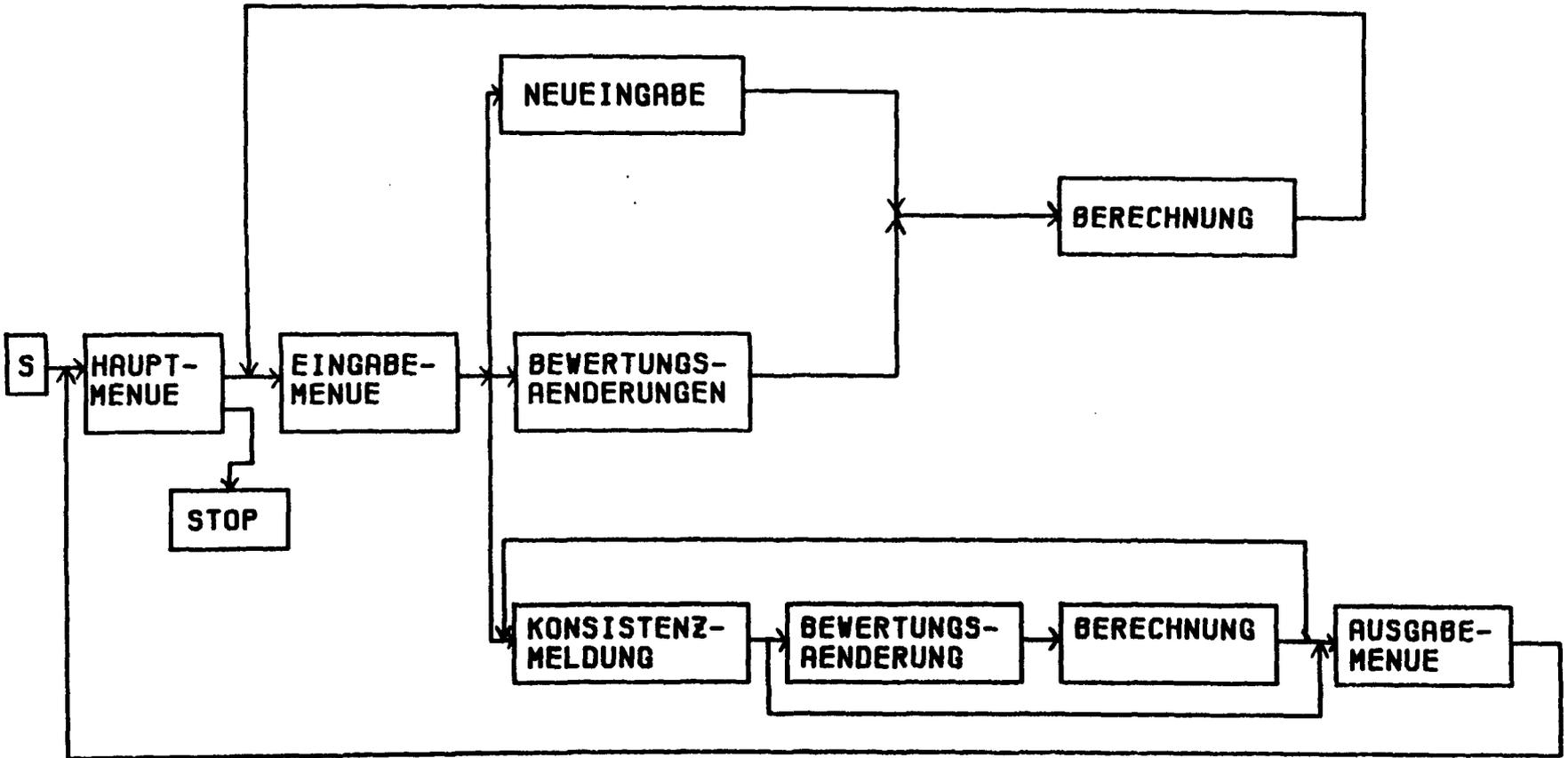


Abb. 3 : Flussdiagramm des
Programmaufbaus



Literaturverzeichnis

a) Benutzte Literatur

- Alexander, J.M.,
Saaty, T.L., The Forward and Backward Process of
 Conflict Analysis, in: Behavioral
 Science, Vol. 22 (1977), S. 87-89.
- Alexander, J.M.,
Saaty, T.L., Stability Analysis of the Forward-
 Backward Process, in: Behavioral
 Science, Vol. 22 (1977), S. 375-382.
- Ramanujam, V.,
Saaty, T.L., Technological Choice in Less Developed
 Countries: An Analytic Hierarchy
 Approach, in: Technological Forecasting
 and Social Change, Vol. 19 (1981),
 S. 81-98.
- Saaty, T.L.,
Rogers, P.C., Higher Education in the United States,
 Scenario Construction Using a
 Hierarchical Framework with Eigenvector
 Weighting, in: Socio-Economic Planning
 Science, Vol. 10 (1976), S. 251-263.
- Saaty, T.L., A Scaling Method for Priorities in
 Hierarchical Structures, in: Journal of
 Mathematical Psychology, Vol. 15 (1977),
 S. 234-281.
- Saaty, T.L.,
Bennet, J.P., A Theory of Analytical Hierarchies
 Applied to Political Candidacy, in:
 Behavioral Science, Vol. 22 (1977),
 S. 237-245.
- Saaty, T.L.,
Ma, F.,
Blair, P., Operational Gaming for Energy Policy
 Analysis, in : Energy Policy, March
 (1977), S. 63-75.

- Saaty, T.L.,
Bennet, J.P., Terrorism: Patterns for Negotiation;
A Case Study Using Hierarchies and
Holarchies, in: R.H. Kupperman (Hrsg.),
M.T. Darrel, Terrorism, Stanford 1979,
S. 244-284.
- Saaty, T.L., The Analytic Hierarchy Process: Planning,
Priority Setting, Resource Allocation,
New York 1980.
- Saaty, T.L.,
Vargas, L.G., Hierarchical Analysis of Behavior in
Competition: Prediction in Chess, in:
Behavioral Science, Vol. 25 (1980),
S. 180-191.
- Saaty, T.L.,
Wind, Y., Marketing Applications of the Analytic
Hierarchy Process, in: Management
Science, Vol. 26 (1980), S. 641-658.
- Saaty, T.L., The Analytic Hierarchy Process:
Scenarios, Priorities and Cost/Benefits
for the Sudan Transport Plan, in:
Operational Research, (1981), S. 161-175.
- Saaty, T.L., Thinking with Models, Oxford 1981,
S. 148-175.
- Saaty, T.L.,
Emshoff, J.R., Applications of the Analytic Hierarchy
Process to Long Range Planning, in:
European Journal of Operational Research,
Vol. 10 (1982), S. 131-143.
- Saaty, T.L.,
Vargas, L.G., The Logic of Priorities, Applications
in Business, Energy, Health and
Transportation, Boston, La Hague,
London 1982.

- Saaty, T.L.,
Vargas, L.G.,
Barzilai, A., High-Level Decisions: A Lesson from the
Iran Hostage Rescue Operation, in:
Decision Sciences, Vol. 13 (1982),
S. 185-206.
- Vargas, L.G.,
Saaty, T.L., Financial and Intangible Factors in
Fleet Lease or Buy Decision, in:
Industrial Marketing Management,
Vol. 10 (1981), S. 1-10.
- Yager, R.R., An Eigenvalue Method of Obtaining
Subjective Probabilities, in:
Behavioral Science, Vol. 24 (1979),
S. 382-387.

b) Nicht zugängliche Literatur

- Blair, P.D., Hierarchical Systems and Multiobjective
Energy Planning Applications to the
Energy Park Concept, Diss., University
of Pennsylvania, Philadelphia 1978.
- Odynocki, B., Planning the National Health Insurance
Policy: An Application of the AHP in
Health Policy Evaluation and Planning,
Diss., University of Pennsylvania,
Philadelphia 1979.
- Saaty, T.L., Hierarchies and Priorities - Eigenvalue
Analysis, University of Pennsylvania,
Philadelphia 1975.
- Saaty, T.L., Modeling Unstructured Decision Problems:
Theory of Analytical Hierarchies, in:
Mathematics and Computers in Simulation,
Vol. 20, Nr. 3 (1978), S. 147-157.

- Saaty, T.L., Mathematical Modeling of Dynamic Decisions: Priorities and Hierarchies with Time Dependence, in: Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 21 (1979), S. 352-358.
- Saaty, T.L., Interactions and Impacts in Hierarchical Systems, in: C.P. Tsokos, R.M. Thrall (Hrsg.), Decision Information, New York 1979.
- Saaty, T.L., Beltran, M., Architectural Design by the Analytic Hierarchy Process, in: J. Design Methods Group, June (1980).
- Saaty, T.L., Pell, R., Rogers, P., Portfolio Selection through Hierarchies, in: Journal of Portfolio Management, No. 3 (1980), S. 16-21.
- Saaty, T.L., Decision Making for Leaders, Belmont 1981.
- Vargas, L.G., Measurement and Optimal Resource Allocation in Social Systems, Diss., University of Pennsylvania, Philadelphia 1979.
- Wind, Y., Gross, D., An Analytical Hierarchical Approach to a Target Product / Marketing / Decision Portfolio, Paper prepared for the ORSA/TIMS Workshop, Stanford University, March 26-28, 1979.