

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement

Universität Duisburg-Essen / Standort Essen
Fachbereich 5: Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9, 45141 Essen
Tel.: ++ 49 (0) 201 / 183 - 4007
Fax: ++ 49 (0) 201 / 183 - 4017

Arbeitsbericht Nr. 19

Fallstudie zur Lösung eines Standortplanungsproblems mit Hilfe des Analytical Hierarchy Process (AHP)

Dipl.-Kfm. Malte L. Peters
Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski



E-Mail: { malte.peters | stephan.zelewski }@pim.uni-essen.de

Internet: <http://www.pim.uni-essen.de/mitarbeiter>

Essen 2003

Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsüberblick

Abkürzungs- und Akronymverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
1 Fallbeschreibung	1
2 Problemstellungen.....	6
3 Problemlösungen.....	7
Literatur	29

Abkürzungs- und Akronymverzeichnis

AHP	Analytical Hierarchy Process
Aufl.	Auflage
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Dipl.-Kfm.	Diplom-Kaufmann
Dr.	Doktor
ff.	fort folgende
km	Kilometer
K.o.	Knock-out
LKW	Lastkraftwagen
mbH	mit beschränkter Haftung
No.	Number
Nr.	Nummer
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PKW	Personenkraftwagen
qm	Quadratmeter
S.	Seite
Tab.	Tabelle
Tel.	Telefon
Univ.-Prof.	Universitätsprofessor
Vgl.	Vergleiche
Vol.	Volume
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nutzen-Hierarchie	7
Abbildung 2: Kosten-Hierarchie	8
Abbildung 3: Nutzenfunktionen zur Überführung der Flächen in Nutzwerte	15

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Angaben zu potenziellen Objekten	4
Tab. 2: Entfernungen vom Standort in Essen zum jeweiligen potenziellen Standort	5
Tab. 3: Zunahme der Transportkosten nach einem Umzug im Vergleich zum Standort Essen	5
Tab. 4: Random Index	9
Tab. 5: Evaluationsmatrix für die Standortfaktoren auf der 1. Ebene der Nutzen-Hierarchie	10
Tab. 6: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „quantitative Objekteigenschaften“	11
Tab. 7: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „qualitative Objekteigenschaften“	11
Tab. 8: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „Nähe zu Geschäftspartnern“	12
Tab. 9: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „Verkehrsanbindung“	12
Tab. 10: Evaluationsmatrix für die Standortfaktoren auf der 1. Ebene der Kosten-Hierarchie	12
Tab. 11: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „dauerhafte Kosten“	13
Tab. 12: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „einmalige Kosten“	13
Tab. 13: Berechnung der aggregierten Bedeutungsurteile für die Standortfaktoren der Nutzen-Hierarchie	14
Tab. 14: Berechnung der aggregierten Bedeutungsurteile für die Standortfaktoren der Kosten-Hierarchie	14
Tab. 15: Bestimmung der Nutzenindizes der Standortalternativen für Büro-, Lager- und Kommissionierflächen	16
Tab. 16: Festlegung der Intensitäten zur Evaluation der Anzahl der PKW-Stellplätze	17
Tab. 17: Zuordnung der Intensitäten zu den Standortalternativen	17
Tab. 18: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Erweiterbarkeit	18
Tab. 19: Zuordnung der Intensitäten zu den Standortalternativen	18
Tab. 20: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Be- und Entlademöglichkeiten für große LKW	19
Tab. 21: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Nähe zu den Abnehmern	19
Tab. 22: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Nähe zu den Zulieferern	20

Tab. 23: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Anbindung an Autobahnen	20
Tab. 24: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Erreichbarkeit mit dem ÖPNV	21
Tab. 25: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Nähe zu einem Flughafen	21
Tab. 26: Festlegung der Intensitäten zur Evaluation der Miete pro Monat und pro qm	22
Tab. 27: Berechnung der Miete pro Monat und pro qm sowie Zuordnung der Intensitäten zu den Standortalternativen	22
Tab. 28: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für den Transport	23
Tab. 29: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für die Gebäudeversicherung	23
Tab. 30: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für den Umzug	24
Tab. 31: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für die Renovierung	24
Tab. 32: Berechnung der gewichteten Nutzen- und Kostenindizes, der Gesamtnutzen- und Gesamtkostenindizes und der Nutzen-Kosten-Verhältnisse	25
Tab. 33: Gegenüberstellung der approximativen und der exakten Nutzenindizes	28

1 Fallbeschreibung

Im Jahr 1991 wurde von zwei Studierenden der Betriebswirtschaftslehre das Unternehmen PETTY-TOYS SPIELZEUG-HANDELS GESELLSCHAFT MBH in Essen gegründet. Die Geschäftsidee der beiden Unternehmensgründer bestand seinerzeit darin, originelle Spielzeuge zu einem niedrigen Preis anzubieten.

In den ersten 6 Jahren lag der empfohlene Verkaufspreis von ca. 90 % der Produkte unter 50 € und von ca. 60 % unter 10 €, jeweils inklusive Umsatzsteuer. Diese Idee, Spielzeuge zu einem niedrigen Preis anzubieten, hat sich als erfolgreich erwiesen, da es dadurch möglich ist, einen großen Teil der Produkte als so genannte „Mitnahmeartikel“ zu positionieren. Es hat sich sogar gezeigt, dass die wirtschaftliche Lage auf den Absatzmärkten und der Unternehmenserfolg schwach negativ korrelieren. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass die Konsumenten bei wirtschaftlich angespannter Lage tendenziell nicht auf den Kauf von Spielzeugen verzichten, sondern zu Produkten mit niedrigen Verkaufspreisen greifen. Allerdings hat das Unternehmen in den letzten Jahren vermehrt damit zu kämpfen gehabt, dass Konkurrenten die Niedrigpreisprodukte, die durchweg eine geringe Produktkomplexität aufweisen, imitiert und zu noch niedrigeren Verkaufspreisen angeboten haben. Die Geschäftsführung hat es daher als notwendig angesehen, das Produktangebot um höherpreisige Produkte, die eine höhere Produktkomplexität aufweisen und somit schwieriger zu imitieren sind, zu erweitern. Da der Geschäftsführung das Potenzial, derartige Produkte selbst zu entwickeln, innerhalb des Unternehmens als zu gering erschien, wurden Kooperationen mit Spielzeugproduzenten eingegangen, für die der Vertrieb übernommen wurde. Diese Produkte, die empfohlene Verkaufspreise inklusive Umsatzsteuer von bis zu 350 € aufweisen, werden auch unter der – inzwischen etablierten – Marke PETTYTOYS vertrieben.

Das Unternehmen verfügt über die Rechte, diese höherpreisigen Produkte, die von drei spanischen Spielzeugherstellern geliefert werden, in Deutschland exklusiv zu vertreiben. In Spanien darf die PETTYTOYS SPIELZEUG-HANDELSGESELLSCHAFT MBH diese Produkte nicht anbieten, und in anderen Ländern werden diese Produkte zum Teil auch von anderen Unternehmen vertrieben. Diese Konstellation hat zu zahlreichen – von der Geschäftsführung nicht antizipierten – Problemen geführt, wie beispielsweise, dass für den Vertrieb in Spanien ein Katalog benötigt wird, in dem die Produkte der drei spanischen Hersteller nicht erscheinen, und dass bei der Gestaltung der Preise für den Export insofern Vorsicht geboten ist, als dass ein anderes Unternehmen die gleichen Produkte unter einer anderen Marke zu einem niedrigeren Preis anbieten könnte. Darüber hinaus ist es zu zahlreichen Problemen im Vertrieb und beim Kundenservice gekommen, da die Mitarbeiter der PETTYTOYS

SPIELZEUG-HANDELSGESELLSCHAFT MBH bei der Übernahme des Vertriebs für die drei spanischen Produzenten sowohl mit der – im Vergleich zu den „alten“ PETTYTOYS-Produkten – höheren Produktkomplexität als auch mit der wesentlich höheren Anzahl der vertriebenen Produkte zu kämpfen hatten. Letzteres Problem intensivierte sich zudem, da nicht nur die Anzahl der Produkte von ca. 700 auf 1.100 stieg, sondern zum ersten Mal in der Unternehmensgeschichte den Kunden neben diesen Endprodukten auch ca. 450 Halbfertigprodukte als Ersatzteile für die höherpreisigen Produkte angeboten wurden. Diese Probleme führten dazu, dass die PETTYTOYS SPIELZEUG-HANDELSGESELLSCHAFT MBH acht zusätzliche Mitarbeiter einstellen musste.

Im Jahr 1994 hatte das Unternehmen seinen Sitz nahe der Essener Innenstadt bezogen. Die Bürofläche mit einer Größe von 140 Quadratmetern (qm) und das Lager mit einer Größe von 390 Quadratmetern waren seinerzeit bewusst großzügig gewählt worden, da von beiden Unternehmensgründern eine Expansion intendiert war. Die erhöhte Anzahl an Produkten und Mitarbeitern hat jedoch dazu geführt, dass der Sitz des Unternehmens sowohl im Hinblick auf die Lager- als auch auf die Bürofläche nicht mehr ausreicht. Da es am jetzigen Standort nicht möglich ist, zusätzliche Flächen anzumieten oder zu erwerben, und sich ferner das Be- und Entladen großer Lastkraftwagen, insbesondere der 40-Tonnen-Lastkraftwagen aus Spanien, aufgrund des Fehlens einer Laderampe als Problem erwiesen hat, entschloss sich die Geschäftsführung dazu, einen neuen Standort für das Unternehmen zu suchen.

Nach Auffassung der Geschäftsführung sollte der neue Standort über ca. 400 Quadratmeter (qm) Bürofläche und über ca. 1.000 qm Lagerfläche sowie über weitere ca. 150 qm zur Kommissionierung von Aufträgen verfügen. Bisher wurde als Hilfslösung ein kleiner Teil der Lagerfläche zur Kommissionierung der Aufträge genutzt. Diese Hilfslösung führte allerdings zu einer unübersichtlichen Struktur, so dass insbesondere neue Mitarbeiter die Prozesse innerhalb des Unternehmens nur schwer nachvollziehen können. Ferner sollte die Option bestehen, am neuen Standort eine zusätzliche Lagerhalle zu errichten, um für eine prospektive Expansion gewappnet zu sein. Da die oben skizzierten Probleme, die durch die Übernahme des Vertriebs für die drei spanischen Spielzeugproduzenten verursacht wurden, zu erheblichen Kosten führten, legt die Geschäftsführung auf eine niedrige Miete hohen Wert.

Als weiteres Problem ergab sich, dass die Margen bei den Produkten der drei spanischen Spielzeugproduzenten im Vergleich zu den Margen, die durch den Verkauf eigener Produkte erzielt werden, wesentlich geringer sind. Als Folge war das Unternehmen bereits gezwungen, hohe Kredite aufzunehmen, so dass es sich für das Unternehmen diffizil gestalten dürfte, darüber hinaus weitere

Kredite in hohem Umfang zu erhalten. Die entstandene finanzielle Schieflage des Unternehmens wurde dadurch verstärkt, dass die Geschäftsführung während der letzten Jahre die Entwicklung eigener Produkte vernachlässigt hatte.

Während das Unternehmen einige wenige seiner Produkte in Taiwan und Tschechien produzieren lässt, wird der Großteil der Produktion bei Zulieferern nahe des Sitzes des Unternehmens in Velbert, Wuppertal, Bochum und Dortmund in Auftrag gegeben. Lediglich einer der in Deutschland ansässigen Zulieferer ist in Stuttgart und somit nicht in Nordrhein-Westfalen angesiedelt. Fast alle Zulieferer werden jährlich mehrfach besucht. Lediglich nach Taiwan und nach Tschechien fliegt man nur einmal im Jahr.

In der näheren Vergangenheit war dem Unternehmen ein Objekt in Köln angeboten worden, welches den Anforderungen im Hinblick auf Größe, Erweiterbarkeit, Autobahnanbindung und Höhe der Miete entsprach. Zwar stand einem Umzug nach Köln entgegen, dass das Unternehmen sich von einer Vielzahl seiner Zulieferer geographisch entfernt hätte, jedoch wird den Transportkosten und der Nähe zu den Zulieferern nur eine untergeordnete Rolle zugewiesen. Hingegen ist für die Geschäftsführung etwas bedeutender, dass sich das Unternehmen nicht zu weit von seinen beiden wichtigsten Abnehmern entfernt, die ihre zweiwöchentlich zu beliefernden Zentrallager in Düsseldorf haben und mit denen es zusammen 40 % des gesamten Umsatzes erzielt. Die Nähe zu den übrigen Abnehmern ist für die Standortentscheidung nicht relevant, da die Ware an diese Abnehmer mit Paketdiensten versendet wird, die für jeden Standort die gleichen Versandkonditionen anbieten.

Als die Mitarbeiter vom Plan der Geschäftsführung erfuhren, eventuell mit dem Unternehmen nach Köln umzuziehen, wurde evident, dass insbesondere die Mitarbeiter ohne eigenen PKW nicht bereit gewesen wären, nach einem Umzug nach Köln weiter für das Unternehmen zu arbeiten. Da die Geschäftsführung einen Verlust langjähriger Mitarbeiter auf jeden Fall vermeiden möchte, ist ein Umzug nach Köln ausgeschlossen. Der Geschäftsführung wurde anhand dieses Vorfalls klar, dass auf jeden Fall ein Standort gewählt werden muss, der vom jetzigen Standort aus schnell durch den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zu erreichen ist.

Ein Mitarbeiter hat sich die Mühe gemacht, einige Vorarbeiten für die Standortentscheidung durchzuführen. Als Ergebnis hat er Angaben zu einigen Objekten zusammengestellt (vgl. Tab. 1). Die hohen Monatsmieten in Düsseldorf, Mönchengladbach und Mühlheim an der Ruhr fallen sofort ins Auge. Zumindest in Mühlheim scheint die hohe Monatsmiete aufgrund des guten baulichen Zustandes des Objekts gerechtfertigt zu sein. Darüber hinaus erfahren Sie, dass die Objekte in Arnsberg,

Bochum, Hagen und Leverkusen bereits mit mehreren Laderampen für Lastkraftwagen ausgerüstet sind. Die Objekte in Duisburg, Mülheim und Velbert verfügen über lediglich eine Laderampe, während die Laderampe in Velbert aufgrund der angrenzenden Bebauung im Hinblick auf große 40-Tonnen-Lastkraftwagen nur durch erfahrene Fahrer angefahren werden kann. In Düsseldorf müsste gar auf eine Laderampe verzichtet werden. Zwar könnte dort eine Laderampe gebaut werden, jedoch dürfte dies sehr teuer werden, da es sich um ein historisches Gebäude handelt. Ein Vorteil, welcher diesem Problem entgegengehalten werden könnte, ist die Lage des Objekts in der Nähe der Düsseldorfer Innenstadt. Bei dem Objekt in Velbert handelt es sich – wie bei dem Objekt in Düsseldorf – um ein historisches Gebäude aus der Gründerzeit. Dieser Umstand gewährleistet zwar, dass die beiden Objekte im Vergleich zu den Objekten in Duisburg, Hagen und Mülheim, die alle in den 70er Jahren errichtet wurden, sehr repräsentativ erscheinen, ist jedoch auch mit einer höheren Gebäudeversicherung verbunden. Die Objekte in Bochum und Leverkusen scheinen in dieser Hinsicht einen willkommenen Kompromiss darzustellen, da es sich um repräsentative Neubauten handelt, die bei Bezug nicht einmal renoviert werden müssten. Insbesondere die Objekte in Duisburg und Velbert bedürfen einer Renovierung, die sich in Velbert besonders aufwendig gestalten dürfte, da das Gebäude in der Vergangenheit nur wenig gepflegt wurde.

	Bürofläche [qm]	Lagerfläche [qm]	Kommissionier- fläche [qm]	unbebaute Grund- stücksfläche [qm]	Miete [€/Monat]	PKW- Stellplätze
Arnsberg	420	1050	180	330	6270	10
Bochum	395	980	147	913	7914	21
Düsseldorf	390	800	50	248	7564	5
Duisburg	280	720	100	220	4290	12
Hagen	390	1020	140	930	6045	23
Leverkusen	380	900	-	640	5376	18
Mönchengladbach	480	1220	240	1164	9894	0
Mülheim an der Ruhr	342	950	110	491	7150	5
Velbert	317	890	72	38	5244	6

Tab. 1: Angaben zu potenziellen Objekten

In Mönchengladbach darf ein großer Teil der unbebauten Fläche des Grundstücks aufgrund des angrenzenden Naturschutzgebietes nicht bebaut werden. Ähnliche Probleme ergeben sich in Mülheim. Dort lassen die Bebauungsvorschriften eine Bauhöhe, die für eine Lagerhalle notwendig wäre, nicht zu, so dass bestenfalls eine Erweiterung der Bürofläche erfolgen könnte. In der Nähe des Mülheimer Objekts befinden sich zahlreiche Grünflächen.

PKW-Stellplätze werden zumindest für die Fahrzeuge der beiden Geschäftsführer sowie für die beiden Kleintransporter, die zu Fahrten zu den Lieferanten und Abnehmern benutzt werden, und für

den Kleinwagen benötigt, der für kleinere Kurierfahrten eingesetzt wird. Darüber hinaus wären mindestens zwei Kundenparkplätze zwar nicht zwingend erforderlich, aber willkommen. Von mehreren Ihrer Arbeitskollegen haben Sie erfahren, dass diese sich einen eigenen PKW-Stellplatz wünschen.

Da die Geschäftsführung bei der Standortplanung die Kosten für den Umzug und die Transportkosten für die Fahrten zu den Zulieferern und Abnehmern in Nordrhein-Westfalen berücksichtigen möchte, beauftragte sie einen der Mitarbeiter damit, die Entfernungen vom Standort in Essen zu den potenziellen Standorten zu bestimmen und Kostenschätzungen vorzunehmen. Als Ergebnisse präsentierte der Mitarbeiter die Angaben in Tab. 2 und Tab. 3 mit dem Hinweis, er habe die Schätzungen über die Zunahme der Transportkosten unter der Prämisse vorgenommen, dass pro Monat jeweils zwei Fahrten nach Velbert, Wuppertal und Bochum, drei Fahrten nach Dortmund sowie vier Fahrten nach Düsseldorf erforderlich sind.

Potenzielle Standorte	Entfernung [km] vom Standort in Essen zum jeweiligen potenziellen Standort
Arnsberg	88,2
Bochum	20,1
Düsseldorf	37,6
Duisburg	29,5
Hagen	56,6
Leverkusen	61,7
Mönchengladbach	70,1
Mülheim an der Ruhr	17,1
Velbert	19,7

Tab. 2: Entfernungen vom Standort in Essen zum jeweiligen potenziellen Standort

Potenzielle Standorte	Zunahme der Transportkosten im Vergleich zum Standort Essen
Arnsberg	196 %
Bochum	2 %
Düsseldorf	18 %
Duisburg	36 %
Hagen	38 %
Leverkusen	79 %
Mönchengladbach	127 %
Mühlheim an der Ruhr	21 %
Velbert	4 %

Tab. 3: Zunahme der Transportkosten nach einem Umzug im Vergleich zum Standort Essen

2 Problemstellungen

Da es innerhalb der Geschäftsführung, durch die zahlreichen Probleme des Unternehmens begünstigt, in der Vergangenheit zu vielen Animositäten gekommen ist und sich in der Standortfrage schnell unterschiedliche Präferenzen innerhalb der Geschäftsführung herausgebildet haben, hat sich diese dazu entschlossen, Sie – als Assistenten der Geschäftsführung – eine Entscheidungsvorlage ausarbeiten zu lassen. Die betriebswirtschaftlich geprägten Geschäftsführer geben Ihnen lediglich vor, wie Sie bei der Ausarbeitung der Entscheidungsvorlage vorgehen sollen:

1. Zunächst sollen Sie die Standortfaktoren gliedern, die aus Ihrer Sicht von Relevanz für die Standortentscheidung sind. Da die Geschäftsführer sich wünschen, Nutzen und Kosten einer Standortalternative separat betrachten zu können, sollen Sie sowohl eine Nutzen- als auch eine Kosten-Hierarchie erstellen.
2. Um den Arbeitsaufwand bei der Standortentscheidung zu reduzieren, sollen Sie aus der großen Anzahl an Standortalternativen anhand mindestens eines K.o.-Kriteriums eine geringere Anzahl an zulässigen Standortalternativen auswählen.
3. Bewerten Sie bitte dann auf Basis der Vorarbeiten der Aufgaben 1 und 2 die verbleibenden Standortalternativen, und wählen Sie anhand Ihrer Bewertung eine Standortalternative aus. Setzen Sie hierzu bitte den Analytical Hierarchy Process (AHP) ein. Setzen Sie bitte zur Berechnung der Eigenvektoren und der maximalen Eigenwerte die Approximationsverfahren der AHP-Technik ein.
4. Erläutern Sie bitte exemplarisch anhand einer Evaluationsmatrix, worin Probleme bei der Berechnung der Eigenvektoren und Eigenwerte mittels der in Aufgabe 3 verwendeten Approximationsverfahren bestehen können.

3 Problemlösungen

Problemlösung zu Aufgabe 1

Die Standortfaktoren sind in einer Nutzen-Hierarchie (vgl. Abbildung 1) und einer Kosten-Hierarchie (vgl. Abbildung 2) gegliedert¹.

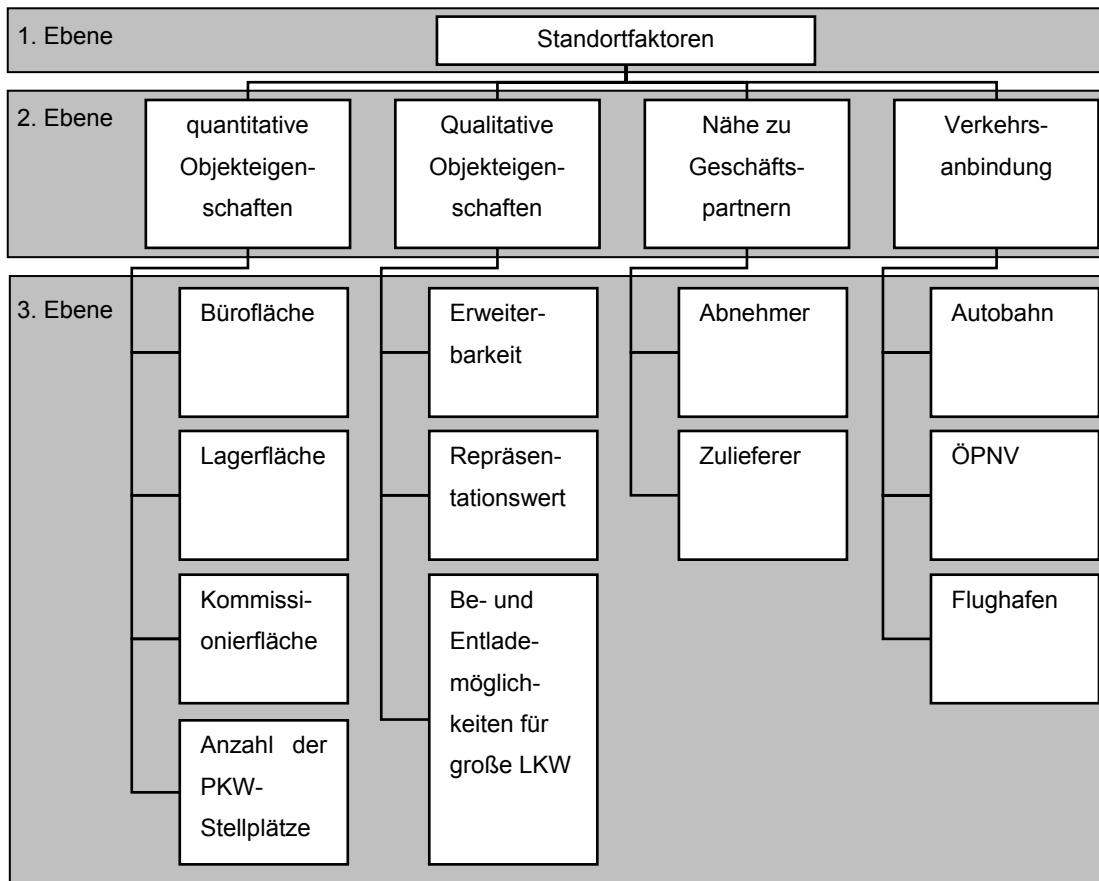


Abbildung 1: Nutzen-Hierarchie

¹ Vgl. z.B. Saaty (2001), S. 223-231; Saaty (1994), S. 22-25.

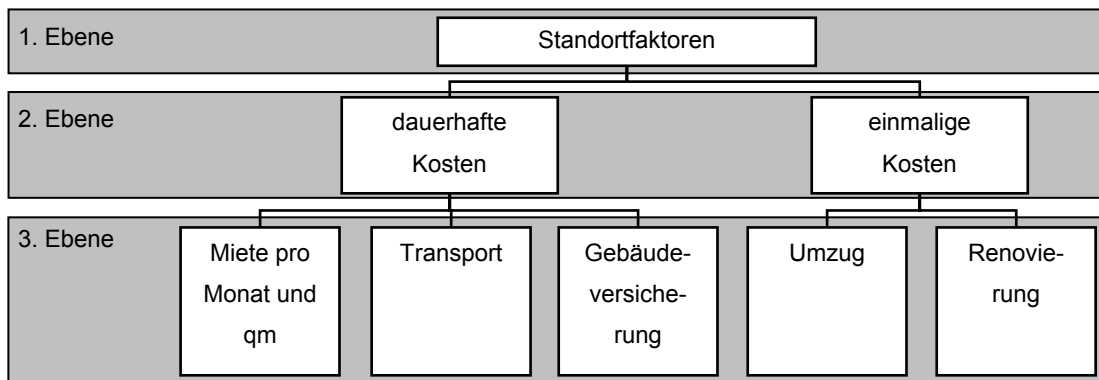


Abbildung 2: Kosten-Hierarchie

Problemlösung zu Aufgabe 2

Da die Geschäftsführung die schnelle Erreichbarkeit des neuen Standorts durch den ÖPNV „auf jeden Fall“ gewährleistet sehen möchte, wird als *K.o.-Kriterium* eine Fahrtzeit zwischen Essen und der jeweiligen Standortalternative von maximal 30 Minuten definiert. Die Standortalternativen Bochum, Duisburg, Düsseldorf, Mühlheim und Velbert erfüllen dieses Kriterium, während die Fahrtzeiten des ÖPNV nach Arnsberg, Hagen, Leverkusen und Mönchengladbach 30 Minuten übersteigen.

Problemlösung zu Aufgabe 3

Bei der AHP-Technik erfolgt eine Beurteilung der Standortfaktoren, indem diese im Hinblick auf ihre Bedeutung für das jeweils übergeordnete Element in der jeweiligen Hierarchie unter Rückgriff auf eine Skala von 1 für „gleiche Bedeutung“ bis 9 für „sehr viel höhere Bedeutung“ eines Standortfaktors paarweise miteinander verglichen werden. Diese Paarvergleichsurteile sind in den Evaluationsmatrizen aus Tab. 5 bis Tab. 9 für die Nutzen-Hierarchie und aus Tab. 10 bis Tab. 12 für die Kosten-Hierarchie angeführt. In Tab. 5 sind exemplarisch die Zwischenergebnisse zur approximativen Bestimmung der Bedeutungsurteile angeführt. So wird die Evaluationsmatrix zunächst normiert, indem jedes Paarvergleichsurteil durch die jeweilige Spaltensumme der Paarvergleichsurteile dividiert wird. Die Bedeutungsurteile ergeben sich dann durch Division der jeweiligen Zeilensumme der normierten Evaluationsmatrix durch die Anzahl der Standortfaktoren in der Evaluationsmatrix. Für die Evaluationsmatrix in Tab. 5 wird nachfolgend exemplarisch die approximative Bestimmung des Konsistenzwerts (*C.R.* = *Consistency Ratio*) erläutert. Dieser Konsistenzwert dient zur Entscheidungsunterstützung, ob die Paarvergleichsurteile in einer Evaluationsmatrix überarbeitet

werden sollten. Die Überarbeitung wird empfohlen, wenn der Konsistenzwert bei einer Dimension von $n = 3$ der Evaluationsmatrix über 0,05, bei $n = 4$ über 0,09 und bei $n > 4$ über 0,1 liegt. Zunächst muss ein Konsistenzindex ($C.I. = Consistency Index$) mit dem maximalen Eigenwert λ_{\max} der Evaluationsmatrix bestimmt werden:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Der maximale Eigenwert kann approximativ ermittelt werden, indem die Produkte aus den Spaltensummen der Evaluationsmatrix mit dem jeweiligen Bedeutungsurteil gebildet und diese Produkte dann summiert werden²:

$$\lambda_{\max} = 2,200 * 0,449 + 4,333 * 0,235 + 12,000 * 0,082 + 4,333 * 0,235 \approx 4,008$$

Durch Einsetzen erhält man dann den Konsistenzindex:

$$C.I. = \frac{4,008 - 4}{4 - 1} \approx 0,003$$

Der Konsistenzwert lässt sich dann durch die Division des Konsistenzindex durch den so genannten *Random Index R.I.* bestimmen. Für den Konsistenzwert ergibt sich mit einem *Random Index* von 0,89 für $n = 4$ (vgl. Tab. 4):

n	2	3	4	5
<i>R.I.</i>	0,00	0,52	0,89	1,11

Tab. 4: Random Index

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0,003}{0,89} \approx 0,003$$

Da $C.R.$ mit 0,003 kleiner als 0,09 ist, muss die Evaluationsmatrix in Tab. 5 nicht überarbeitet werden.

² Vgl. Saaty (2001), S. 80.

Standortfaktoren (Nutzen-Hierarchie)	A)	B)	C)	D)	Normierte Evaluationsmatrix				Zeilen-summe	Bedeutungs-urteile	
A) quantitative Objekteigenschaften	1	2	5	2	0,455	0,462	0,417	0,462	1,794	0,449	
B) qualitative Objekteigenschaften	1/2	1	3	1	0,227	0,231	0,250	0,231	0,939	0,235	
C) Nähe zu Geschäftspartnern	1/5	1/3	1	1/3	0,091	0,077	0,083	0,077	0,328	0,082	
D) Verkehrsanbindung	1/2	1	3	1	0,227	0,231	0,250	0,231	0,939	0,235	
C.R. = 0,003	Spaltensumme	2,200	4,333	12,000	4,333	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	1,000

Tab. 5: Evaluationsmatrix für die Standortfaktoren auf der 1. Ebene der Nutzen-Hierarchie

- Den *quantitativen Objekteigenschaften* wird im Vergleich zu den anderen Standortfaktoren eine höhere Bedeutung zugeordnet, da diese quantitativen Objekteigenschaften mit den Ausmaßen von Büro- und Lagerflächen mehrere Subkriterien umfassen, die den Umzug des Unternehmens maßgeblich veranlasst haben.
- Die Bedeutung der *qualitativen Objekteigenschaften* wird in der Fallbeschreibung evident, indem das Fehlen einer Laderampe als Problem ausgewiesen und auf die Notwendigkeit der Option zum Bau einer zusätzlichen Lagerhalle am neuen Standort hingewiesen wird.
- Die geringere Bedeutung der *Nähe zu den Geschäftspartnern* im Vergleich zu den anderen Standortfaktoren in Tab. 5 wird in der Fallbeschreibung dadurch angedeutet, dass der „Nähe zu den Zulieferern nur eine untergeordnete Rolle zugewiesen“ wird und die Nähe zu den beiden wichtigsten Abnehmern als „etwas bedeutender“ eingestuft wird.
- Die Bedeutung der *Verkehrsanbindung* des neuen Standorts ist aufgrund mehrerer Sachverhalte in der Fallbeschreibung ersichtlich, wie beispielsweise anhand der Anlieferung von Ware durch Lastkraftwagen aus Spanien und anhand der Flugreisen nach Tschechien und Taiwan.

Quantitative Objekteigenschaften	A)	B)	C)	D)	Bedeutungs- urteile	
A) Bürofläche	1	1	5	2	0,368	
B) Lagerfläche	1	1	5	2	0,368	
C) Kommissionierfläche	1/5	1/5	1	1/3	0,071	
D) Anzahl der PKW- Stellplätze	1/2	1/2	3	1	0,193	
C.R. = 0,003	Spaltensumme	2,700	2,700	14,000	5,333	1,000

Tab. 6: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor
"quantitative Objekteigenschaften"

- Den *Büro- und Lagerflächen* des neuen Objekts wird eine hohe Bedeutung zugeordnet, da diese den Grund für den Umzug darstellen (vgl. Tab. 6).
- Auf die *Kommissionierfläche* kann gegebenenfalls verzichtet werden, da die Aufträge auch im Lager kommissioniert werden können.
- Die Notwendigkeit von *PKW-Stellplätzen* wird in der Fallbeschreibung dargestellt, jedoch wird diese als weniger bedeutend als die Eigenschaften des Objekts hinsichtlich Büro- und Lagerflächen eingestuft.

Qualitative Objekteigenschaften	A)	B)	C)	Bedeutungs- urteile	
A) Erweiterbarkeit	1	4	1	0,444	
B) Repräsentationswert	1/4	1	1/4	0,111	
C) Be- und Entlademög- lichkeiten für große LKW	1	4	1	0,444	
C.R. = 0,000	Spaltensumme	2,250	9,000	2,250	1,000

Tab. 7: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor
"qualitative Objekteigenschaften"

- Die *Erweiterbarkeit* des Lagers wird als bedeutender beurteilt als der *Repräsentationswert* des Objekts, da zusätzliche Lagerfläche für eine prospektive Expansion des Unternehmens erforderlich ist, während ein hoher Repräsentationswert des zu beziehenden Objekts zwar gewünscht, jedoch nicht zwingend erforderlich ist (vgl. Tab. 7).
- Den *Be- und Entlademöglichkeiten für große LKW* wird die gleiche Bedeutung zugemessen wie der *Erweiterbarkeit* des Lagers.

- Der Nähe zu den *Abnehmern* wird in Tab. 8 – wie in der Fallbeschreibung vorgegeben – eine etwas höhere Bedeutung als der Nähe zu den *Zulieferern* zugeordnet.

Nähe zu Geschäftspartnern	A)	B)	Bedeutungs-urteile	
A) Abnehmer	1	4	0,800	
B) Zulieferer	1/4	1	0,200	
C.R. = 0,000	Spaltensumme	1,250	5,000	1,000

Tab. 8: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „Nähe zu Geschäftspartnern“

Verkehrs-anbindung	A)	B)	C)	Bedeutungs-urteile	
A) Autobahn	1	1	7	0,467	
B) ÖPNV	1	1	7	0,467	
C) Flughafen	1/7	1/7	1	0,067	
C.R. = 0,006	Spaltensumme	2,143	2,143	15,000	1,000

Tab. 9: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor “Verkehrs-anbindung“

- Die Anbindung des Standorts durch *Autobahnen* ist von hoher Bedeutung, da Warenlieferungen durch Lastkraftwagen erfolgen.
- Der Ausbau des *ÖPNV* ist von hoher Bedeutung, da viele Mitarbeiter über keinen eigenen PKW verfügen.
- Die Bedeutung der Nähe eines *Flughafens* wird in Relation zur Anbindung an Autobahnen und den Ausbau des *ÖPNV* als weniger bedeutend eingestuft (vgl. Tab. 9), da Flughäfen nur seltener für die jährlichen Reisen nach Tschechien und Taiwan benötigt werden.

- Die Erweiterbarkeit des Lagers ist für die Geschäftsführung von Bedeutung, um einen erneuten Umzug in naher Zukunft zu vermeiden. Der neue Standort soll folglich keine Interimslösung darstellen, sondern langfristig genutzt werden können.

Standortfaktoren (Kosten-Hierarchie)	A)	B)	Bedeutungs-urteile	
A) dauerhafte Kosten	1	9	0,900	
B) einmalige Kosten	1/9	1	0,100	
C.R. = 0,000	Spaltensumme	1,111	10,000	1,000

Tab. 10: Evaluationsmatrix für die Standortfaktoren auf der 1. Ebene der Kosten-Hierarchie

Aufgrund dessen wird den *dauerhaften Kosten* in Tab. 10 eine sehr viel höhere Bedeutung beigemessen als den *einmaligen Kosten*.

dauerhafte Kosten	A)	B)	C)	Bedeutungs- urteile	
A) Miete pro Monat und qm	1	3	7	0,681	
B) Transport	1/3	1	2	0,216	
C) Gebäudeversicherung	1/7	1/2	1	0,103	
C.R. = 0,007	Spaltensumme	1,476	4,500	10,000	1,000

Tab. 11: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „dauerhafte Kosten“

- Den Kosten für die *Miete* wird aufgrund der antizipierten Höhe eine viel höhere Bedeutung als den Kosten für die *Gebäudeversicherung* und eine etwas höhere Bedeutung als den Kosten für den *Transport* zugeordnet (vgl. Tab. 11).
- Die hohe Bedeutung der Höhe der *Miete* und die geringe Bedeutung der Kosten für den *Transport* werden zudem in der Fallbeschreibung konstatiert.
- Die Kosten für die *Renovierung* werden als etwas bedeutender beurteilt als die Kosten für den *Umzug*, da unterstellt wird, dass sich bei letzteren Kosten nur marginale Differenzen zwischen den einzelnen Standortalternativen aufgrund der unterschiedlichen Entfernungen ergeben.

einmalige Kosten	A)	B)	Bedeutungs- urteile	
A) Umzug	1	1/3	0,250	
B) Renovierung	3	1	0,750	
C.R. = 0,000	Spaltensumme	4,000	1,333	1,000

Tab. 12: Evaluationsmatrix für den Standortfaktor „einmalige Kosten“

Die Bedeutungsurteile über die Standortfaktoren der 1. und 2. Ebene werden in Tab. 13 für die Nutzen-Hierarchie und in Tab. 14 für die Kosten-Hierarchie in *aggregierte Bedeutungsurteile* überführt, indem entlang aller möglichen Pfade in der jeweiligen Hierarchie die Bedeutungsurteile der 1. Ebene mit den Bedeutungsurteilen der 2. Ebene multipliziert werden.

Standortfaktoren 1. Ebene	Bedeutungsurteile	Standortfaktoren 2. Ebene	Bedeutungsurteile	aggregierte Bedeutungsurteile
Quantitative Objekteigenschaften	0,449	Bürofläche	0,368	0,165
		Lagerfläche	0,368	0,165
		Kommissionierfläche	0,071	0,032
		Anzahl der PKW-Stellplätze	0,193	0,087
Qualitative Objekteigenschaften	0,235	Erweiterbarkeit	0,444	0,104
		Repräsentationswert	0,111	0,026
		Be- und Entlademöglichkeiten für große LKW	0,444	0,104
Nähe zu Geschäftspartnern	0,082	Abnehmer	0,800	0,066
		Zulieferer	0,200	0,016
Verkehrsanbindung	0,235	Autobahn	0,467	0,110
		ÖPNV	0,467	0,110
		Flughafen	0,067	0,016
Spaltensumme	1,000		Spaltensumme	1,000

Tab. 13: Berechnung der aggregierten Bedeutungsurteile für die Standortfaktoren der Nutzen-Hierarchie

Standortfaktoren 1. Ebene	Bedeutungsurteile	Standortfaktoren 2. Ebene	Bedeutungsurteile	aggregierte Bedeutungsurteile
dauerhafte Kosten	0,900	Miete pro Monat und qm	0,681	0,613
		Transport	0,216	0,194
		Gebäudeversicherung	0,103	0,092
einmalige Kosten	0,100	Umzug	0,250	0,025
		Renovierung	0,750	0,075
Spaltensumme	1,000		Spaltensumme	1,000

Tab. 14: Berechnung der aggregierten Bedeutungsurteile für die Standortfaktoren der Kosten-Hierarchie

Im nächsten Schritt werden die Standortalternativen im Hinblick auf die Standortfaktoren bewertet.

- Zur Bestimmung der Nutzwerte für die Büro-, Lager- und Kommissionierflächen der Objekte an den einzelnen Standorten werden die folgenden drei Nutzenfunktionen mit x als Flächenangabe in qm verwendet³:

$$u_B = -\frac{\ln((x_B - 400) : (-250))}{4} \text{ mit } x_B \text{ als Bürofläche in qm}$$

$$u_L = -\frac{\ln((x_L - 1000) : (-720))}{8,5} \text{ mit } x_L \text{ als Lagerfläche in qm}$$

$$u_K = -\frac{\ln((x_K - 150) : (-140))}{4} \text{ mit } x_K \text{ als Kommissionierfläche in qm}$$

- Anhand der graphischen Darstellung dieser drei Nutzenfunktionen in Abbildung 3 wird deutlich, dass die Größe der Fläche einer Alternative und der Nutzwert positiv korreliert sind, wobei mit zunehmender Größe der Fläche eine Sättigung eintritt.

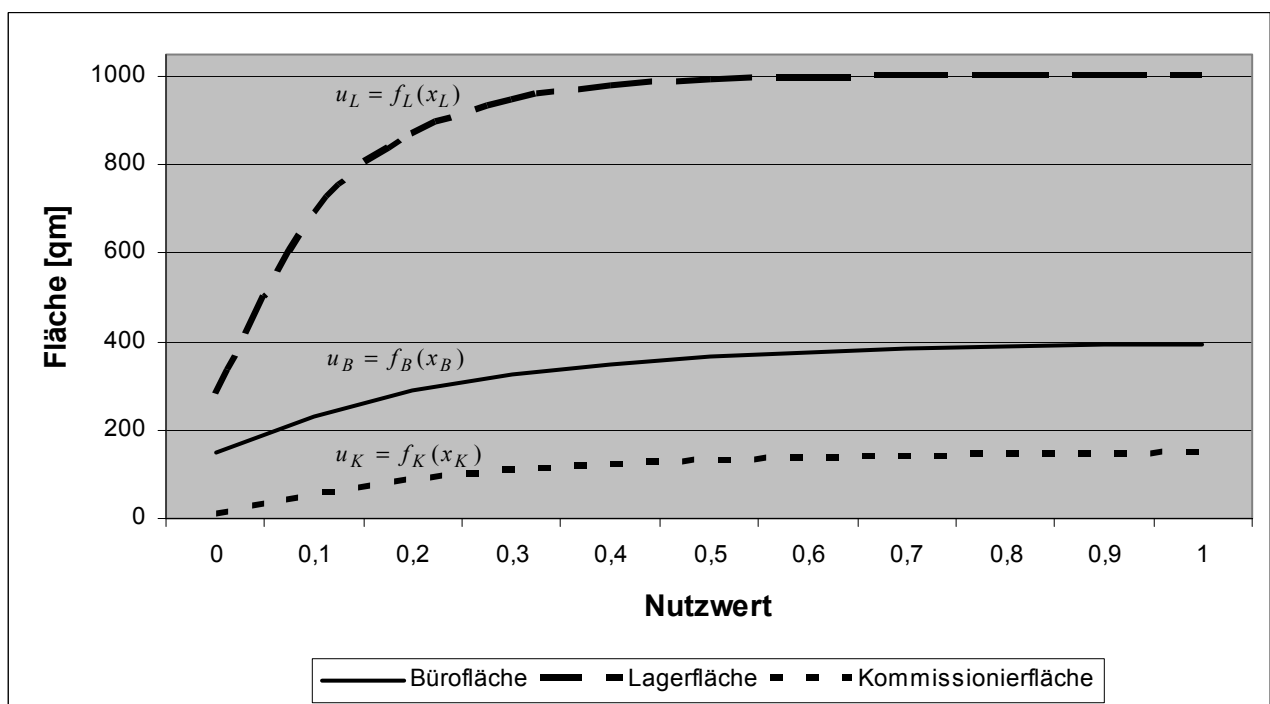


Abbildung 3: Nutzenfunktionen zur Überführung der Flächen in Nutzwerte

³ Vgl. Rinza/Schmitz (1992), S. 69 ff.

- In Tab. 15 werden für die Objekte an den einzelnen Standorten die Büro-, Lager- und Kommissionierflächen, die in der Fallbeschreibung gegeben sind, mittels der Nutzenfunktionen in Nutzwerte und dann durch Normierung in Nutzindizes überführt.

	Bürofläche [qm]	Nutzwert	Nutzenindex	Lagerfläche [qm]	Nutzwert	Nutzenindex	Kommissionierfläche [qm]	Nutzwert	Nutzenindex
Bochum	395	0,978	0,375	980	0,422	0,346	147	0,961	0,545
Düsseldorf	390	0,805	0,309	800	0,151	0,124	50	0,084	0,048
Duisburg	280	0,183	0,070	720	0,111	0,091	100	0,257	0,146
Mülheim	342	0,365	0,140	950	0,314	0,258	110	0,313	0,178
Velbert	317	0,276	0,106	890	0,221	0,181	72	0,146	0,083
Spaltensumme		2,607	1,000		1,218	1,000		1,762	1,000

Tab. 15: Bestimmung der Nutzenindizes der Standortalternativen für Büro-, Lager- und Kommissionierflächen

- Zur Beurteilung der *Anzahl der PKW-Stellplätze* werden zunächst Intensitätsintervalle für unterschiedliche Anzahlen an PKW-Stellplätzen festgelegt. Beispielsweise wird einem Standort mit fünf PKW-Stellplätzen die mit „ausreichend“ bezeichnete Intensität zugeordnet. In der Evaluationsmatrix in Tab. 16 ist mittels Paarvergleichsurteilen festgelegt worden, wie stark eine Intensität im Vergleich zu einer anderen präferiert wird. In Tab. 16 werden zur Ermittlung der Werte der Intensitäten die Zeilensummen nicht direkt durch die Spaltensumme „5,000“ dividiert. Stattdessen werden die Werte der Intensitäten ermittelt, indem die Zeilensummen der normierten Evaluationsmatrix durch die größte Zeilensumme dividiert werden⁴. Durch diese Ermittlung der Werte der Intensitäten ist gewährleistet, dass die Werte der Intensitäten im Intervall $[0; 1]$ mit „1,000“ als Wert für das höchste Intensitätsintervall gleichmäßig verteilt werden.

⁴ Vgl. z.B. Saaty (1994), S. 33-35.

Intensitätsintervall	A)	B)	C)	D)	E)	normierte Evaluationsmatrix					Zeilen- summe	Wert der In- tensität	
A) sehr gut $13 \leq x$	1	2	2	3	9	0,409	0,505	0,356	0,328	0,273	1,871	1,000	
B) gut $8 \leq x \leq 12$	1/2	1	2	3	8	0,205	0,253	0,356	0,328	0,242	1,383	0,739	
C) befriedigend $6 \leq x \leq 7$	1/2	1/2	1	2	8	0,205	0,126	0,178	0,219	0,242	0,970	0,518	
D) ausreichend $x = 5$	1/3	1/3	1/2	1	7	0,136	0,084	0,089	0,109	0,212	0,631	0,337	
E) ungenügend $0 \leq x \leq 4$	1/9	1/8	1/8	1/7	1	0,045	0,032	0,022	0,016	0,030	0,145	0,078	
C.R. = 0,047	Spalten- summe	2,444	3,958	5,625	9,143	33,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000	

Tab. 16: Festlegung der Intensitäten zur Evaluation der Anzahl der PKW-Stellplätze

- Entsprechend der in der Fallbeschreibung angegebenen Anzahl an PKW-Stellplätzen werden in Tab. 17 den einzelnen Standortalternativen Intensitäten zugeordnet, die durch Normierung in Nutzenindizes überführt werden.

Standort- alternative	Anzahl der PKW- Stellplätze	Intensität		Nutzen- index
		Bezeichnung	Wert	
A) Bochum	21	sehr gut	1,000	0,341
B) Düsseldorf	5	ausreichend	0,337	0,115
C) Duisburg	12	gut	0,739	0,252
D) Mühlheim	5	ausreichend	0,337	0,115
E) Velbert	6	befriedigend	0,518	0,177
		Spaltensumme	2,931	1,000

Tab. 17: Zuordnung der Intensitäten zu den Standortalternativen

Die Evaluation der Standorte in Tab. 18 bis Tab. 25 erfolgt analog zur Evaluation der Bedeutung der Standortfaktoren in Tab. 5 bis Tab. 12.

Erweiterbarkeit	A)	B)	C)	D)	E)	Nutzen- index	
A) Bochum	1	5	5	9	9	0,596	
B) Düsseldorf	1/5	1	1	3	3	0,147	
C) Duisburg	1/5	1	1	3	3	0,147	
D) Mühlheim	1/9	1/3	1/3	1	1	0,055	
E) Velbert	1/9	1/3	1/3	1	1	0,055	
C.R. = 0,020	Spalten- summe	1,622	7,667	7,667	17,000	17,000	1,000

Tab. 18: Evaluation der Standorte im
Hinblick auf die Erweiterbarkeit

- Das Objekt in Bochum verfügt über die größte Freifläche und wird aufgrund dessen in Tab. 18 im Vergleich zu den anderen Standorten als vorteilhafter beurteilt.
- Die Freiflächen der Objekte in Duisburg und Düsseldorf sind in etwa gleich groß, so dass beide Standorte in Tab. 18 als gleichwertig beurteilt werden.
- Am Standort Mühlheim kann keine Lagerhalle errichtet werden, da die Bebauungsvorschriften dieses nicht zulassen. In Velbert ist die Freifläche zu klein, um eine Lagerhalle zu bauen. Da an beiden Standorten somit eine Erweiterung des Lagers nicht möglich ist, werden beide in Tab. 18 als gleichwertig eingestuft.

- Die historischen Gebäude in Düsseldorf und Velbert werden als repräsentativer eingestuft als die aus den 70er Jahren stammenden Gebäude in Duisburg und Mühlheim und der Neubau in Bochum (vgl. Tab. 19).

Repräsentationswert	A)	B)	C)	D)	E)	Nutzen- index	
A) Bochum	1	1/2	8	4	1/2	0,210	
B) Düsseldorf	2	1	9	6	1	0,349	
C) Duisburg	1/8	1/9	1	1/2	1/9	0,033	
D) Mühlheim	1/4	1/6	2	1	1/6	0,059	
E) Velbert	2	1	9	6	1	0,349	
C.R. = 0,013	Spaltensumme	5,375	2,778	29,000	17,500	2,778	1,000

Tab. 19: Evaluation der Standorte im
Hinblick auf den Repräsentationswert

- Dem Objekt in Mühlheim wird ein höherer Repräsentationswert als dem Objekt in Duisburg zugeordnet, da sich in der Nähe des Mühlheimer Objekts zahlreiche Grünflächen befinden.

Be- und Entlademöglichkeiten für große LKW		A)	B)	C)	D)	E)	Nutzenindex
A) Bochum		1	9	5	5	7	0,562
B) Düsseldorf		1/9	1	1/5	1/5	1/3	0,037
C) Duisburg		1/5	5	1	1	3	0,163
D) Mühlheim		1/5	5	1	1	3	0,163
E) Velbert		1/7	3	1/3	1/3	1	0,075
C.R. = 0,070	Spalten-summe	1,654	23,000	7,533	7,533	14,333	1,000

Tab. 20: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Be- und Entlademöglichkeiten für große LKW

- Das Objekt in Bochum verfügt über mehrere Laderampen und wird in Tab. 20 deshalb als vorteilhafter als alle anderen Standorte beurteilt.
- Düsseldorf wird im Vergleich zu den anderen Standorten am schlechtesten beurteilt, da eine Laderampe errichtet werden müsste.

- Die Objekte in Duisburg und Mühlheim sind mit jeweils einer Laderampe ausgestattet und werden daher als gleichwertig beurteilt.
- Das Objekt in Velbert verfügt über eine Laderampe, die jedoch nur durch erfahrene Fahrer angefahren werden kann.

- Der Standort Düsseldorf wird in Tab. 21 als vorteilhafteste Standortalternative bewertet, da dort die beiden bedeutendsten Abnehmer ihre Zentrallager haben.

Nähe zu den Abnehmern		A)	B)	C)	D)	E)	Nutzenindex
A) Bochum		1	1/9	1/4	1/3	1/2	0,047
B) Düsseldorf		9	1	4	5	6	0,546
C) Duisburg		4	1/4	1	2	3	0,195
D) Mühlheim		3	1/5	1/2	1	3	0,139
E) Velbert		2	1/6	1/3	1/3	1	0,074
C.R. = 0,051	Spalten-summe	19,000	1,728	6,083	8,667	13,500	1,000

Tab. 21: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Nähe zu den Abnehmern

- Die anderen potenziellen Standortalternativen werden anhand ihrer Entfernung zu Düsseldorf bewertet. Zum Beispiel ist in der 1. Zeile und 3. Spalte in Tab. 21 „1/4“ als Paarvergleichsurteil eingetragen, da Bochum weiter von Düsseldorf entfernt ist als Duisburg.

- Bochum und Velbert werden im Hinblick auf die Nähe zu den Zulieferern in Tab. 22 als vorteilhafteste Standortalternative beurteilt, da in beiden Städten jeweils ein Zulieferer ansässig ist.

Nähe zu den Zulieferern	A)	B)	C)	D)	E)	Nutzenindex	
A) Bochum	1	9	4	3	2	0,429	
B) Düsseldorf	1/9	1	1/4	1/5	1/7	0,036	
C) Duisburg	1/4	4	1	1/2	1/3	0,105	
D) Mühlheim	1/3	5	2	1	1/2	0,163	
E) Velbert	1/2	7	3	2	1	0,268	
C.R. = 0,025	Spalten-summe	2,194	26,000	10,250	6,700	3,976	1,000

Tab. 22: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Nähe zu den Zulieferern

- Mühlheim wird im Vergleich zu Duisburg als vorteilhafter beurteilt, da es geringere Entfernungen zu den Zulieferern aufweist.
- Die Entfernungen zwischen Mühlheim und den drei Zuliefererstandorten Velbert, Bochum und Dortmund sind geringer als die Entfernungen von Düsseldorf zu diesen drei Zuliefererstandorten. Düsseldorf liegt lediglich näher an Wuppertal als Mühlheim.

Autobahn	A)	B)	C)	D)	E)	Nutzenindex	
A) Bochum	1	1/3	1/2	1	4	0,136	
B) Düsseldorf	3	1	3	5	9	0,483	
C) Duisburg	2	1/3	1	2	6	0,221	
D) Mühlheim	1	1/5	1/2	1	4	0,122	
E) Velbert	1/4	1/9	1/6	1/4	1	0,038	
C.R. = 0,028	Spalten-summe	7,250	1,978	5,167	9,250	24,000	1,000

Tab. 23: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Anbindung an Autobahnen

- Von Düsseldorf aus kann am schnellsten die im Vergleich zu den anderen potenziellen Standorten mit 6 größte Anzahl an Autobahnen erreicht werden (A3, A44, A46, A52, A57 und A59).

- Durch Duisburg verlaufen 4 Autobahnen (A3, A40, A42 und A59), während nur jeweils 3 durch Bochum (A40, A43 und A44) und Mühlheim (A3, A40 und A52) verlaufen.
- Velbert verfügt über keinen Autobahnanschluss.

- Da ein Teil der Mitarbeiter den ÖPNV nutzt, wurden in Tab. 24 die Verbindungen vom jetzigen Standort Essen zu den potenziellen Standorten evaluiert.
- Die Paarvergleichsurteile in Tab. 24 basieren auf den Fahrzeiten und auf der Vielzahl möglicher unterschiedlicher Verbindungen⁵.

ÖPNV	A)	B)	C)	D)	E)	Nutzen-index	
A) Bochum	1	1/8	1/2	1	1/7	0,058	
B) Düsseldorf	8	1	5	4	1	0,389	
C) Duisburg	2	1/5	1	1/2	1/5	0,076	
D) Mühlheim	1	1/4	2	1	1/4	0,098	
E) Velbert	7	1	5	4	1	0,379	
C.R. = 0,032	Spalten-summe	19,000	2,575	13,500	10,500	2,593	1,000

Tab. 24: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Erreichbarkeit mit dem ÖPNV

Flughafen	A)	B)	C)	D)	E)	Nutzen-index	
A) Bochum	1	1/9	1/2	1/2	1/2	0,061	
B) Düsseldorf	9	1	5	5	5	0,582	
C) Duisburg	2	1/5	1	1	1	0,119	
D) Mühlheim	2	1/5	1	1	1	0,119	
E) Velbert	2	1/5	1	1	1	0,119	
C.R. = 0,002	Spalten-summe	16,000	1,711	8,500	8,500	8,500	1,000

Tab. 25: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Nähe zu einem Flughafen

- Düsseldorf verfügt über einen Flughafen, so dass bei Flügen zum Zulieferer in Tschechien die geringste Strecke zum Flughafen zurückgelegt werden muss. Zudem weist Düsseldorf die geringste Entfernung zum Flughafen Frankfurt auf, ist jedoch etwas weiter vom Flughafen Schiphol (Amsterdam) als Duisburg, Mühlheim und Velbert entfernt. Die Flughäfen Frankfurt und Schiphol (Amsterdam) können für Flüge nach Taiwan genutzt werden.
- Während die Entfernungen zum Flughafen Düsseldorf von Duisburg, Mühlheim und Velbert aus in etwa gleich groß sind, ist Bochum deutlich weiter entfernt, weshalb Bochum in Tab. 25 als weniger vorteilhaft beurteilt wird.

Nachfolgend werden die Standortalternativen im Hinblick auf die Standortfaktoren aus der Kosten-Hierarchie beurteilt. Eine Standortalternative, die im Vergleich zu einer anderen Standortalternative

⁵ Vgl. <http://www.bahn.de>.

höhere Kosten verursacht, wird bei Standortfaktoren aus der Kosten-Hierarchie mit einem Paarvergleichsurteil größer 1 beurteilt. Diese Beurteilung liegt darin begründet, dass bei einer Ausdifferenzierung der Standortfaktoren in Nutzen- und Kostenindizes zur Bildung eines Gesamturteils für jede Standortalternative ein Nutzen-Kosten-Verhältnis gebildet wird. Die Standortalternative mit dem höchsten Nutzen-Kosten-Verhältnis wird als günstigste Standortalternative ausgewählt. Da bei diesem Nutzen-Kosten-Verhältnis die Kosten im Nenner stehen, müssen hohe Kosten durch hohe Kosten-Indizes ausgedrückt werden.

- Analog zur Festlegung der Intensitäten zur Evaluation der Anzahl der PKW-Stellplätze werden zur Evaluation der Miete Intensitätsintervalle festgelegt. Allerdings ist zu beachten, dass innerhalb der Kosten-Hierarchie eine etwas höhere Präferenz für die Intensität *sehr günstig* gegenüber der Intensität *günstig* nicht durch eine „3“, sondern durch „1/3“ in der ersten Zeile der Evaluationsmatrix in Tab. 26 zum Ausdruck gebracht wird.

Intensitätsintervall		A)	B)	C)	D)	normierte Evaluationsmatrix				Zeilensumme	Wert der Intensität
A) sehr günstig	$x \leq 4$	1	1/3	1/5	1/9	0,056	0,053	0,054	0,057	0,219	0,108
B) günstig	$4 < x \leq 5$	3	1	1/2	1/3	0,167	0,158	0,135	0,171	0,631	0,311
C) bezahlbar	$5 < x \leq 6$	5	2	1	1/2	0,278	0,316	0,270	0,257	1,121	0,553
D) teuer	$x > 6$	9	3	2	1	0,500	0,474	0,541	0,514	2,029	1,000
C.R. = 0,005	Spaltensumme	18,000	6,333	3,700	1,944	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	

Tab. 26: Festlegung der Intensitäten zur Evaluation der Miete pro Monat und pro qm

- Für die betrachteten Standortalternativen wird in Tab. 27 die Miete pro Monat und pro qm berechnet, anhand derer mit Hilfe der Intensitätsintervalle aus Tab. 26 jedem Standort eine Intensität zugeordnet wird. Beispielsweise wird Mühlheim die Intensität *bezahlbar* mit dem zugehörigen Wert 0,553 zugeordnet, da die Miete pro Monat und pro qm im zugehörigen Intensitätsintervall liegt.

	Miete pro Monat [€]	Gesamtfläche [qm]	Miete pro Monat und pro qm [€]/[qm]	Intensität		Kostenindex
				Bezeichnung	Wert	
A) Bochum	7.914,00	1522	5,20	bezahlbar	0,553	0,219
B) Düsseldorf	7.564,00	1240	6,10	teuer	1,000	0,396
C) Duisburg	4.290,00	1100	3,90	sehr günstig	0,108	0,043
D) Mühlheim	7.150,00	1402	5,10	bezahlbar	0,553	0,219
E) Velbert	5.244,00	1279	4,10	günstig	0,311	0,123
				Spaltensumme	2,525	1,000

Tab. 27: Berechnung der Miete pro Monat und pro qm sowie Zuordnung der Intensitäten zu den Standortalternativen

- Die Angaben über die Zunahme der Kosten für den Transport werden normiert, um die Kostenindizes in der rechten Spalte in Tab. 28 zu erhalten, indem der Prozentwert in der mittleren Spalte für jede Standortalternative durch die Summe der Werte aller betrachteten Standortalternativen dividiert wird.

Transport	Zunahme im Vergleich zum Standort Essen	Kostenindex
A) Bochum	2 %	0,025
B) Düsseldorf	18 %	0,222
C) Duisburg	36 %	0,444
D) Mühlheim	21 %	0,259
E) Velbert	4 %	0,049
Spaltensumme	81 %	1,000

Tab. 28: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für den Transport

Gebäudeversicherung	A)	B)	C)	D)	E)	Kostenindex	
A) Bochum	1	1/9	1/3	1/3	1/9	0,035	
B) Düsseldorf	9	1	7	7	1	0,411	
C) Duisburg	3	1/7	1	1	1/6	0,074	
D) Mühlheim	3	1/7	1	1	1/8	0,071	
E) Velbert	9	1	6	8	1	0,409	
C.R. = 0,047	Spalten-summe	25,000	2,397	15,333	17,333	2,403	1,000

Tab. 29: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für die Gebäudeversicherung

- Bei den Paarvergleichsurteilen in Tab. 29 wird angenommen, dass für den Neubau in Bochum die niedrigste Gebäudeversicherung zu entrichten ist.
- Für die historischen Gebäude in Düsseldorf und Velbert ist eine höhere Gebäudeversicherung zu entrichten als für die Objekte in Duisburg und Mühlheim, die aus den 70er Jahren stammen.

- Die Paarvergleichsurteile für die Kosten für den Umzug in Tab. 30 wurden mit Hilfe der Entfernungstabelle (Tab. 2 in der Fallbeschreibung) zum jetzigen Standort Essen gefällt. Beispielsweise liegt der Standort in Bochum 20,1 km von Essen entfernt, während der Standort in Düsseldorf 37,6 km und der Standort in Duisburg 29,5 km vom Essener Standort entfernt sind. Aufgrund dieser Entfernungen ist in der 1. Spalte von Tab. 30 als Paarvergleichsurteil in der 2. Zeile eine „7“ und in der 3. Zeile eine 3 eingetragen.

Umzug	A)	B)	C)	D)	E)	Kosten-index	
A) Bochum	1	1/7	1/3	1	1	0,073	
B) Düsseldorf	7	1	5	7	7	0,589	
C) Duisburg	3	1/5	1	3	3	0,192	
D) Mühlheim	1	1/7	1/3	1	1	0,073	
E) Velbert	1	1/7	1/3	1	1	0,073	
C.R. = 0,034	Spalten-summe	13,000	1,629	7,000	13,000	13,000	1,000

Tab. 30: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für den Umzug

Renovierung	A)	B)	C)	D)	E)	Kosten-index	
A) Bochum	1	1/6	1/3	1/2	1/9	0,044	
B) Düsseldorf	6	1	3	4	1/2	0,287	
C) Duisburg	3	1/3	1	2	1/4	0,123	
D) Mühlheim	2	1/4	1/2	1	1/6	0,075	
E) Velbert	9	2	4	6	1	0,470	
C.R. = 0,012	Spalten-summe	21,000	3,750	8,833	13,500	2,028	1,000

Tab. 31: Evaluation der Standorte im Hinblick auf die Kosten für die Renovierung

- Das Objekt in Bochum muss nicht renoviert werden, da es sich um einen Neubau handelt. Deshalb wird der Standort Bochum in Tab. 31 im Vergleich zu den anderen Standorten als vorteilhafter eingestuft.

- Die Renovierung in Düsseldorf wird als aufwendig eingeschätzt, da es sich um ein historisches Gebäude handelt.
- Das Objekt in Duisburg stammt aus den 70er Jahren, weswegen Renovierungsbedarf unterstellt wird.
- Das Objekt in Mühlheim befindet sich in „gutem baulichen Zustand“.
- In Velbert ist eine umfangreiche Renovierung erforderlich, weshalb in Tab. 31 alle anderen Standorte im Vergleich zu Velbert als vorteilhafter eingestuft werden.

Abschließend werden alle Nutzen- und Kostenindizes einer Standortalternative mit dem aggregierten Bedeutungsurteil des jeweiligen Standortfaktors aus Tab. 13 und Tab. 14 multipliziert. Als Produkte dieser Multiplikationen ergibt sich dann pro Standortalternative und Standortfaktor jeweils ein gewichteter (Kosten- bzw. Nutzen-)Index. Dann wird jeweils eine Summe aus allen gewichteten Indizes der Standortfaktoren der Nutzen-Hierarchie und der Kosten-Hierarchie gebildet, so dass sich – wie in Tab. 32 ersichtlich – ein Gesamtnutzenindex und ein Gesamtkostenindex ergeben. Somit kann – wie von der Geschäftsführung gefordert – eine isolierte Betrachtung von Kosten und Nutzen erfolgen. Anhand der in Tab. 32 angeführten Nutzen-Kosten-Verhältnisse wird deutlich, dass in der vorliegenden Fallstudie die Standortalternative Bochum als optimale Alternative gewählt werden müsste, da sie das höchste Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweist.

Standortfaktor		aggregierte Bedeutungsurteile	Bochum		Düsseldorf		Duisburg		Mühlheim		Velbert	
			Index	gewichteter Index	Index	gewichteter Index	Index	gewichteter Index	Index	gewichteter Index	Index	gewichteter Index
Nutzen-Hierarchie		Tab. 13										
Tab. 15	Bürofläche	0,165	0,375	0,062	0,309	0,051	0,070	0,012	0,140	0,023	0,106	0,017
	Lagerfläche	0,165	0,346	0,057	0,124	0,020	0,091	0,015	0,258	0,043	0,181	0,030
	Kommissionierfläche	0,032	0,545	0,017	0,048	0,002	0,146	0,005	0,178	0,006	0,083	0,003
Tab. 17	Anzahl der PKW-Stellplätze	0,087	0,341	0,030	0,115	0,010	0,252	0,022	0,115	0,010	0,177	0,015
Tab. 18	Erweiterbarkeit	0,104	0,596	0,062	0,147	0,015	0,147	0,015	0,055	0,006	0,055	0,006
Tab. 19	Repräsentationswert	0,026	0,210	0,005	0,349	0,009	0,033	0,001	0,059	0,002	0,349	0,009
Tab. 20	Be- und Entlademöglichkeit für große LKW	0,104	0,562	0,059	0,037	0,004	0,163	0,017	0,163	0,017	0,075	0,008
Tab. 21	Nähe zu den Abnehmern	0,066	0,047	0,003	0,546	0,036	0,195	0,013	0,139	0,009	0,074	0,005
Tab. 22	Nähe zu den Zulieferern	0,016	0,429	0,007	0,036	0,001	0,105	0,002	0,163	0,003	0,268	0,004
Tab. 23	Autobahn	0,110	0,136	0,015	0,483	0,053	0,221	0,024	0,122	0,013	0,038	0,004
Tab. 24	ÖPNV	0,110	0,058	0,006	0,389	0,043	0,076	0,008	0,098	0,011	0,379	0,041
Tab. 25	Flughafen	0,016	0,061	0,001	0,582	0,009	0,119	0,002	0,119	0,002	0,119	0,002
Gesamtnutzenindex				0,324		0,252		0,135		0,143		0,145
Kosten-Hierarchie		Tab. 14										
Tab. 27	Miete pro Monat und pro qm	0,613	0,219	0,134	0,396	0,243	0,043	0,026	0,219	0,134	0,123	0,076
Tab. 28	Transport	0,194	0,025	0,005	0,222	0,043	0,444	0,086	0,259	0,050	0,049	0,010
Tab. 29	Gebäudeversicherung	0,092	0,035	0,003	0,411	0,038	0,074	0,007	0,071	0,007	0,409	0,038
Tab. 30	Umzug	0,025	0,073	0,002	0,589	0,015	0,192	0,005	0,073	0,002	0,073	0,002
Tab. 31	Renovierung	0,075	0,044	0,003	0,287	0,022	0,123	0,009	0,075	0,006	0,470	0,035
Gesamtkostenindex				0,147		0,360		0,134		0,199		0,160
Nutzen-Kosten-Verhältnis				2,200		0,701		1,013		0,721		0,905

Tab. 32: Berechnung der gewichteten Nutzen- und Kostenindizes, der Gesamtnutzen- und Gesamtkostenindizes und der Nutzen-Kosten-Verhältnisse

Problemlösung zu Aufgabe 4

Den in Aufgabe 3 verwendeten Approximationsverfahren zur Berechnung der Eigenvektoren und der maximalen Eigenwerte werden in der Lösung dieser Aufgabe am Beispiel der Evaluationsmatrix A in Tab. 18 exakte Verfahren gegenübergestellt⁶.

Durch die Lösung der folgenden Matrixgleichung, die als charakteristisches Polynom bezeichnet wird, lassen sich die Eigenwerte einer (Evaluations-)Matrix A mit E als Einheitsmatrix bestimmen:

$$\det(A - \lambda E) = 0$$

Durch Einsetzen der Evaluationsmatrix A aus Tab. 18 ergibt sich die folgende Matrixgleichung:

$$\det \left(\begin{pmatrix} 1 & 5 & 5 & 9 & 9 \\ 1/5 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/9 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/9 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \end{pmatrix} - \lambda \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right) = 0$$

Durch Lösung dieser Matrixgleichung ergibt sich ein maximaler Eigenwert λ_{\max} von 5,042. Somit kann der exakte Konsistenzwert bestimmt werden:

$$C.R. = \frac{5,042 - 5}{1,11} \approx 0,01$$

In Aufgabe 3 wurde nur näherungsweise ein Konsistenzwert $C.R.$ von 0,02 ermittelt (vgl. Tab. 18), da der maximale Eigenwert approximativ bestimmt wurde. Beim vorliegenden Beispiel ergibt sich sowohl bei approximativer als auch bei exakter Bestimmung des maximalen Eigenwerts ein Konsistenzwert, der kleiner als 0,1 ist und somit keine Überarbeitung der Evaluationsmatrix nahe legt. Die Abweichung von 100 % zwischen den beiden Konsistenzwerten zeigt jedoch, dass der Konsistenzwert auf Basis des approximativ ermittelten maximalen Eigenwerts gegebenenfalls zu einer anderen

⁶ Vgl. zu alternativen exakten Verfahren Saaty (2001), S. 77 ff.

Handlungsempfehlung im Hinblick auf die Überarbeitung einer Evaluationsmatrix führen kann als der Konsistenzwert, der auf Basis des exakt ermittelten maximalen Eigenwerts bestimmt wurde.

Darüber hinaus werden nachfolgend die Nutzenindizes durch Berechnung des normierten Eigenvektors v_{norm} zum maximalen Eigenwert λ_{max} ermittelt, indem die folgende Matrixgleichung gelöst wird:

$$(A - \lambda_{max}E) * v = 0$$

Durch Einsetzen der Werte für A und λ_{max} ergibt sich:

$$\left(\begin{pmatrix} 1 & 5 & 5 & 9 & 9 \\ 1/5 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/9 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/9 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \end{pmatrix} - 5,042 * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right) * \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix} = 0$$

Diese Matrixgleichung wird in ein lineares Gleichungssystem überführt:

$$\begin{aligned} -4,042v_1 + 5v_2 + 5v_3 + 9v_4 + 9v_5 &= 0 \\ \frac{1}{5}v_1 - 4,042v_2 + v_3 + 3v_4 + 3v_5 &= 0 \\ \frac{1}{5}v_1 + v_2 - 4,042\frac{1}{5}v_3 + 3v_4 + 3v_5 &= 0 \\ \frac{1}{9}v_1 + \frac{1}{3}v_2 + \frac{1}{3}v_3 - 4,042v_4 + v_5 &= 0 \\ \frac{1}{9}v_1 + \frac{1}{3}v_2 + \frac{1}{3}v_3 + v_4 - 4,042v_5 &= 0 \end{aligned}$$

Mit Hilfe des Gaußschen Algorithmus lassen sich für dieses lineare Gleichungssystem unendlich viele, von Null verschiedene Eigenvektoren bestimmen⁷. Im vorliegenden Beispiel ergibt sich für diese Eigenvektoren folgendes Gleichungssystem als Ergebnis:

$$v_1 = -1,051v_4 + 12,197v_5$$

$$v_2 = 0,028v_4 + 2,677v_5$$

$$v_3 = -2,678v_4 + 5,383v_5$$

$$v_4 = v_5$$

Um den normierten Eigenvektor zu bestimmen, wird zunächst aus der Menge unendlich vieler verschiedener Eigenvektoren ein beliebiger gewählt. In Tab. 33 wurde der Eigenvektor für $v_4 = 1$ gewählt. Dann ergibt sich der normierte Eigenvektor, indem jedes Element dieses Eigenvektors durch die Summe aller seiner Elemente dividiert

wird. In Tab. 33 sind diesem exakt bestimmten normierten Eigenvektor die Nutzenindizes gegenübergestellt, die in Aufgabe 3 approximativ bestimmt wurden.

Die Abweichungen in Tab. 33 verdeutlichen das Problem, dass bei der Verwendung des Approximationsverfahrens gegebenenfalls eine andere Rangfolge der Alternativen als bei der Verwendung des exakten Verfahrens ermittelt wird.

exaktes Verfahren (v für $v_4 = 1$)		Nutzenindizes		Prozentuale Abweichung
		exaktes Verfahren (v_{norm})	Approximati- onsverfahren	
v_1	11,146	0,601	0,596	0,83 %
v_2	2,705	0,146	0,147	-0,68 %
v_3	2,705	0,146	0,147	-0,68 %
v_4	1,000	0,054	0,055	-1,85 %
v_5	1,000	0,054	0,055	-1,85 %
Summe	18,556			

Tab. 33: Gegenüberstellung der approximativen und der exakten Nutzenindizes

⁷ Vgl. z.B. Beutelspacher (2001), S. 102 ff.

Literatur

Beutelspacher (2001)

Beutelspacher, A.: Lineare Algebra – Eine Einführung in die Wissenschaft der Vektoren, Abbildungen und Matrizen. 5. Aufl., Braunschweig – Wiesbaden 2001.

Rinza/Schmitz (1992)

Rinza, P.; Schmitz, H.: Nutzwert-Kosten-Analyse – Eine Entscheidungshilfe. 2. Aufl., Düsseldorf 1992.

Saaty (2001)

Saaty, T. L.: Decision Making for Leaders. 3. Aufl., 4. Druck, Pittsburgh 2001.

Saaty (1994)

Saaty, T. L.: How to Make a Decision: The Analytical Hierarchy Process. In: Interfaces, Vol. 24 (1994), No. 6, S. 19-43.